دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و پنجم، شماره پنجم، ۱۳۹۷
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2018.12334.2691

تأثیر گوگرد بر برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک و غلظت عناصر غذایی در دانه گندم (*Triticum astivum* L.)

*محمدحسین داوودی[1]، جلال قادری[2] و کاظم خاوازی[3]
[1]استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، [2]استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،
[3]استاد مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۵/۲۴

چکیده

سابقه و هدف: در خاک‌های آهکی ایران به‌علت pH بالا، عناصر غذایی از حلالیت اندکی برخوردار بوده و جذب آن‌ها توسط گیاهان با مشکل مواجه است. برای رفع این مشکلات و دست‌یابی به عملکرد مطلوب در چنین خاک‌هایی ناگزیر به استفاده از گوگرد به‌عنوان یک ماده اصلاحی برای کاهش موضعی pH خاک و افزایش حلالیت عناصر غذایی می‌باشد. هدف از اجرای این پژوهش، بررسی اثر گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس بر برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک (pH، هدایت الکتریکی، فسفر، گوگرد، آهن و روی قابل‌استفاده) و غلظت عناصر غذایی در دانه گندم در چهار منطقه از استان کرمانشاه با گوگرد قابل‌جذب متفاوت بود.

مواد و روش‌ها: آزمایشی شامل چهار سطح گوگرد (۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار)، در سه تکرار و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در چهار مزرعه (چغانرگس، ماهیدشت، نجف‌آباد و قمشه) با مقدار گوگرد قابل‌جذب متفاوت (۷، ۱۳، ۱۸ و ۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)، در سال زراعی ۹۵-۱۳۹٤ در استان کرمانشاه اجرا شد. قبل از کاشت، ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌های مورد آزمایش با روش‌های استاندارد تعیین گردید. گندم در کرت‌های آزمایشی کشت شد. نمونه‌برداری از خاک در دو مرحله از رشد گندم (پنجه‌زنی و ساقه رفتن) و پس از برداشت برای اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی خاک و همچنین نسبت به برآورد عملکرد گندم و اندازه‌گیری عناصر غذایی در دانه آن با روش‌های متداول اقدام گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که بین تأثیر مقادیر مختلف گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس بر کاهش pH خاک، افزایش هدایت الکتریکی، فسفر، گوگرد، آهن و روی قابل‌استفاده در خاک در مرحله پنجه‌زنی، ساقه رفتن و پس از برداشت گندم، در مزارع چغانرگس و ماهیدشت اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد (P<۰/۰۱) و در نجف‌آباد و

* مسئول مکاتبه: davoodi_mh@yahoo.com

قمشه در سطح احتمال پنج درصد (P<۰/۰۵)، در مقایسه با تیمار شاهد وجود داشت. کم‌ترین مقدار pH خاک و بیش‌ترین مقدار ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده، در تمام مزارع آزمایشی با مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد بر هکتار و در مرحله ساقه‌رفتن مشاهده شد. پس از برداشت محصول، به‌علت بالابودن ظرفیت بافری خاک، مقدار pH و غلظت عناصر غذایی خاک، نسبت به مرحله ساقه رفتن کاهش یافتند. هم‌چنین با مصرف گوگرد، غلظت عناصر غذایی (فسفر، گوگرد، آهن و روی) به‌طور معنی‌داری در دانه گندم در هر چهار مزرعه افزایش و بیش‌ترین غلظت این عناصر با مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد بر هکتار بود.

نتیجه‌گیری: تأثیر گوگرد همراه با باکتری‌های تیوباسیلوس بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و مقدار غلظت عناصر غذایی در دانه گندم امیدوارکننده بود و این بیانگر پتانسیل خوب آن برای کاربرد در بخش کشاورزی می‌باشد و هر خاک آهکی دارای پتانسیل خاصی برای اکسیداسیون گوگرد است که وابسته به ویژگی‌های آن خاک می‌باشد و تنها مقدار کربنات‌کلسیم، معیار مناسبی برای کاربرد گوگرد برای افزایش حلالیت عناصر غذایی نمی‌باشد.

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

مقدمه

بررسی وضعیت عناصر غذایی در خاک‌های آهکی نشان می‌دهد که علی‌رغم وجود مقادیر فراوان برخی از عناصر غذایی در این خاک‌ها، فرم محلول و قابل‌جذب آن‌ها کم‌تر از مقدار لازم برای رشد و نمو گیاه بوده و کمبود این عناصر یکی از عوامل محدودکننده تولید محصول در این خاک‌ها محسوب می‌شود. برای رفع این مشکلات و برای دست‌یابی به عملکرد مطلوب در چنین خاک‌هایی ناگزیر به استفاده از گوگرد به‌عنوان یک ماده اصلاحی برای کاهش موضعی pH خاک و افزایش حلالیت عناصر غذایی می‌باشد (۲٤). اثربخشی گوگرد بستگی به مقدار اکسایش آن دارد که فرآیندی شیمیایی و زیستی است. اکسایش گوگرد در خاک‌های آهکی تحت‌تأثیر عوامل متعددی مانند اندازه گوگرد، رطوبت خاک، درجه حرارت، pH، مقدار عناصر غذایی و فعالیت‌های میکروبی در خاک قرار می‌گیرد (۱۸). کاربرد گوگرد و تولید اسید سولفوریک در نتیجه اکسایش آن، باعث کاهش pH خاک، تأمین سولفات مورد نیاز گیاهان، افزایش قابلیت جذب فسفر و عناصر کم‌مصرف توسط گیاهان و در نهایت عملکرد آن‌ها می‌شود (۸ و ١٤). کاپلان و اورمان (۱۹۹۸) گزارش کردند با کاربرد گوگرد عنصری، در شرایط مزرعه‌ای بیش‌ترین کاهش pH خاک در ۱۰ هفتگی و در شرایط گلخانه‌ای در ۵ هفتگی است و بعد از آن مجدداً افزایش می‌یابد (۲۰). گزارش شده است که با مصرف گوگرد عنصری، به‌طور معنی‌داری pH خاک در مرحله جوانه‌زنی و ساقه‌رفتن گندم کاهش و هدایت الکتریکی خاک افزایش و سپس در مرحله بلوغ، به‌تدریج به حالت اولیه نزدیک شدند (۷).

سعود (۲۰۱۱) گزارش کرد که با کاربرد گوگرد، pH خاک کاهش و مقدار هدایت الکتریکی و گوگرد قابل‌استفاده خاک افزایش یافت (۳۲). هم‌چنین گزارش شده است که در یک خاک لوم شنی، بعد از ۳ هفته از کاربرد گوگرد، pH خاک در مقایسه با تیمار شاهد، ۰/۱۸ واحد کاهش یافت (۱۱). در پژوهشی دیگر با مصرف گوگرد، بیش‌ترین غلظت فسفر قابل‌استفاده در خاک‌های زیر کشت ذرت در مرحله قبل از گل‌های نر بوده و پس از برداشت محصول، غلظت آن کاهش یافت (۱۰ و ۲۲). مک‌دونالد و

موسوی (۲۰۱۲) گزارش کردند که با کاربرد گوگرد، غلظت روی و آهن در دانه گندم به‌ترتیب ۴۰ و ۳۰ درصد افزایش یافت که نتیجه آن افزایش قدرت و تحمل بذر به انواع تنش و بیماری‌های گیاهی می‌باشد (۲۵).

هم‌چنین گزارش شده است که با مصرف گوگرد، غلظت روی و آهن در دانه گندم به‌ترتیب ۱۸/۷۶ و ۳۸/۴۷ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (۲۸). اردم و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که کاربرد گوگرد بر اساس ویژگی‌های خاک به‌خصوص مقدار گوگرد قابل‌استفاده، باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شود و بیان نمودند خاک‌هایی که مقدار گوگرد قابل‌استفاده، کم‌تری داشتند، اثر گوگرد مصرفی بر رشد و عملکرد گندم در آن‌ها بیش‌تر بود (۱۲). 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 نفت و گاز کشور، پژوهش‌های گسترده‌تری در خصوص نقش گوگرد در تأمین نیازهای غذایی گندم با توجه به سطح زیر کشت آن (در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ برابر ۱۲۰ هزار هکتار) باید انجام شود. بنابراین هدف از اجرای این پژوهش، بررسی اثر کاربرد گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس بر تغییرات pH، هدایت الکتریکی، فسفر، گوگرد، روی و آهن قابل‌استفاده در خاک‌های زیر کشت گندم و غلظت عناصر غذایی در دانه آن در چهار منطقه از خاک‌های استان کرمانشاه با گوگرد قابل‌جذب متفاوت بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و در چهار منطقه استان کرمانشاه (چغانرگس، ایستگاه تحقیقاتی ماهیدشت، نجف‌آباد و قمشه) که خاک‌های مزارع آزمایشی از مقادیر گوگرد قابل‌جذب متفاوت (۷، ۱۳، ۱۸و ۲۷ میلی‌گرم برکیلوگرم) برخوردار بودند، بر روی گندم آبی انجام شد. این آزمایش شامل چهار سطح گوگرد (۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار) همراه با باکتری تیوباسیلوس بود که در سه تکرار و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. منبع گوگرد، گوگرد پاستیل تولیدی پژوهشگاه صنعت نفت بود که یک نوع کود گوگردی گرانوله به رنگ سبز متمایل به زرد می‌باشد که دارای ۱۲ درصد رس بنتونیت و ۸۸ درصد گوگرد است. قبل از کاشت یک نمونه خاک مرکب از عمق صفر تا 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 بر اساس تیمارهای کودی همراه با باکتری تیوباسیلوس قبل از کاشت کاملاً با خاک مخلوط شد. در این آزمایش به‌ازای هر ۵۰ کیلوگرم کود گوگرد مصرفی، یک کیلوگرم باکتری تیوباسیلوس از گونه *T. neapolitanous* که حامل آن پرلیت و توسط بخش تحقیقات بیولوژی مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شده بود، استفاده شد. کاربرد سایر کودهای شیمیایی بر اساس تجزیه خاک و هم‌چنین کود حیوانی پوسیده شده به مقدار پنج تن بر هکتار به‌طور یکنواخت در تمام تیمارها و ۲۰ روز قبل از کاشت مصرف شدند. هر کرت آزمایشی به مساحت ۱۶ مترمربع شامل ۲۰ خط کاشت به طول چهار متر، که فاصله ردیف‌ها و بذرها به‌ترتیب ۲۰ و ۲/۵ سانتی‌متر بود. تاریخ کاشت از ۹۴/۸/۴ الی ۹۴/۸/۷ و رقم گندم، پیشگام بود. کشت با دستگاه همدان کار و مقدار بذر مصرفی ۱۸۰ کیلوگرم بر هکتار بود. آبیاری در هر چهار مزرعه با استفاده از سیستم آبیاری بارانی بود. برای مبارزه با علف‌های هرز باریک‌برگ در پائیز در مرحله پنجه‌زنی از سم تاپیک به مقدار یک لیتر بر هکتار و برای مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ از سم گرانستار به مقدار

۲۵ گرم بر هکتار استفاده شد. هم‌چنین نمونه‌برداری از خاک در دو مرحله از رشد فیزیولوزیکی گندم (پنجه‌زنی و ساقه رفتن) و پس از برداشت، برای تعیین تغییرات pH، هدایت الکتریکی، فسفر، گوگرد، روی و آهن قابل‌استفاده خاک انجام شد. در نمونه‌های خاک، بافت به روش هیدرومتری (۳)، کربن آلی خاک به روش والکلی و بلک (۳٤)، pH گل اشباع به‌وسیله الکترود شیشه‌ای (۲٦)، هدایت الکتریکی عصاره اشباع با دستگاه هدایت‌سنج (٤)، فسفر قابل‌استفاده به روش اولسن (۲۷)، آهن و روی با عصاره‌گیر DTPA (۲۳) و با دستگاه جذب اتمی و گوگرد به روش منوکلسیم فسفات (۱۳) اندازه‌گیری شد. در زمان رسیدگی کامل، پس از حذف اثر حاشیه، نه مترمربع برداشت شد. پس از برداشت محصول و محاسبه عملکرد، نمونه‌های دانه برای اندازه‌گیری عناصرغذایی آماده شد که نیتروزن کل به روش کجلدال (٦)، فسفر به روش طیف‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات وانادات) و با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ٤۷۰ نانومتر (۳۵)، گوگرد به روش کدورت‌سنجی و با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ٤۲۰ نانومتر (۳۰)، آهن و روی به روش خاکستر کردن خشک و با دستگاه جذب اتمی (۲۹) قرائت شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری MSTAT-C و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه مرکب تأثیر عوامل آزمایش و اثرهای برهم‌کنش آن‌ها بر برخی از ویژگی‌های خاک به‌ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

pH خاک: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مصرف گوگرد باعث کاهش معنی‌دار pH در خاک‌های زیر کشت گندم چغانرگس و ماهیدشت در سطح احتمال یک درصد (P<۰/۰۱)، در نجف‌آباد و قمشه در سطح احتمال ۵ درصد (P<۰/۰۵) در مراحل مختلف رشد آن در مقایسه با شاهد شد. در مناطق چغانرگس و ماهیدشت بین ۵۰۰ و ۱۰۰۰، در مناطق نجف‌آباد و قمشه بین ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد بر هکتار، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۳). در خاک‌های چغانرگس، ماهیدشت، نجف‌آباد و قمشه، بیش‌ترین مقدار کاهش pH خاک با تیمار ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد بر هکتار همراه با باکتری تیوباسیلوس قبل از کاشت و در مرحله ساقه‌رفتن بود که مقدار آن به‌ترتیب ۰/٦۲، ۰/۵۱، ۰/٤۱ و ۰/۲۸ 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 که خاک مزرعه چغانرگس دارای مقدار گوگرد قابل‌جذب و آهک کم‌تر، ولی ماده آلی بیش‌تری در مقایسه با سایر مزارع می‌باشد که ماده آلی آن باعث افزایش فعالیت ریزجانداران و در نتیجه مقدار اکسایش گوگرد و کاهش بیش‌تر pH خاک شد. در هر چهار مزرعه مورد آزمایش در تیمار شاهد (عدم مصرف گوگرد)، 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 (۳٦). در مرحله پس از برداشت در تمام خاک‌ها مجدداً pH خاک روند افزایشی داشت که ناشی از وجود ظرفیت بافری و مقدار بالای کربنات کلسیم خاک است (۱۷، ۲۰ و ۲۱). نتایج این پژوهش نشان داد تأثیر کاربرد مقادیر مختلف گوگرد بر کاهش pH خاک، در خاکی که دارای مقدار گوگرد قابل‌جذب بیش‌تری است (خاک قمشه)، کم‌تر بود و این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های دیگران (۱۲ و ۱٦) همخوانی داشت.

جدول ۱- نتایج تجزیه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه.

Table 1. Physical and chemical properties of studied soils.

مکان Location	بافت خاک Soil Texture	واکنش pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS m^{-1})	کربنات‌کلسیم کل (درصد) TNV (%)	نیتروژن کل (درصد) N (%)	کربن آلی (درصد) O.C (%)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) P (mg kg^{-1})	گوگرد (میلی‌گرم بر کیلوگرم) S (mg kg^{-1})	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Fe (mg kg^{-1})	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Zn (mg kg^{-1})
چغا نرگس Chogha Narges	رسی سیلتی Silty Clay	7.8	0.56	16	0.11	1.17	13	7	6.3	0.80
ماهیدشت Mahidasht	لوم رسی سیلتی Silty Clay Loam	7.9	0.6	25	0.11	1.14	9.6	13	7.3	0.70
نجف‌آباد Najaf Abad	رسی سیلتی Silty Clay	7.8	0.85	30	0.10	1.06	11	18	7.7	0.92
قمشه Ghomsheh	لوم رسی سیلتی Silty Clay Loam	7.9	1.0	35	0.09	0.97	15	27	7.5	0.95

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مرکب تأثیر مقادیر مختلف گوگرد بر برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک در مکان‌های مختلف.

Table 2. Combined analysis of variance for effect of different levels of S° on some chemical properties of soil in the different locations.

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	پ هاش pH	میانگین مربعات Mean Square				
			هدایت الکتریکی EC	فسفر P	گوگرد S	آهن Fe	روی Zn
مکان Location	3	0.263**	2.460**	3511.62**	156.63**	13.000**	0.117**
خطای مکان Error	8	0.001**	0.010^{ns}	10.282**	0.25**	0.056**	0.005^{ns}
گوگرد Sulfur	3	0.413**	1.930**	1081.33**	11.63**	3.695**	0.522**
زمان نمونه‌برداری Time	2	0.456**	1.205*	424.96**	2.60**	1.298**	0.165**
برهم‌کنش مکان و گوگرد Sulfur * Location	9	0.011**	0.015*	14.46**	0.79**	0.030**	0.030**
برهم‌کنش مکان و زمان نمونه‌برداری Location * Time	6	0.027**	0.031**	5.78**	0.17**	0.010*	0.010**
برهم‌کنش گوگرد و زمان نمونه‌برداری Sulfur * Time	6	0.03**	0.046**	36.31*	0.07**	0.001^{ns}	0.006*
برهم‌کنش مکان،گوگرد و زمان نمونه‌برداری Sulfur * Location * Time	18	0.003**	0.004^{ns}	1.14^{ns}	0.02^{ns}	0.007^{ns}	0.002^{ns}
خطای کل Error	88	0.8	0.6	0.93	0.03	0.4	0.02
ضریب تغییرات Coefficient of Variation		4.2	3.4	3.90	2.8	3.96	4.47

ns، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, *, ** indicated: non-significant, significant at P<0.05 and P<0.01, respectively.

هدایت الکتریکی خاک: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مصرف گوگرد، باعث افزایش معنی‌داری هدایت الکتریکی در خاک‌های زیر کشت گندم چغانرگس و ماهیدشت در سطح احتمال یک درصد (P<۰/۰۱)، در نجف‌آباد و قمشه در سطح احتمال ۵ درصد (P<۰/۰۵)، در مراحل مختلف رشد آن در مقایسه با شاهد شد. اگرچه تفاوت معنی‌داری بین کاربرد ۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد بر هکتار در مزارع قمشه و ماهیدشت وجود نداشت (جدول ۳). در خاک‌های مورد آزمایش، بیش‌ترین مقدار هدایت الکتریکی خاک در مرحله ساقه رفتن و با کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد بر هکتار قبل از کاشت بود که مقدار آن به‌ترتیب ۰/۸۷، ۰/۸۷، ۱/۰۳ و ۱/۱٤ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد افزایش یافت. در اثر اکسایش گوگرد در خاک، اسیدسولفوریک تولید شده با کربنات و بیکربنات‌های خاک (به‌ویژه کربنات‌های کلسیم و منیزیم) 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 (۳۳). افزایش هدایت الکتریکی خاک با کاربرد گوگرد توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (۱۷، ۲۸ و ۳۱).

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر مقادیر مختلف گوگرد بر pH و هدایت الکتریکی خاک در مکان‌های مختلف زیر کشت گندم.

Table 3. Mean comparison results for effect of different levels of S° on soil pH and EC in the different locations under grown of wheat.

گوگرد (کیلوگرم در هکتار) S° (Kg ha^{-1})	واکنش pH			هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS m^{-1})		
	پنجه‌زنی Tillering	ساقه رفتن stem elongation	پس از برداشت Post harvesting	پنجه‌زنی Tillering	ساقه رفتن stem elongation	پس از برداشت Post harvesting
چغا نرگس (Chogha Narges)						
0	7.76^{a}	7.71^{d}	7.79^{a}	0.64^{b}	0.70^{c}	0.78^{d}
250	7.75^{ab}	7.40^{c}	7.68^{b}	0.72^{b}	0.81^{bc}	0.96^{c}
500	7.66^{bc}	7.29^{b}	7.58^{c}	0.81^{b}	1.08^{ab}	1.22^{b}
1000	7.60^{c}	7.18^{a}	7.47^{d}	1.04^{a}	1.21^{a}	1.43^{a}
ماهیدشت (Mahidasht)						
0	7.78^{a}	7.81^{a}	7.76^{a}	0.43^{b}	0.51^{b}	0.79^{b}
250	7.72^{ab}	7.60^{b}	7.77^{ab}	0.48^{ab}	0.69^{b}	0.85^{b}
500	7.77^{ab}	7.48^{c}	7.68^{b}	0.62^{ab}	0.77^{ab}	1.12^{b}
1000	7.73^{b}	7.39^{c}	7.56^{c}	0.85^{a}	1.14^{a}	1.47^{a}
نجف‌آباد (Najaf Abad)						
0	7.77^{a}	7.72^{a}	7.75^{a}	0.95^{d}	0.98^{c}	1.02^{c}
250	7.73^{ab}	7.58^{b}	7.70^{ab}	0.99^{c}	1.19^{b}	1.32^{b}
500	7.69^{ab}	7.53^{b}	7.63^{bc}	1.18^{b}	1.37^{a}	1.52^{a}
1000	7.65^{b}	7.39^{c}	7.55^{c}	1.29^{a}	1.50^{a}	1.88^{a}
قمشه (Ghomsheh)						
0	7.87^{a}	7.81^{a}	7.86^{a}	1.04^{b}	1.09^{b}	1.12^{c}
250	7.84^{a}	7.76^{ab}	7.82^{a}	1.18^{ab}	1.33^{ab}	1.43^{b}
500	7.79^{ab}	7.69^{bc}	7.77^{ab}	1.31^{a}	1.50^{a}	1.60^{b}
1000	7.73^{b}	7.62^{c}	7.71^{b}	1.43^{a}	1.65^{a}	2.14^{a}

* حروف مشابه در هر ستون در چغانرگس و ماهیدشت بین تیمارهای کودی، نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و در نجف‌آباد و قمشه در سطح احتمال 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.

فسفر قابل‌استفاده خاک: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مصرف گوگرد، باعث افزایش معنی‌داری در مقدار فسفر قابل‌استفاده در خاک‌های زیر کشت گندم در چغانرگس و ماهیدشت در سطح احتمال یک درصد (P<۰/۰۱) و نجف‌آباد و قمشه در سطح احتمال ۵ درصد (P<۰/۰۵)، در مراحل مختلف رشد آن در

مقایسه با شاهد شدند. اگرچه تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای ۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در مناطق مختلف وجود نداشت و در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ٤). در خاک‌های مورد آزمایش، بیش‌ترین مقدار فسفر قابل‌استفاده در مرحله ساقه رفتن و با کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد بر هکتار قبل از کاشت بود که مقدار آن به‌ترتیب ۲/۱، ۲/۷۷، ۱/۷۷ و ۰/۹۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به شاهد افزایش یافتند که ناشی از اکسایش گوگرد، تولید اسید سولفوریک و کاهش pH خاک است. نتیجه این پژوهش با نتایج دیگران همخوانی داشت که گزارش کردند افزایش فسفر قابل‌استفاده با کاربرد گوگرد، نتیجه کاهش pH خاک و آزادسازی فسفات از ترکیبات نامحلول است (۸، ١٦ و ۲۰). در این پژوهش، میزان فسفر قابل‌استفاده خاک‌های مورد آزمایش، کم‌تر از حد بحرانی فسفر برای گندم بود. بنابراین انتظار می‌رفت که مصرف گوگرد در مقایسه با شاهد با کاهش موضعی pH خاک و افزایش حلالیت ترکیبات حاوی فسفر موجود در خاک، سبب افزایش غلظت فسفر قابل‌استفاده در مناطق مختلف مورد آزمایش شود. در مرحله پس از برداشت، به‌علت افزایش pH خاک، مقدار فسفر قابل‌استفاده در تمام خاک‌ها در مقایسه با مرحله ساقه رفتن کاهش یافت. گزارش شده است با کاربرد گوگرد، بیش‌ترین غلظت فسفر قابل‌استفاده در خاک‌های زیر کشت ذرت در مرحله قبل از گل‌های نر بوده و پس از برداشت محصول، غلظت آن کاهش یافت (۱۰، ۲۱ و ۲۲) که با نتایج این پژوهش همخوانی داشت.

گوگرد قابل‌استفاده خاک: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مصرف گوگرد، باعث افزایش معنی‌داری در مقدار گوگرد قابل‌استفاده در خاک‌های زیر کشت گندم در چغانرگس و ماهیدشت در سطح احتمال یک درصد (P<۰/۰۱) و نجف‌آباد و قمشه در سطح احتمال ۵ درصد (P<۰/۰۵)، در مراحل مختلف رشد آن در مقایسه با شاهد شدند. در خاک‌های چغانرگس، ماهیدشت، نجف‌آباد و قمشه بیش‌ترین افزایش مقدار گوگرد قابل‌استفاده خاک در مرحله ساقه رفتن با مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار گوگرد قبل از کاشت بود که مقدار آن به‌ترتیب ١٤، ١٦/٧، ۱۸ و ۲۳/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به شاهد افزایش یافتند (جدول ٤).

نتایج نشان می‌دهد که مقدار گوگرد قابل‌استفاده در تمامی خاک‌های مورد آزمایش با افزایش گوگرد افزایش یافت که این ناشی از اکسایش آن و تبدیل به اسید سولفوریک به‌وسیله ریزجانداران خاک است. الکولی و همکاران (۲۰١٤) به این نتیجه رسیدند که کاربرد گوگرد عنصری، به‌طور معنی‌داری مقداری هدایت الکتریکی، حلالیت سولفات، فسفر، پتاسیم و آهن را در خاک‌های مورد آزمایش افزایش داد. در مرحله پس از برداشت به‌علت بالابودن ظرفیت بافری و افزایش pH خاک، مقدار گوگرد قابل‌استفاده در تمام خاک‌ها در مقایسه با مرحله ساقه رفتن کاهش یافت (۸). نتایج این پژوهش با یافته‌های دیگران همخوانی داشت که گزارش کردند با مصرف گوگرد عنصری، بیش‌ترین غلظت فسفر و گوگرد قابل‌استفاده در خاک‌های زیر کشت ذرت در مرحله قبل از ظهور گل‌های نر بوده و پس از برداشت محصول، غلظت آن‌ها کاهش یافت (۲۱ و ۲۲).

جدول ٤- مقایسه میانگین تأثیر مقادیر مختلف گوگرد بر فسفر و گوگرد قابل‌استفاده خاک در مکان‌های مختلف زیر کشت گندم.

Table 4. Mean comparison results for different levels of S^o on SO_4-S and phosphorus concentration in the different locations under grown of wheat.

گوگرد (میلی‌گرم برکیلوگرم) S (mg kg^{-1})			فسفر (میلی‌گرم برکیلوگرم) P (mg kg^{-1})			گوگرد (کیلوگرم در هکتار) S^o (Kg ha^{-1})
پس از برداشت Post harvesting	ساقه رفتن stem elongation	پنجه‌زنی Tillering	پس از برداشت Post harvesting	ساقه رفتن stem elongation	پنجه‌زنی Tillering	
			چغا نرگس (Chogha Narges)			
8.1^{d}	8.2^{d}	7.7^{d}	13.2^{c}	13.4^{c}	13.3^{c}	0
15.6^{c}	16.8^{c}	10.4^{c}	13.8^{b}	14.1^{b}	13.6^{b}	250
17.3^{b}	18.9^{b}	11.6^{b}	14.3^{ab}	14.6^{ab}	13.9^{b}	500
20.0^{a}	21.0^{a}	13.^{8a}	14.7^{a}	15.1^{a}	14.4^{a}	1000
			ماهیدشت (Mahidasht)			
13.8^{d}	15.5^{c}	13.7^{d}	9.8^{b}	9.9^{b}	9.5^{d}	0
21.1^{c}	23.4^{b}	16.4^{c}	10.5^{b}	10.7^{b}	10.1^{c}	250
24.5^{b}	28.0^{a}	18.7^{b}	11.4^{a}	11.6^{a}	10.8^{d}	500
28.0^{a}	30.0^{a}	20.1^{a}	11.9^{a}	12.4^{a}	11.3^{a}	1000
			نجف‌آباد (Najaf Abad)			
19.8^{d}	20.1^{c}	19.0^{d}	11.4^{b}	11.6^{b}	11.30^{c}	0
25.7^{c}	27.0^{b}	22.7^{c}	11.9^{ab}	12.1^{b}	11.6b^{c}	250
28.0^{b}	30.3^{b}	25.0^{b}	12.3^{a}	12.5^{a}	12.1^{ab}	500
34.0^{a}	36.0^{a}	30.0^{a}	12.5^{a}	12.8^{a}	12.4^{a}	1000
			قمشه (Ghomsheh)			
29.5^{c}	30.2^{c}	28.6^{d}	15.3^{c}	15.4^{d}	15.2^{c}	0
36.3^{b}	38.3^{c}	31.7^{c}	15.4^{bc}	15.5^{bc}	15.3^{c}	250
40.3^{b}	43.7^{b}	35.0^{b}	15.6^{ab}	15.7^{b}	15.5^{b}	500
47.0^{a}	50.3^{a}	39.0^{a}	15.8^{a}	16.0^{a}	15.6^{a}	1000

* حروف مشابه در هر ستون در چغانرگس و ماهیدشت بین تیمارهای کودی نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، در نجف‌آباد و قمشه در سطح احتمال 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.

آهن قابل‌استفاده خاک: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد گوگرد، باعث افزایش معنی‌داری در مقدار آهن قابل‌استفاده در خاک‌های زیر کشت گندم در چغانرگس و ماهیدشت در سطح احتمال یک درصد (P<۰/۰۱)، در نجف‌آباد و قمشه در سطح احتمال ۵ درصد (P<۰/۰۵)، در مراحل مختلف رشد آن در مقایسه با شاهد شدند. در تمام مزارع آزمایشی، تفاوت معنی‌داری بین کاربرد ۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد بر هکتار وجود نداشت و در یک گروه آماری قرار گرفتند. در خاک‌های چغانرگس، ماهیدشت، نجف‌آباد و قمشه بیش‌ترین مقدار آهن قابل‌استفاده در مرحله ساقه رفتن و با کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار گوگرد بر هکتار قبل از کاشت بود که مقدار آن به‌ترتیب ۱/٤، ۱/۲، ۰/۹ و ۱/۰۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به شاهد افزایش یافت. در مرحله پس از برداشت به‌علت افزایش pH و ظرفیت بافری خاک، نسبت به مرحله ساقه رفتن مقدار آن کاهش یافت (جدول ۵). 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^{+3} و Fe^{+2} به‌ترتیب ۱۰۰۰ و ۱۰۰ برابر کاهش می‌یابد. به‌همین دلیل کمبود آهن در خاک‌های آهکی و با pH بالا بروز می‌کند. به‌طورکلی حلالیت ترکیبات آهن در خاک‌هایی با pH، ۸ و بالاتر، کم‌تر از ترکیبات روی و منگنز است. بنابراین نقش ترکیبات معدنی آهن در تأمین نیازغذایی گیاهان، بسیار اندک می‌باشد. قسمت عمده آهن محلول موجود در خاک، به‌صورت کمپلکس‌های طبیعی با ترکیبات آلی موجود در خاک می‌باشد. باید توجه داشت که pH خاک، مهم‌ترین فاکتور مؤثر بر قابلیت جذب آهن می‌باشد. در خاک‌های آهکی مقداری یون بی‌کربنات در اثر واکنش دی‌اکسیدکربن و آهک تولید می‌شود که این یون با افزایش pH خاک، باعث کاهش آهن قابل‌استفاده می‌شود (۲ و ۲۴). گزارش شده است که کاربرد گوگرد عنصری در خاک‌های آهکی، pH و غلظت بی‌کربنات را کاهش و مقدار آهن قابل‌استفاده را در خاک افزایش داد (۱۰، ۱۹ و ۲۱) که با نتایج این پژوهش همخوانی داشت.

جدول ۵- مقایسه میانگین تأثیر مقادیر مختلف گوگرد بر آهن و روی قابل‌استفاده خاک در مکان‌های مختلف زیر کشت گندم.

Table 5. Mean comparison results for effect of different levels of S^o on Fe and Zn concentration in the different locations under grown of wheat.

گوگرد (کیلوگرم بر هکتار) S^o (Kg ha^{-1})	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Fe (mg kg^{-1}) پنجه‌زنی Tillering	ساقه رفتن stem elongation	پس از برداشت Post harvesting	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Zn (mg kg^{-1}) پنجه‌زنی Tillering	ساقه رفتن stem elongation	پس از برداشت Post harvesting
چغا نرگس (Chogha Narges)						
0	6.5^d	6.7^d	6.6^b	0.9^b	0.9^c	0.8^c
250	6.8^c	7.1^c	7.1^a	1.0^b	1.1^b	1.0^b
500	6.9^b	7.3^b	7.2^a	1.1^a	1.3^{ab}	1.2^a
1000	7.2^a	7.6^a	7.4^a	1.2^a	1.4^a	1.2^a
ماهیدشت (Mahidasht)						
0	7.3^d	7.7^c	7.5^c	0.8^c	0.9^d	0.8^c
250	7.6^c	8.1^b	7.9^b	0.9^{bc}	1.0^c	1.0^{bc}
500	7.9^b	8.4^a	8.2^a	1.0^{ab}	1.1^b	1.1^{ab}
1000	8.2^a	8.5^a	8.4^a	1.1^a	1.3^a	1.2^a
نجف‌آباد (Najaf Abad)						
0	7.8^c	7.8^c	8.2^c	1.0^c	1.0^c	1.0^c
250	8.3^{bc}	8.3^b	8.5^b	1.1^{bc}	1.2^b	1.1^b
500	8.5^{ab}	8.5^{ab}	8.7^{ab}	1.2^{ab}	1.3^{ab}	1.2^b
1000	8.6a	8.6^a	8.8^a	1.3^a	1.4^a	1.3^a
قمشه (Ghomsheh)						
0	7.6^c	7.9^c	7.7^d	1.0^a	1.0^c	1.0^b
250	7.8^{bc}	8.1^b	7.9^c	1.1^a	1.1^b	1.0^b
500	7.9^{ab}	8.2^b	8.2^b	1.1^a	1.2^a	1.1^{ab}
1000	8.2^a	8.5^a	8.4^a	1.1^a	1.2^a	1.2^a

* حروف مشابه در هر ستون در چغانرگس و ماهیدشت بین تیمارهای کودی، نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و در نجف‌آباد و قمشه در سطح احتمال 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.

روی قابل‌استفاده خاک: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد گوگرد در خاک‌های مورد آزمایش، باعث افزایش معنی‌داری در مقدار روی قابل‌استفاده در چغانرگس و ماهیدشت در سطح احتمال یک درصد ($P<0/01$) و نجف‌آباد و قمشه در سطح احتمال سطح ۵ درصد ($P<0/05$)، در مراحل مختلف رشد گندم در مقایسه با شاهد شدند (جدول ۵). در این پژوهش در خاک‌های چغانرگس، ماهیدشت، نجف‌آباد و قمشه بیش‌ترین مقدار روی قابل‌استفاده خاک در مرحله ساقه رفتن و با کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد بر هکتار قبل از کاشت بود که مقدار آن به‌ترتیب ۰/۵۷، ۰/۵۷، ۰/۴۲ و ۰/۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به شاهد افزایش یافت. افزایش روی قابل‌استفاده خاک ناشی از اکسایش گوگرد و کاهش pH خاک است. در مرحله بعد از برداشت در تمام مکان‌های آزمایشی به‌علت کاهش فعالیت ریزجانداران، اکسایش گوگرد و در نتیجه افزایش pH خاک، مقدار روی قابل‌استفاده خاک کاهش یافت. pH خاک، مهم‌ترین فاکتور موثر بر روی قابل‌استفاده در خاک‌های آهکی است. کمبود آن وابسته به pH و غلظت آن در محلول خاک به‌ازای افزایش هر واحد pH، ۱۰۰ برابر کاهش می‌یابد. در سطوح بالای pH، روی به‌فرم ترکیبات نامحلولی مانند هیدروکسیدهای روی ($Zn(OH)_2$ و $Ca,Zn(OH)_4$) و کربنات روی، در خاک رسوب می‌کند (۵). بنابراین pH بالا و حضور کربنات‌کلسیم، سبب کاهش مقدار روی قابل‌استفاده می‌شود. گوگرد عنصری، تحت شرایط هوازی با اکسیداسیون زیستی تبدیل به سولفات می‌شود که سبب کاهش pH خاک و حلالیت عناصر غذایی غیرمحلول از جمله روی می‌شود (۹). نتیجه این پژوهش با یافته‌های دیگران همخوانی داشت (۱ و ۱۵).

تأثیر گوگرد بر غلظت عناصر غذایی در دانه گندم: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمارهای مختلف گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس، باعث افزایش معنی‌داری در غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، گوگرد، آهن و روی در دانه گندم مزارع چغانرگس، ماهیدشت در سطح احتمال یک درصد ($P<0/01$) و نجف‌آباد و قمشه در سطح احتمال پنج درصد ($P<0/05$) شدند و بیش‌ترین غلظت این عناصر با کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار گوگرد بود (جدول ٦). از مهم‌ترین آثار سوء زیادی آهک در خاک‌های زراعی، واکنش آن با بعضی از عناصر کودی و تبدیل آن‌ها به ترکیبات تقریباً نامحلول و غیرقابل‌استفاده توسط گیاه می‌باشد که با مصرف گوگرد و اکسایش آن در شرایط محیطی مناسب که عمدتاً به‌صورت زیستی انجام می‌شود، می‌تواند سبب افزایش حلالیت عناصر غذایی در خاک شود که نتایج این پژوهش آن را اثبات می‌نماید. در چغانرگس غلظت نیتروژن، فسفر، گوگرد، آهن و روی به‌ترتیب ۰/۱۳، ۰/۰٤، ۰/۰۳ درصد، ٦/۲ و ٤/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، در ماهیدشت، ۰/۱۵، ۰/۰۳، ۰/۰۵ درصد، ۳/۳ و ۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم، در نجف‌آباد ۰/۰۹، ۰/۰۳، ۰/۰۳ درصد، ۲/۳ و ٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در قمشه به‌ترتیب ۰/۰۷، ۰/۰۵، ۰/۰۳ درصد، ٤/۳ و ۳/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به تیمار شاهد افزایش یافتند. در این آزمایش مشخص شد که در چغانرگس و ماهیدشت بین تیمارهای کاربرد ۵۰۰ و۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد بر هکتار اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و در نجف‌آباد و قمشه بین تأثیر تیمارهای ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار گوگرد بر عملکرد کمی و کیفی دانه گندم اختلاف معنی‌داری

مشاهده نشد (جدول ۷). گزارش شده است که کاربرد گوگرد همراه با باکتری‌های تیوباسیلوس در خاک، باعث تشدید اکسایش گوگرد شده و با کاهش موضعی pH خاک در اطراف ریشه‌های گیاه، به حلالیت عناصر تثبیت شده در خاک‌های آهکی و در نهایت باعث افزایش غلظت عناصر غذایی می‌شود (۲۴).

جدول ٦- نتایج تجزیه واریانس مرکب تأثیر مقادیر مختلف گوگرد بر غلظت عناصر غذایی در دانه گندم در مکان‌های مختلف.

Table 6. Combined analysis of variance for effect of different levels of S^{o} on nutrients concentration in the different locations under grown of wheat.

میانگین مربعات Mean Square					درجه آزادی Degree of freedom	منبع تغییرات Source of variation
روی Zn	آهن Fe	گوگرد S	فسفر P	نیتروژن N		
180.64**	220.22**	0.05**	0.052**	0.002*	3	مکان Location
5.23^{ns}	4.65^{ns}	0.001^{ns}	0.001^{ns}	0.001^{ns}	8	خطای مکان Error
46.34**	35.35**	0.002**	0.003**	0.026**	3	گوگرد Sulfur
3.9^{ns}	2.65**	0.001^{ns}	0.001^{ns}	1.00**	9	برهم‌کنش گوگرد و مکان Sulfur * Location
2.37	0.51	0.001	0.001	0.001	24	خطای کل Error
5.14	4.20	4.14	3.51	3.05		ضریب تغییرات Coefficient of Variation

ns، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, *, ** indicated: non-significant, significant at P<0.05 and P<0.01, respectively.

جدول ۷- مقایسه میانگین تأثیر مقادیر مختلف گوگرد بر غلظت عناصر غذایی در دانه گندم در مکان‌های مختلف.

Table 7. Mean comparison results for effect of different levels of S^{o} on nutrients concentration in the different locations under grown of wheat.

روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Zn (mg kg^{-1})	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Fe (mg kg^{-1})	گوگرد (درصد) S (%)	فسفر (درصد) P (%)	نیتروژن (درصد) N (%)	گوگرد (کیلوگرم بر هکتار) S^{o} (Kg ha^{-1})
چغا نرگس (Chogha Narges)					
24.5^{b}	56.5^{c}	0.26^{b}	0.29^{b}	2.10^{b}	0
27.0^{ab}	59.6^{b}	0.29^{a}	0.32^{a}	2.15^{b}	250
27.0^{ab}	61.9^{a}	0.29^{a}	0.32^{a}	2.19^{ab}	500
28.0^{a}	62.7^{a}	0.28^{a}	0.33^{a}	2.23^{a}	1000
ماهیدشت (Mahidasht)					
30.5^{b}	62.0^{b}	0.40^{b}	0.44^{b}	2.11^{c}	0
33.8^{ab}	64.8^{a}	0.43^{a}	0.47^{a}	2.15^{bc}	250
36.8^{a}	65.3^{a}	0.43^{a}	0.47^{a}	2.19^{b}	500
38.5^{a}	64.5^{a}	0.45^{a}	0.46^{a}	2.26^{a}	1000

ادامه جدول ۷-

Continue Table 7.

روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Zn (mg kg^{-1})	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Fe (mg kg^{-1})	گوگرد (درصد) S (%)	فسفر (درصد) P (%)	نیتروژن (درصد) N (%)	گوگرد (کیلوگرم بر هکتار) S^{o} (Kg ha^{-1})
		نجف‌آباد (Najaf Abad)			
29.0^{c}	54.0^{b}	0.30^{a}	0.35^{b}	2.12^{b}	0
30.3^{bc}	55.0^{ab}	0.32^{a}	0.37^{a}	2.16^{ab}	250
32.0^{ab}	56.0^{a}	0.32^{a}	0.37^{a}	2.19^{a}	500
33.0^{a}	56.3^{a}	0.33^{a}	0.38^{a}	2.21^{a}	1000
		قمشه (Ghomsheh)			
25.5^{b}	53.0^{b}	0.30^{a}	0.31^{b}	2.10^{b}	0
26.6^{ab}	55^{ab}	0.31^{a}	0.32^{b}	2.14^{ab}	250
27.7^{a}	56^{ab}	0.32^{a}	0.34^{ab}	2.17^{a}	500
28.2^{a}	57.3^{a}	0.33^{a}	0.36a	2.17^{a}	1000

* حروف مشابه در هر ستون در چغانرگس و ماهیدشت بین تیمارهای کودی نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و در نجف‌آباد و قمشه در سطح احتمال 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.

نتیجه این پژوهش با یافته‌های سایر پژوهشگران همخوانی داشت که گزارش کردند با کاربرد گوگرد، غلظت روی و آهن در دانه گندم به‌ترتیب ۴۰ و ۳۰ درصد افزایش یافت که نتیجه آن، افزایش قدرت و تحمل بذر به انواع تنش و بیماری‌های گیاهی می‌باشد (۲۵ و ۲۷). در پژوهش حاضر به‌نظر می‌رسد که همین عامل موجب افزایش حلالیت عناصر غذایی و تولید مواد فتوسنتزی بیش‌تر در گیاه شده و در نتیجه، افزایش عناصر غذایی در دانه گندم شده است. هم‌چنین نتایج تجزیه مرکب تأثیر عوامل آزمایش و اثرات برهم‌کنش آن بر غلظت عناصر غذایی در جدول ٦ نشان داده شده است.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که مصرف گوگرد در خاک‌های آهکی مورد آزمایش، باعث کاهش pH خاک و افزایش غلظت عناصر غذایی قابل‌استفاده در خاک (فسفر، گوگرد، آهن و روی) و در دانه گندم شد و این بیانگر پتانسیل خوب آن برای کاربرد در بخش کشاورزی می‌باشد نتایج نشان داد همان‌طوری‌که مصرف گوگرد به مقدار کم‌تر از حد لازم در بهبود شرایط خاک مؤثر واقع نخواهد شد، مصرف بیش از اندازه آن نیز باعث افزایش شوری و کاهش غلظت عناصر غذایی قابل‌استفاده در خاک و در نهایت سبب کاهش عملکرد گیاه می‌شود. بنابراین تعیین دقیق مقدار گوگرد مورد نیاز به‌منظور اجتناب از به‌هم‌خوردن تعادل عناصر غذایی در خاک امری لازم و ضروری است و هم‌چنین باید قبل از کاربرد گوگرد، به این نکته توجه داشت که خاک از نظر همه عناصر کم‌مصرف و فسفر دچار کمبود باشد و صرفاً نباید فقط به آهکی‌بودن خاک اکتفا کرد. در این پژوهش مشخص شد خاکی که مقدار گوگرد قابل‌جذب آن

پایین بود (مثلاً چغانرگس در مقایسه با قمشه)، با مصرف گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس، مقدار کاهش pH و افزایش حلالیت عناصر غذایی در آن بیش‌تر بود. بنابراین در خاک‌هایی که مقدار گوگرد قابل‌جذب آن‌ها کم‌تر از حد بحرانی ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد، مقدار ۵۰۰ کیلوگرم گوگرد و در مناطقی که مقدار گوگرد قابل‌جذب آن‌ها، بین ۱۵ الی ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد مقدار ۲۵۰ کیلوگرم بر هکتار پیشنهاد می‌شود. ضروری است به‌منظور مدیریت مصرف بهینه گوگرد و رعایت جنبه‌های اقتصادی، قبل از کاشت محصولات زراعی علاوه بر درصد آهک، سایر ویژگی‌های خاک مانند مقدار گوگرد قابل‌جذب، هدایت الکتریکی و غلظت عناصرغذایی قابل‌استفاده در خاک، مدنظر قرار گیرد.

منابع

1. 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. Aust. J. Crop Sci. 5: 5. 554-561.
2. Besharati, H., and Rastin, N. 1998. Effect of application *Thiobacillus spp.* Inoculants and elemental sulfur on pH and phosphorus availability. Iran. J. Soil Water Sci. 13: 6. 23-39. (In Persian)
3. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. Agron. J. l54: 5. 464-465.
4. Black, C.A., Evans, D.D., and Dinauer, R.C. 1965. Methods of Soil Analysis. Am. Soc. Agron. Madison, WI. 9: 653-708.
5. Brady, N.C., and Weil, R.R. 2002. The Nature and Properties of Soils. 14nd Ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
6. Buresh, R.J., Austin, E.R., and Craswell, E.T. 1982. Analytical methods in N-15 research. Fert. Res. 3: 37-62.
7. 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. J. Am. Sci. 6: 11. 1078-1084.
8. El-Kholy, A.M., Ali, O.M., El-Sikhry, E.M., and Mohamed, A.L. 2013. Effect of Sulfur application on the availability of some nutrients in Egyptian soils. Egypt. J. Soil Sci. 53: 3. 361-377.
9. 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.). Aust. J. Agric. Res. 57: 1. 101-111.
10. Erdal, Ð., 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. J. Natur. Appl. Sci. 7: 1. 37-42.
11. Erdal, I., Kepenek, K., and Kızılgoz, I. 2004. Effect of elemental sulfur and sulfur containing waste on the iron nutrition of strawberry plants grown in a calcareous soil. Bio. Agric. Hort. 23: 263-272.
12. Erdem, H., Torun, M.B., Erdem, N., Yazıcı, A., Tolay, I., Gunal, E., and Özkutlu, F. 2016. Effects of different forms and doses of sulfur application on wheat. Turk. J. Agric. Food Sci. Tech. 4: 11. 957-961.
13. Fox, R.L., Alson, R.A., and Rhoades, H.F. 1964. Evaluating the sulfur status of soils by plants and soil tests. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 21: 287-292.
14. 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. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 46: 17. 2111-2126.

15.Gohargani, J. 2015. Effect of sulfur, organic matter and *Thiobacillus* on availability of micronutrients in canola seeds in a calcareous soil. J. Soil Biol. 3: 1. 73-82. (In Persian)
16.Hashemimajd, K., Mohamadi farani, T., and Jamaati, S. 2012. Effect of elemental sulfur and compost on pH, electrical conductivity and phosphorus availability of one clay soil. Afric. J. Biotech. 11: 6. 1425-1432.
17.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. J. Agric. Sci. 32: 9. 7953-7965.
18.Janzen, H.H., and Bettany, J.R. 1987. Oxidation of elemental sulfur under field conditions in central Saskatchewan. Can. J. Soil Sci. 67: 609-618.
19.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. J. Plant Nutr. 11: 1353-1360.
20.Kaplan, M., and Orman, S. 1998. Effect of elemental sulfur and sulfur containing waste in a calcareous soil in Turkey. J. Plant Nutr. 21: 1655-1665.
21.Khan, M.J., Khan, M.H., Khattak, R.A., and Jan, M.T. 2006. Response of maize to different levels of sulfur. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 37: 1-2. 41-51.
22.Imran, M., Sajida, P., Amjad, A., and Fayaz, A. 2014. Influence of sulfur rates on phosphorus and sulfur content of miaze crop and its utilization in soil. Intl J. Farm Alli Sci. 3: 11. 1194-1200.
23.Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.
24.Malakouti, M.J., and Keshavarz, P. 2006. A look at the fertility status of Iranian soils (Evaluation and Utilization). 1st edition. Tehran: Sana Press, Iran. 503p. (In Persian)
25.McDonald, G.K., and Mousavvi Nik, M. 2009. Increasing the supply of sulfur increases the grain zinc concentration in bread and durum wheat. UC Davis: The Proceedings of the internationalPlant Nutrition Colloquium XVI. Retrieved: http://escholarship.org/uc/item.
26.McLean, E. 1982. Soil pH and lime requirement. Methods of Soil Analysis-Part 2. Chemical and Microbiological properties. Agronomy Monograph 9.2, Pp: 199-224.
27.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, 939p.
28.Orman, S., and Hüseyin, O. 2012. Effects of sulfur and zinc applications on growth and nutrition of bread wheat in calcareous clay loam soil. Afric. J. Biotech. 11: 13. 3080-3086.
29.Ryan, J., Estefan, G., and Rashid, A. 2007. Soil and Plant Analysis Laboratory Manual, Icarda, 172p.
30.Quin, B.F., and Wood, P.H. 1976. Rapid manual determination of sulfur and phosphorous in plant material. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 7: 4. 415-425.
31.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. J. Am. Sci. 9: 12. 19-24.
32.Soaud, A.A., Al Darwish, F.H., Saleh, M.E., El-Tarabiliy, K.A., Sofian-Azirun, M., and Rahman, M. 2011. Effects of elemental sulfur, phosphorus, micronutrients and *Paracoccus versutus* on nutrient availability of calcareous soils. Aust. J. Crop Sci. 5: 5. 554-561.
33.Slaton, N.A. 1998. The influence of elemental sulfur amendments on soil chemical properties and Rice growth. University of Arkansas. A dissertation of Doctor of Philosophy.
34.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 Sci. 37: 1. 29-38.
35.Westerman, R.L. 1990. Soil Testing and Plant Analysis. 3rd edition. Soil Sci Soc. Am, Inc. Madison, Wisconsin, U.S.A.
36. Ye, R., Wright, A.L., and McCray, J.M. 2011. Seasonal changes in nutrient availability for sulfur-amended everglades soils under sugarcane. J. Plant Nutr. 34: 14. 2095-2113.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(5), 2019
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2018.12334.2691

Effect of sulfur on some chemical properties of soil and nutrients concentration in wheat grain (*Triticum astivum* L.)

***M.H. Davoodi[1], J. Ghaderi[2] and K. Khavazi[3]**
[1]Assistant Prof. of Soil and Water Research Institute, AREEO, [2]Assistant Prof., Dept. of Soil and Water Research, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, [3]Professor of Soil and Water Research Institute, AREEO
Received: 02.19.2018; Accepted: 08.15.2018

Abstract

Background and Objectives: In calcareous soils of Iran, due to high pH, nutrients are slightly soluble and their absorption by plants is difficult. In order to solve these problems and to achieve optimal yield in such soils, the use of sulfur as a correction agent is necessary to reduce the local pH of the soil and increase the solubility of nutrients. The aim of this study was to evaluate the sulfur effect inoculated with *Thiobacillus* bacteria on some chemical properties of soil (pH, electrical conductivity, phosphorous, sulfate iron and available zinc) and nutrients concentration in wheat grain in four areas of Kermanshah province with different available sulfur.

Materials and Methods: 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^{-1}soil) in Kermanshah Province. Sulfur was applied at 0, 250, 500 and 1000 kg ha^{-1} as Pastille Sulfur (PS), using complete randomized blocks design with three replications in a during cropping season 2015-2016. Seeds of wheat were planted in plots. Before cultivation, the phytochemical properties of soils were analyzed using standard laboratory methods. Soil samples at tillering, stem elongation and post harvesting stage was collected for determination of pH, electrical conductivity (EC), phosphorous (P), sulfate ($S\text{-}SO_4$), iron (Fe) and available zinc (Zn). Finally, grain yield and concentration of nutrients were determined using routine methods.

Results: The result showed that PS significantly decreased the soil pH and adversely, increased EC, P, $S\text{-}SO_4$, soil DTPA- extractable Fe and Zn in the Chogha Narges, Mahidasht ($P<0.01$) and in Najaf Abad and Ghomsheh ($P<0.05$) at tillering, stem elongation and post harvesting stage compared with the control. The lowest pH and highest EC, P, $S\text{-}SO_4$, Fe and Zn value were observed with 1000 kg ha^{-1} S^o at stem elongation. After harvesting due to the reduction of sulfur oxidation and buffering capacity of soils, pH and nutrients gradually reduced in comparison to the stem elongation stage. Also, nutrients concentration (P, S, Fe and Zn) in wheat grain was significantly increased by the application of PS compared to control. The highest nutrients concentration was observed with application of 1000 kg S^o ha^{-1}.

Conclusion: The effect of simultaneous application of sulfur and *Thiobacillus* bacteria on the chemical properties of the soil and nutrients concentration in wheat grain was promising, which indicates its good potential for use in agriculture. Each calcareous soil, has a specific potential for sulfur oxidation which depends on its characteristics and the only amount of calcium carbonate is not a suitable measure for the application of sulfur to increase the solubility of nutrients.

Keywords: EC, P, pH, S, Zn

* Corresponding Author; Email: davoodi_mh@yahoo.com