نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد دهم، شماره چهارم، زمستان ۹۶
۱۵-۳۸
http://ejcp.gau.ac.ir

مطالعه برهمکنش گوگرد و روی بر عملکرد و اجراء عملکرد پنبه و برخی پارامترهای خاک

خدیجه سوری عبداله‌زاده[۱]، *شاهین شاهسونی[۲]، حمید عباسدخت[۳]، علی عباسپور[۴] و مهدی رحیمی[۵]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد علوم خاک، دانشگاه شاهرود، [۲]استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه شاهرود، [۳]دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شاهرود، [۴]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه شاهرود، [۵]مربی گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شاهرود

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۲/۱۲

چکیده

سابقه و هدف: میزان گوگرد گیاهان به اندازه فسفر و اهمیت آن در تشکیل پروتئین به اندازه نیتروژن است، اما به‌عنوان عنصری در درجه دوم اهمیت بعد از نیتروژن، فسفر و پتاسیم در اغلب سیستم‌های خاک و گیاه در نظر گرفته می‌شود. همچنین گوگرد مصرف شده در خاک تحت تأثیر موجودات ذره‌بینی از جمله باکتری‌های از جنس تیوباسیلوس که هوازی واتوتروف بوده طی مراحلی اکسید و به اسید سولفوریک تبدیل می‌گردد. این اسیدی شدن که به‌طور موقت صورت می‌گیرد حلالیت عناصرغذایی بالاتر رفته و بهتر مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر به‌منظور بررسی برهم‌کنش گوگرد، روی و باکتری تیوباسیلوس بر عملکرد پنبه و اجزای عملکرد آن و برخی پارامترهای خاک، آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار در شهرستان مه‌ولات استان خراسان اجرا گردید. فاکتورهای آزمایشی شامل کاربرد گوگرد در سه سطح صفر، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار، کاربرد باکتری تیوباسیلوس در دو سطح مصرف و عدم مصرف و کاربرد سولفات روی در دو سطح صفر و ۵۰ کیلوگرم در هکتار بود.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل گوگرد، روی و تیوباسیلوس در برخی صفات زراعی و خاکی از جمله عملکرد وش ۵۲۰۸ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد پنبه دانه (۳۶۲۲ کیلوگرم در هکتار) وزن قوزه ۷/۸۸ کیلوگرم در هکتار)، تعداد شاخه رویا در این تیمارها نسبت به عدم کاربرد گوگرد و روی (۱۰/۹۸) به‌طور معنی‌داری در سطح ۱ درصد افزایش یافت، تعداد قوزه در بوته با کاربرد گوگرد، روی و تیوباسیلوس و اثر متقابل روی و تیوباسیلوس بر تعداد قوزه در بوته به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت. همچنین واکنش خاک (pH)، هدایت الکتریکی، سولفات قابل جذب، ارتفاع بوته و ارتفاع اولین قوزه معنی‌دار شد که با توجه به نتایج مقایسات میانگین کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد در صورت عدم مصرف تیوباسیلوس و روی و همچنین تیمار کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به‌همراه تیوباسیلوس موجب افزایش معنی‌داری در عملکرد وش و عملکرد پنبه دانه نسبت به شاهد گردید. کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به‌تنهایی و همچنین کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به‌همراه مصرف روی موجب افزایش معنی‌داری در وزن قوزه گردید. در ارزیابی صفات مرتبط با خاک مورد مطالعه کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به تنهایی موجب کاهش معنی‌داری در واکنش خاک (۷/۳۵) و موجب افزایش

*مسئول مکاتبه: shahsavani2001@yahoo.com

معنی‌داری در هدایت الکتریکی خاک (۱۶/۵)، میزان سولفات جذب شده در سطح ۱ درصد افزایش یافت و میزان روی جذب شده در سطح ۵ درصد افزایش یافت. کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به‌همراه تیوباسیلوس موجب افزایش معنی‌داری در سولفات قابل جذب خاک و سولفات جذب شده گردید. نتایج حاصل از داده‌ها نشان داد که کلیه اثرات اصلی بر روغن دانه پنبه معنی‌دار نشد.

نتیجه‌گیری: نتایج به‌دست آمده نشان داد که اثر متقابل گوگرد، روی و تیوباسیلوس در برخی صفات زراعی، خاک و گیاه معنی‌دار شد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین، تیمار کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد، عدم مصرف تیوباسیلوس و روی موجب افزایش معنی‌داری در عملکرد وش، عملکرد پنبه دانه، هدایت الکتریکی خاک، میزان سولفات جذب شده و میزان روی جذب شده گردید.

واژه‌های کلیدی: تیوباسیلوس، گوگرد، صفات زراعی، عملکرد

مقدمه

کشت پنبه از نظر ایجاد درآمد و اشتغال در جهان و به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه حائز اهمیت بسیار می‌باشد. سطح کشت پنبه در جهان در سال اول قرن جاری حدود ۳۵ میلیون هکتار و مقدار محصول وش آن حدود ۵۳ میلیون تن بوده است. بالاترین تولید، به کشورهای چین، آمریکا و هند تعلق دارد. گیاه نیاز به انواع عناصر از جمله عناصر کم مصرف به‌منظور بهبود عملکرد و کیفیت محصولات دارد. زودرسی ریزش گل و عدم تجمع دانه‌ها مشکلات رایج در تولید پنبه است این تا حدی به کمبود ریز مغذی‌ها مانند روی، آهن، مس و غیره نسبت داده شده است. روی یکی از اولین عناصر کم مصرف به‌عنوان عنصر ضروری برای گیاهان شناخته شده است. روی برای تولید کلروفیل و کربوهیدرات لازم است. روی در داخل گیاه منتقل نمی‌شود بنابراین علائم آن برای اولین بار در برگ‌های جوان دیده می‌شود (۲۵). گوگرد در تشکیل سبزینه گیاهی و در ساختمان پروتئین گیاهان شرکت دارد. مهمترین نقشی که گوگرد در گیاهان ایفا می‌کند شرکت در اسیدهای آمینه ضروری سیستئین و متیونین می‌باشد بنابراین نقش اساسی را در سنتز پروتئین ایفا نموده و حضور این عنصر می‌تواند باعث افزایش پروتئین دانه گردد. اصغر مالک و همکاران (۲۰۰٤) نیز دلیل افزایش درصد روغن در اثر مصرف گوگرد را نقش مهم گوگرد در بسیاری از اسیدهای چرب و نیاز به‌این عنصر برای سنتز دیگر متابولیت‌های حاوی کوآنزیم آ، ویتامین ب، اسیدلیپوئیک و سولفولیپیدها دانستند (۲). یکی از مهمترین خصوصیات گوگرد دارا بودن درجات مختلف اکسیداسیون می‌باشد بدین ترتیب علاوه بر ارزش تغذیه‌ای و در نتیجه تأمین سولفات موردنیاز گیاه (۲۲، ۲۷ و ۳۲). به‌دلیل اکسید شدن و تولید اسیدسولفوریک توانایی لازم برای کاهش اسیدیته خاک را (حداقل در مقیاس کوچک اطراف ریشه‌ها) نیز دارا می‌باشد (۳۲). تد (۱۹۹۵)، گزارش داد که طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها قادر به اکسایش گوگرد در محیط هستند که از بین آن‌ها باکتری‌های تیوباسیلوس نقش مهمی را در اکسایش گوگرد ایفا می‌کنند (۳۵). کایا و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که این عنصر نقش مهمی را در سنتز ویتامین‌ها و کلروفیل در سلول دارد. در نتیجه کمبود گوگرد، رشد گیاه کند شده و کیفیت و کمیت محصول تولیدی پایین می‌آید (۱۹). شرما و همکاران

(۲۰۰۰) در آزمایشی مزرعه‌ای به‌منظور مطالعه اثر عناصر کم مصرف و پر مصرف بر روی پنبه گزارش کردند که استفاده از ترکیب نیتروژن، فسفر، پتاسیم و گوگرد به‌طور قابل توجهی تعداد قوزه در بوته و عملکرد کل را نسبت به شاهد افزایش دادند (۳۱). جاویر سینگ و کایرون (۲۰۰۱) در یک آزمایش مزرعه در یک خاک لوم شنی به‌منظور مطالعه اثر گوگرد بر پنبه نشان دادند که عملکرد پنبه دانه و آفتابگردان با افزایش میزان گوگرد افزایش یافت (۱۳). فنگ و چنگ (۲۰۱۱) گزارش دادند که کمبود گوگرد به میزان قابل توجهی تعداد قوزه در بوته را کاهش داد (۱۰). وادوپ (۲۰۱۱) گزارش داد که خاک‌های با بافت درشت، موادآلی کم و زهکشی خوب اغلب دارای کمبود گوگرد هستند (۳۷). فلاحت‌گر (۲۰۱۳) در بررسی تأثیر مقادیر مختلف گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس بر عملکرد ماده خشک، میزان کلروفیل و جذب آهن و روی در دو رقم سویا، نتیجه گرفتند که افزایش سطوح گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس باعث کاهش pH خاک شد (۹). کاکار کت کت (۲۰۰۷) گزارش دادند که وجود عنصر روی که از عناصر غذایی میکرو می‌باشد در پنبه ضروری است و در صورت کمبود حساسیت بالایی دارد (۱۵). نیکولوو (۲۰۰۲) در آزمایشات خود نشان داد که کاربرد ۸۰۰ گرم در هکتار روی در مرحله جوانه‌زنی پنبه که به‌صورت اسپری زده شد عملکرد را حدود ۱۲ درصد افزایش داد (۲٦). هلینا کمپانی (۲۰۰٦) گزارش داد که مشکلات جذب روی توسط گیاه از خاک منجر به توسعه تولیدات کودهای کلات روی شده است (۱۲). هدف از انجام این آزمایش بررسی اثر روی، باکتری تیوباسیلوس و گوگرد بر افزایش عملکرد و اجزای عملکرد پنبه بهبود برخی خصوصیات شیمیایی خاک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

شهرستان مه‌ولات به مرکزیت شهر فیض‌آباد از توابع خراسان رضوی در فاصله ۲۰۰ کیلومتری مشهد مقدس با مساحتی در حدود ۳۷۳٤ کیلومتر مربع بین طول‌های جغرافیایی ۵۸ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۵۹ درجه و ٦ دقیقه و عرض‌های جغرافیایی ۳٤ درجه و ٤۷ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۲ دقیقه واقع شده است. دشت فیض‌آباد در بخش مرکز و جنوب شهرستان واقع شده است. این دشت به‌دلیل آب و هوای گرم و خشک مستعد کاشت محصولات گرمسیری است و نوع آب آن از نظر کیفی تغییر می‌کند و میزان شوری آن بالا است. نمونه‌گیری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک محل اجرای طرح قبل از کشت جهت تعیین پارامترهای N، P، K، Zn، بافت، هدایت الکتریکی، pH، آهک، میزان مواد آلی، SO_4 انجام گردید. براساس نتایج آزمایش‌های خاک‌شناسی، خاک محل اجرای آزمایش دارای ۵۵ درصد شن، ۲۵ درصد سیلت و ۲۰ درصد رس می‌باشد که با توجه به مثلث بافت خاک دارای بافت لوم شنی است. واکنش خاک در محدوده خنثی تا کمی قلیایی (۷/۸) قرار دارد که از این نظر جذب برخی از عناصر کم مصرف نظیر آهن، روی، مس و منگنز توسط گیاه با اشکال مواجه می‌شود. نتایج حاصل از آزمایش خاک محل اجرای آزمایش در جدول (۱) قابل مشاهده است.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش.

Table 1. Some Soil physicochemical properties.

عمق (سانتی‌متر) Depth (cm)	اسیدیته اشباع pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) Ec ($ds\ m^{-1}$)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Avail. P ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Avail. K ($mg\ kg^{-1}$)	درصد آهک $CaCO_3$%	درصد مواد آلی O.C%	درصد نیتروژن کل Total N%	سولفات قابل جذب (میلی‌اکی‌والان بر لیتر) Avail.S ($meq\ L^{-1}$)
0-30	7.8	7.6	15.5	125	16.5	1	0.08	13
عمق (سانتی‌متر) Depth (cm)	روی قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Avail. Zn ($mg\ kg^{-1}$)	منگنز قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Avail. Mn ($mg\ kg^{-1}$)	آهن قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Avail. Fe ($mg\ kg^{-1}$)	مس قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Avail. Cu ($mg\ kg^{-1}$)	کربنات قابل جذب (میلی‌اکی والان برلیتر) Avail. $CaCO_3$ ($mg\ kg^{-1}$)	بیکربنات قابل جذب (میلی‌اکی والان برلیتر) $Ca(HCO_3)_2$ ($mg\ kg^{-1}$)	کلاس بافت خاک Soil texture class	
0-30	0.13	3.4	1.24	0.34	-	3.7	لوم شنی Sandy loam	

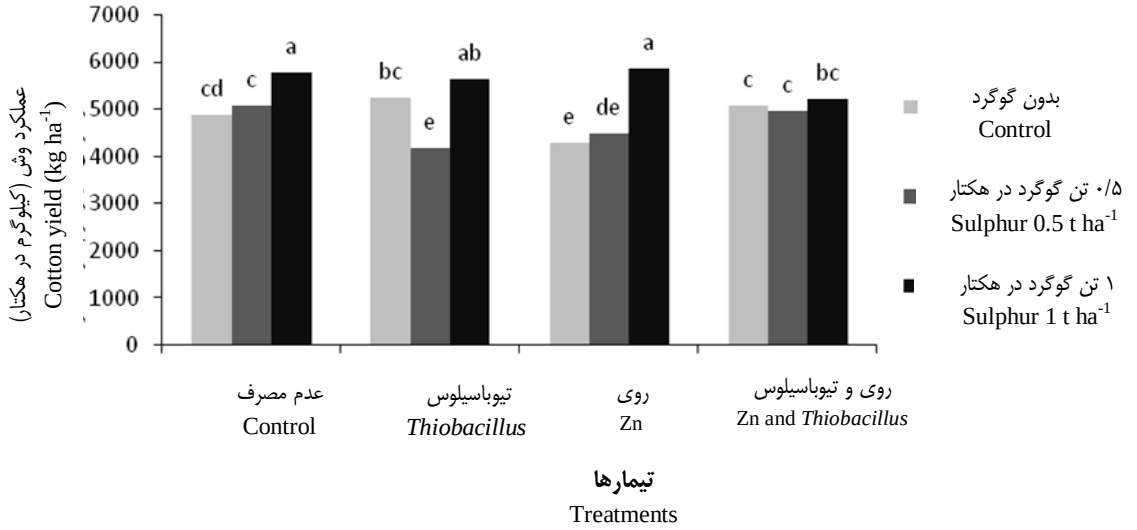
این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی دارای ۱۲ تیمار و ۳ تکرار و ۳۶ کرت آزمایشی به اجرا در آمد، که فاکتور اول شامل کاربرد روی در دو سطح صفرو ۵۰ کیلوگرم در هکتار، فاکتور دوم شامل کود گوگرد گرانوله در سه سطح صفر، ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار، ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و فاکتور سوم شامل باکتری تیوباسیلوس در دو سطح عدم مصرف و مصرف می‌باشد. بعد از برداشت محصول پنبه، نمونه‌گیری خاک و برگ از هر کرت به‌طور جداگانه جهت آنالیزهای خاک و برگ انجام گرفت. هر کرت آزمایشی شامل ۵ خط کاشت به طول ۳ متر، که فاصله بین خطوط ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها در روی خطوط ۲۰ سانتی‌متر بود. بدین ترتیب ابعاد هر کرت ۳ × ۵ منظور گردید. کود گوگرد گرانوله (۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) و باکتری تیوباسیلوس قبل از کشت به کرت‌ها اعمال گردید. قبل از کاشت کود پایه (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم) و همچنین ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در طی سه مرحله که یک سوم آن در زمان کاشت و یک سوم دیگر در زمان شروع غنچه‌دهی و یک سوم دیگر در زمان شروع گلدهی با توجه به آزمایش خاک بر روی سطح خاک پخش کرده و سپس زمین موردنظر قبل از کاشت توسط گاو آهن برگرداندار شخم عمیق زده شد. پس از اجرای شخم به منظور خرد کردن کلوخه‌ها و آماده‌سازی بستر بذر، عملیات دیسک‌زنی انجام گردید. پس از تسطیح زمین، جوی و پشته در زمین ایجاد شد. جوی و پشته‌های ایجاد شده به فاصله ۷۵ سانتی‌متر از یکدیگر بودند. پس از ایجاد جوی و پشته، جوی‌های اصلی در زمین و کرت‌بندی زمین صورت گرفت. عملیات کاشت در تاریخ ۹۱/۲/۱۸ انجام شد. و پس از کاشت، آبیاری صورت گرفت. دور آبیاری صورت گرفته ۱۲ روز بود. در زمان گلدهی که حساس‌ترین مرحله آبیاری پنبه است در اواسط گلدهی همزمان با مشاهده اولین قوزه‌ها فواصل آبیاری به شش روز یک بار رسید و تا زمان پایان آبیاری که تقریبا اواسط شهریور بود، ادامه یافت. برای عملیات کوددهی، کود پایه قبل از کاشت به زمین اضافه شد که کود اوره در طی سه مرحله به زمین داده شد و کودهای گوگرد و باکتری تیوباسیلوس سه هفته قبل از کاشت به زمین داده شد، تا مراحل اکسیداسیون گوگرد به مرور زمان انجام شود

و کود سولفات روی در مرحله دو تا چهار برگی در فاصله نزدیک به ساقه گیاه به‌صورت محلول به خاک افزوده شد. در مرحله ٦ تا ٨ برگی اقدام به تنک کردن بوته‌ها شد و به فاصله هر بیست سانتی‌متر یک بوته نگه داشته شد. که با دست و به‌وسیله کارگر صورت گرفت. وجین علف‌های هرز بعد از آبیاری چهارم انجام شد. سم‌پاشی و مبارزه با آفات هم در مراحل مختلف رشد گیاه همزمان با مشاهده حشرات و آفات صورت گرفت. سرزنی بوته‌های قوزه تقریبا در اوایل شهریور صورت گرفت. هنگامی که قوزه‌ها کاملا رسیدند و دیواره‌های تخمدان مایل به زرد شدند برداشت وش پنبه انجام شد که طی دو مرحله صورت گرفت. در طی فصل رشد و نیز در مرحله برداشت صفات گیاهی مورد بررسی شامل تاریخ شروع گلدهی، عملکرد وش، عملکرد پنبه‌دانه، میانگین وزن قوزه، ارتفاع اولین قوزه، تعداد قوزه در بوته، تعداد شاخه زایا، تعداد شاخه رویا، ارتفاع بوته، درصد کیل (تقسیم وزن الیاف محلوج به وزن کل وش ضربدر ١٠٠) مورد اندازه گیری قرار گرفت. عملکرد وش در واحد سطح از هر کرت با حذف ردیف‌های کناری و ٠/٥ متر از ابتدا و انتهای هر ردیف وسطی به‌عنوان اثر حاشیه‌ای، مساحتی معادل ٢ مترمربع برای تعیین عملکرد وش در واحد سطح برداشت شد. عملکرد پنبه‌دانه در واحد سطح با جدا کردن الیاف پنبه از دانه آن محاسبه و بر حسب کیلوگرم در هکتار منظور گردید. درصد روغن در پنبه دانه به‌وسیله دستگاه سوکسله اندازه‌گیری شد. پس از برداشت محصول نسبت به نمونه‌برداری خاک در اوایل آبان اقدام گردید. پارامترهای مورد بررسی در آزمایشگاه خاک شامل هدایت الکتریکی خاک (EC)، اسیدیته گل اشباع (pH)، سولفات قابل جذب، نیتروژن کل، میزان روی قابل جذب، هدایت الکتریکی خاک (به کمک هدایت‌سنج مدل JENWAY-432 در عصاره اشباع خاک با روش جونز (٢٠٠١) بودند (١٤). pH نمونه‌های خاک در گل اشباع به‌وسیله pH متر مدل ELEIA با روش (١٤) اندازه‌گیری شد. نیتروژن کل خاک با استفاده از روش کجلدال، سولفات قابل جذب در خاک به‌وسیله عصاره‌گیر کلرور کلسیم ٠/٠١ مولار استخراج و با استفاده از روش کدورت‌سنجی (٢٣)، میزان روی قابل جذب خاک پس از استخراج توسط عصاره‌گیر DTPA (دی اتیلن تری آمین پنتا استیک اسید) با استفاده از دستگاه جذب اتمی، درصد نیتروژن جذب شده با استفاده از روش کجلدال، سولفات جذب شده توسط گیاه به‌وسیله هضم با نیترات منیزیم و اسید پرکلریک استخراج و با استفاده از روش کدورت‌سنجی، میزان روی جذب شده توسط گیاه با استفاده از روش هضم با اسید سالسیلیک و آب اکسیژنه به‌وسیله دستگاه جذب اتمی در آزمایشگاه اندازه‌گیری گردید. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTATC و مقایسه میانگین تیمارها به روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح ٥ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد وش: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ٢) نشان داد که اثر گوگرد، اثر متقابل گوگرد و تیوباسیلوس و اثر متقابل گوگرد، روی و تیوباسیلوس بر عملکرد وش در سطح یک درصد و اثر متقابل روی و تیوباسیلوس بر عملکرد وش در سطح ٥ درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل گوگرد، روی و تیوباسیلوس بر عملکرد وش (شکل ١) نشان داد که تیمار با کاربرد ١٠٠٠ کیلوگرم در هکتار گوگرد در صورت عدم مصرف روی و تیوباسیلوس (٥٧٦٠ کیلوگرم در هکتار) و تیمار با کاربرد ١٠٠٠ کیلوگرم در هکتار گوگرد به‌همراه مصرف تیوباسیلوس و عدم مصرف روی (٥٦١٦ کیلوگرم در هکتار) و همچنین تیمار با کاربرد ١٠٠٠ کیلوگرم در هکتار گوگرد در صورت مصرف روی و عدم مصرف تیوباسیلوس (٥٨٥٣ کیلوگرم در هکتار) اختلاف معنی‌داری در عملکرد وش نداشتند. اما

نسبت به تیمار شاهد (٤٨٦٧ کیلوگرم در هکتار) باعث ایجاد افزایش معنی‌داری در عملکرد وش گردیدند. احتمالا دلیل آن اکسایش گوگرد از طریق کاهش pH و افزایش قابلیت جذب برخی از عناصر غذایی باشد که می‌تواند موجب بهبود رشد و عملکرد پنبه شود (۳). اثر متقابل دو عامل کود گوگرد و کود روی بر عملکرد وش معنی‌دار نشد (جدول ۲). در حالی‌که با افزایش گوگرد به هنگام مصرف کود روی عملکرد وش روند خاصی نداشت. نتایج مشابهی با این آزمایش همچنین توسط سایر محققین (۲۵ و ۳۳) گزارش شده است.



شکل ۱- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روی، تیوباسیلوس و گوگرد بر عملکرد وش.

حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Figure 1. Mean comparison results of interaction effect of zinc, *Thiobacillus* and sulphur on cotton yield. Dissimilar letters represent significant difference at 5% probability level.

عملکرد وش در تیمار با کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به‌همراه مصرف روی و تیوباسیلوس (۵۲۰۸ کیلوگرم در هکتار) اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد (٤٨٦٧ کیلوگرم در هکتار) نداشت. شرما و دانگروال (۱۹۹۷) گزارش نمودند که کاربرد گوگرد در خاک باعث افزایش عملکرد وش پنبه نسبت به تیمار شاهد گردید که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (۳۰). نتایج تحقیق دادیوار و خودشناس (۲۰۰۸) نشان دادند که کاربرد توأم گوگرد و تیوباسیلوس باعث افزایش عملکرد وش شد (٦). همچنین سینگ و چودری (۱۹۹۷) گزارش دادند که کاربرد توأم گرگرد و روی باعث افزایش معنی‌داری در عملکرد بادام‌زمینی شد (۳۲). اکسیدشدن گوگرد عنصری، به‌وسیله تعداد بیشماری از باکتری‌های جنس تیوباسیلوس صورت می‌گیرد که باعث تشکیل اسید سولفوریک در خاک گشته که این امر باعث کاهش pH خاک و نهایتا آزادسازی برخی عناصر خاک شده که توسط میکوریزای خاک جذب و در دسترس گیاه قرار می‌گیرد (۷).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر روی، تیوباسیلوس و گوگرد بر صفات زراعی پنبه.

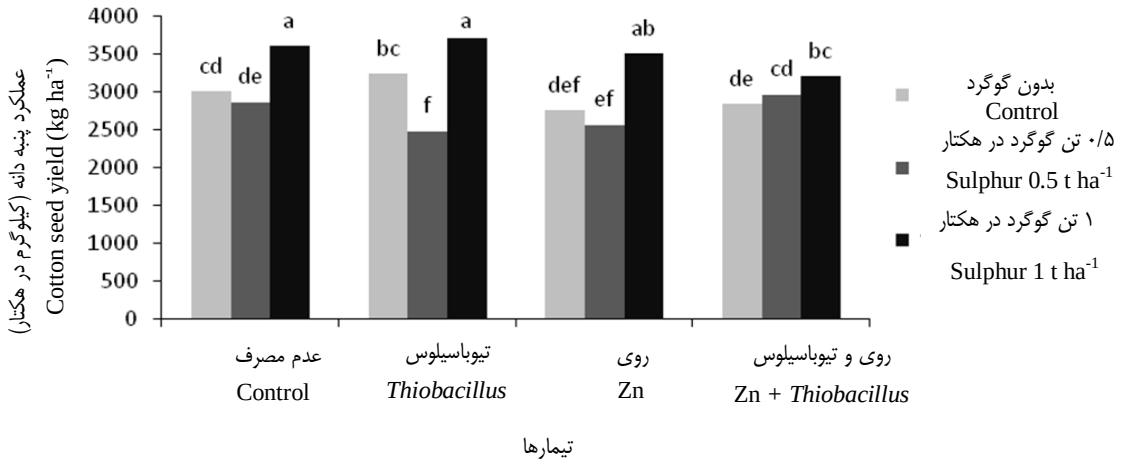
Table 2. Results of analysis of variance of sulphur, *Thiobacillus* and zinc on agronomy properties of cotton.

منابع تغییر Source of Variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean square)										
		عملکرد وش Cotton yield	عملکرد پنبه دانه Cotton seed yield	عملکرد الیاف Fiber yield	درصد کیل (kael%)	وزن قوزه Boll weight	تعداد شاخه زایا Reproduc. branch No	تعداد شاخه رویا Vegeta. branch No	ارتفاع بوته Plant height	ارتفاع اولین قوزه First boll height	تعداد قوزه در بوته plant boll No	درصد روغن Oil %
تکرار (Replication)	2	86648.444^{ns}	84005.528^{ns}	14463.583^{ns}	282.90^{ns}	0.058^{ns}	0.045^{ns}	0.221^{ns}	12.520^{ns}	3.943^{ns}	2.614^{ns}	29.079^{ns}
گوگرد (S)	2	2969272.444**	1989005.444**	120942.333^{ns}	54.983**	0.397**	22.530**	0.819*	115.099**	6.144^{ns}	27.683**	40.231^{ns}
روی (Zn)	1	193013.778^{ns}	294125.444**	10609^{ns}	22.88^{ns}	0.198*	0.028^{ns}	2.614**	135.995**	16.551**	68.973**	109.063^{ns}
روی × گوگرد S×Zn	2	175475.111^{ns}	165603.111*	33676.333^{ns}	12.549^{ns}	0.036^{ns}	10.143**	0.98**	177.048**	8.559*	3.303^{ns}	64.394^{ns}
تیوباسیلوس (T)	1	608.444^{ns}	3927.111^{ns}	7569^{ns}	0.954^{ns}	0.265*	3.738^{ns}	0.723*	14.656^{ns}	1.258^{ns}	0.178^{ns}	0.084^{ns}
تیوباسیلوس × گوگرد T×S	2	797789.778**	50336.444^{ns}	460266.333*	47.193*	1.361**	11.739**	0.152^{ns}	54.491**	2.97^{ns}	14.337*	10.799^{ns}
تیوباسیلوس × روی T×Zn	1	393547.111*	13533.444^{ns}	261121*	26.078^{ns}	0.195*	1.068^{ns}	0.08^{ns}	0.893^{ns}	6.734^{ns}	16.578**	13.988^{ns}
روی × تیوباسیلوس ×گوگرد S×T×Zn	2	648920.444**	290326.778*	110416^{ns}	14.176^{ns}	0.44**	0.132^{ns}	0.012^{ns}	17.872*	7.073*	2.678^{ns}	10.791^{ns}
خطا Error	22	68999.96	33416.376	38024.583	8.295	0.038	0.962	0.154	4.417	2.002	1.431	27.523
ضریب تغییرات (درصد) (CV%)	-	5.21	5.96	9.86	7.34	2.65	9.83	8.23	2.99	6.33	7.90	18.04

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

ns, * and ** non significant, significant at 5 and 1 percent of probability, respectively

عملکرد پنبه دانه: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثر گوگرد و روی و اثر متقابل گوگرد، روی و تیوباسیلوس بر عملکرد پنبه دانه در سطح یک درصد و اثر متقابل روی و گوگرد بر عملکرد پنبه دانه در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل گوگرد، روی و تیوباسیلوس بر عملکرد پنبه دانه (شکل ۲) نشان داد که تیمار کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد در صورت عدم مصرف روی و تیوباسیلوس (۳۶۲۲ کیلوگرم در هکتار) و تیمار کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به‌همراه مصرف تیوباسیلوس و عدم مصرف روی (۳۷۲۱ کیلوگرم در هکتار) و همچنین تیمار کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد در صورت مصرف روی و عدم مصرف تیوباسیلوس (۳۵۱۴ کیلوگرم در هکتار) در عملکرد پنبه دانه اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند ولی نسبت به تیمار شاهد (۳۰۱۱ کیلوگرم در هکتار) باعث ایجاد افزایش معنی‌داری در سطح ۱ درصد در عملکرد پنبه دانه گردیدند). احتمالا دلیل آن اکسایش گوگرد از طریق کاهش pH و افزایش قابلیت جذب برخی از عناصر غذایی باشد که می‌تواند موجب بهبود رشد و عملکرد پنبه شود (۳). نتایج مشابهی با این آزمایش همچنین توسط سایر محققین از جمله (۲۵ و ۳۳) گزارش شده است. در تیمار کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به‌همراه مصرف روی و تیوباسیلوس (۳۲۱۳ کیلوگرم در هکتار) اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد (۳۰۱۱ کیلوگرم در هکتار) مشاهده نشد. اثر متقابل دو عامل کود گوگرد و سولفات روی بر عملکرد پنبه دانه در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. یک توضیح محتمل در این زمینه، بهبود اجزای عملکرد در اثر کاربرد روی است. روی اثر مطلوبی بر فعالیت فتوسنتزی برگ‌ها دارد و سبب انتقال بهتر مواد فتوسنتزی می‌شود. از طرف دیگر، شکل‌گیری اندام‌های جنسی نر و ماده و فرایند گرده افشانی بر اثر کمبود روی، مختل شده و به کاهش عملکرد در اثر کاهش تولید ایندول استیک اسید می‌انجامد. عنصر روی در سنتز پروتئین لولهٔ گرده به‌هنگام گرده‌افشانی شرکت می‌کند که این موضوع به افزایش عمل گرده‌افشانی و تشکیل بیشتر دانه می‌انجامد (۳۸).

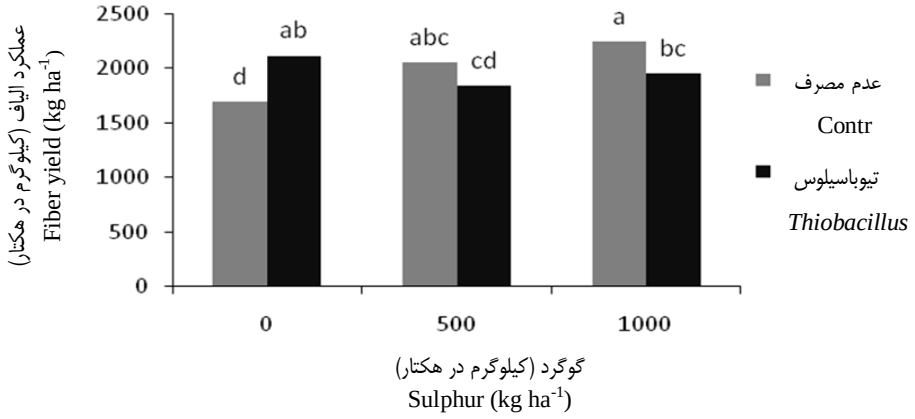


شکل ۲- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روی، تیوباسیلوس و گوگرد بر عملکرد پنبه دانه.

حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Figure 2. Mean comparison results of interaction effect of zinc, *Thiobacillus* and sulphur on cotton seed yield. Dissimilar letters represent significant difference at 5% probability level.

عملکرد الیاف: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثر متقابل گوگرد و تیوباسیلوس بر عملکرد الیاف در سطح یک درصد و اثر متقابل روی و تیوباسیلوس بر عملکرد الیاف در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل گوگرد و تیوباسیلوس بر عملکرد الیاف (شکل ۳) نشان داد که تیمار با کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و عدم کاربرد تیوباسیلوس باعث ایجاد افزایش معنی‌داری در سطح ۱ درصد در عملکرد الیاف (۲۲۳۸ کیلوگرم در هکتار) نسبت به عدم کاربرد تیوباسیلوس و گوگرد (١٦٩٠ کیلوگرم در هکتار) و تیمار با کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به‌همراه تیوباسیلوس (١٩٤٤ کیلوگرم در هکتار) گردید. ضمنا تیمار کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و عدم مصرف تیوباسیلوس (۲۲۳۸ کیلوگرم در هکتار) و تیمار با کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و عدم مصرف تیوباسیلوس (۲۰٤۹ کیلوگرم در هکتار) و تیمار کاربرد تیوباسیلوس و عدم کاربرد گوگرد (۲۱۱۱ کیلوگرم در هکتار) در عملکرد الیاف اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. تـأثیرات مثبت گوگرد بر فتوسنتز و متابولیسم گیاه و تقویت گیاه در مرحلهٔ زایشی تشکیل دانه را تحریک مـی‌کنـد و در نتیجـه تعداد دانه در خورجین افزایش می‌یابد. کود زیستی گوگردی (حاوی باکتری تیوباسیلوس) یکی از کودهایی که از طریق اکسایش گوگرد توسط ریزجانداران خاکزی اکسیدکننده آن باکتری تیوباسیلوس به جذب گوگرد و سایر عناصر غذایی مانند فسفر، آهن و روی کمک می‌کند و باعث افزایش عملکرد گیاه می‌شود (۲۱).

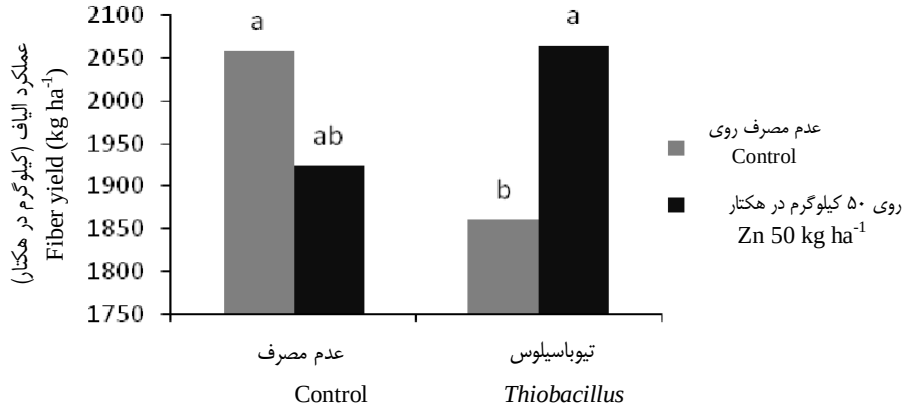


شکل ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیوباسیلوس و گوگرد بر عملکرد الیاف.

حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Figure 3. Mean comparison results of interaction effect of *Thiobacillus* and sulphur on fiber yield. Dissimilar letters represent significant difference at 5% probability level.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روی و تیوباسیلوس بر عملکرد الیاف (شکل ٤) نشان داد که عملکرد الیاف در تیمار کاربرد ۵۰ کیلوگرم درهکتار روی به‌همراه تیوباسیلوس (٢٠٦٥ کیلوگرم در هکتار) اختلاف معنی‌داری با تیمار عدم مصرف روی و تیوباسیلوس (٢٠٦٠ کیلوگرم در هکتار) نداشت. ضمنا این تیمار نسبت به تیمار کاربرد تیوباسیلوس در صورت عدم مصرف روی عملکرد الیاف (١٨٦١ کیلوگرم در هکتار) بیشتری را نشان داد. این نتایج با یافته‌های سایر محققین از جمله داود و همکاران (۱۹۸۵) مطابقت دارد آنان گزارش دادند که کاربرد گوگرد در خاک موجب افزایش عملکرد الیاف نسبت به تیمار شاهد گردید (۷).

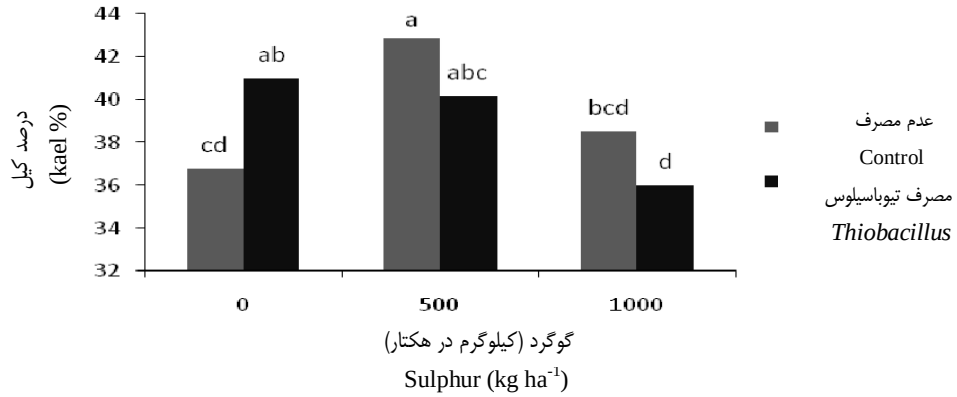


شکل ٤- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیوباسیلوس و روی بر عملکرد الیاف.

حروف غیر مشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Figure 4. Mean comparison results of interaction effect of *Thiobacillus* and zinc on fiber yield. Dissimilar letters represent significant difference at 5% probability level.

درصد کیل: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها جدول (۲) نشان داد که اثر گوگرد بر درصد کیل در سطح یک درصد و اثر متقابل گوگرد و تیوباسیلوس بر درصد کیل در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل گوگرد و تیوباسیلوس بر درصد کیل (شکل ۵) نشان داد که کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و عدم کاربرد تیوباسیلوس باعث افزایش معنی‌داری در سطح ۵ درصد در درصد کیل (٤٢/٨٨ درصد) نسبت به عدم کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس (٣٦/٧٧ درصد) و تیمار کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و عدم کاربرد تیوباسیلوس (٣٨/٥٦ درصد) گردید. ضمنا درصد کیل در این تیمار با تیمار با کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و مصرف تیوباسیلوس (٤٠/١٨ درصد) و همچنین تیمار کاربرد تیوباسیلوس در صورت عدم مصرف گوگرد (٤١/٠٢ درصد) اختلاف معنی‌داری نداشت.



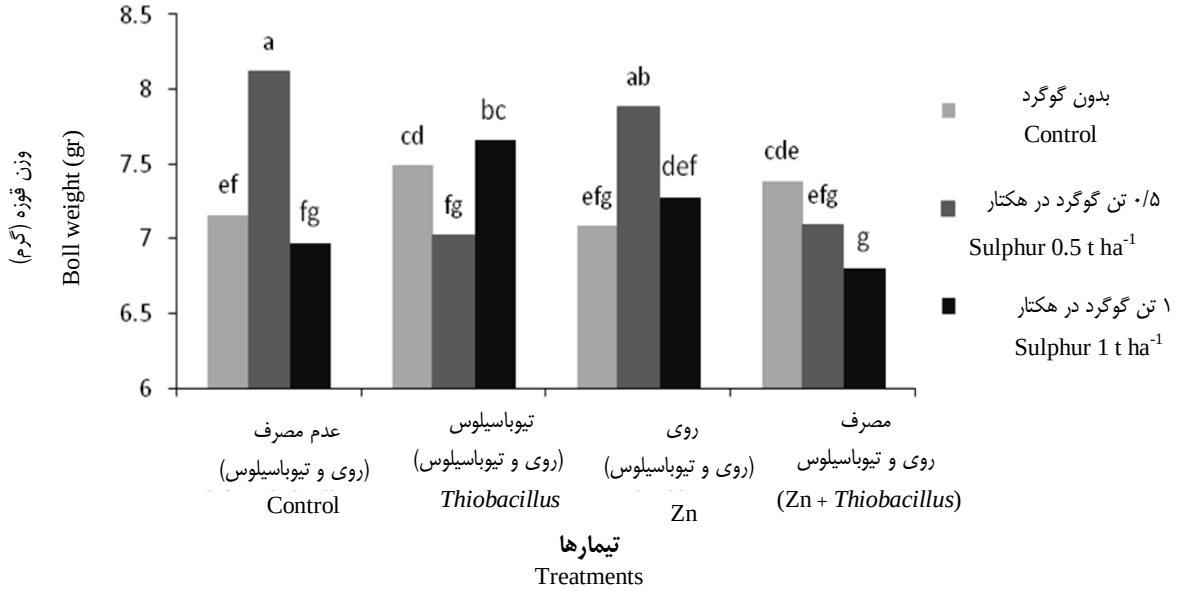
شکل ۵- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیوباسیلس و گوگرد بر درصد کیل.

حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Figure 5. Mean comparison results of interaction effect of *Thiobacillus* and sulphur on kael percent. Dissimilar letters represent significant difference at 5% probability level.

وزن قوزه: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها جدول (۲) نشان داد که اثر گوگرد، اثر متقابل گوگرد و تیوباسیلوس و اثر متقابل گوگرد، روی و تیوباسیلوس بر وزن قوزه در سطح یک درصد و اثر

روی، اثر تیوباسیلوس و اثر متقابل روی و تیوباسیلوس بر وزن قوزه در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل گوگرد، روی و تیوباسیلوس بر وزن قوزه (شکل ٦) نشان داد که کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و عدم کاربرد تیوباسیلوس و روی باعث ایجاد افزایش معنی‌داری در سطح ۱ درصد در وزن قوزه (۷/۸۸ گرم) نسبت به تیمار شاهد (۷/۱٦ گرم) گردید. همچنین تیمار کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد، کاربرد روی و عدم مصرف تیوباسیلوس (۷/۸۸ گرم) با این تیمار اختلاف معنی‌داری در عملکرد وش نداشت. درصورتی‌که وزن قوزه در تیمار با کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به‌همراه تیوباسیلوس و روی (۷/۰۹ گرم) نسبت به تیمار شاهد (۷/۱٦ گرم) اختلاف معنی‌داری نداشت. نتایج این پژوهش با نتایج معصومی و کورنفیلد (۱۹٦۳) مطابقت داشت (۲۳).

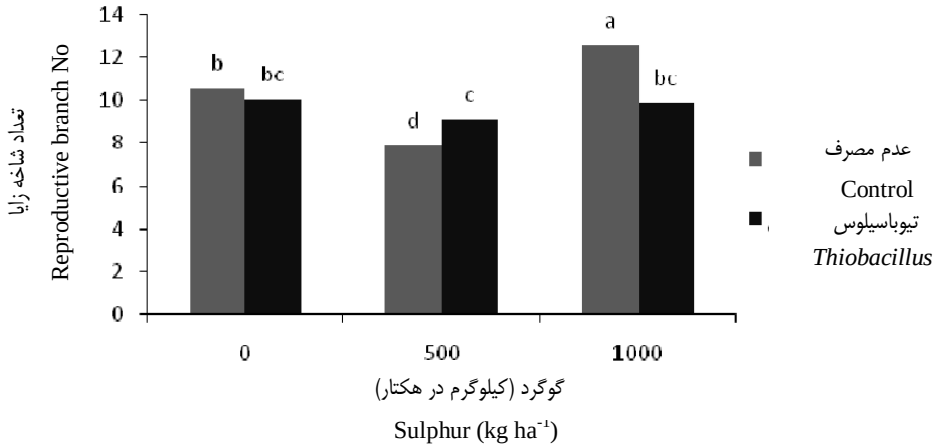


شکل ٦- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روی، تیوباسیلوس و گوگرد بر وزن قوزه.

حروف غیر مشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Figure 6. Mean comparison results of interaction effect of zinc. *Thiobacillus* and sulphur on boll weight. Dissimilar letters represent significant difference at 5% probability level.

تعداد شاخه زایا: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها جدول (۲) نشان داد که اثر گوگرد، اثر متقابل گوگرد و روی و اثر متقابل گوگرد و تیوباسیلوس بر تعداد شاخه زایا در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل گوگرد و تیوباسیلوس بر تعداد شاخه زایا (شکل ۷) نشان داد که کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و عدم کاربرد تیوباسیلوس بیشترین تأثیر را در افزایش تعداد شاخه زایا (۱۲/۵۲) داشت و با تیمار عدم مصرف گوگرد و تیوباسیلوس (۱۰/۵۳) اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد داشت. ضمنا تیمار کاربرد تیوباسیلوس و عدم کاربرد گوگرد (۱۰/۰۲) و تیمار کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به‌همراه تیوباسیلوس (۹/۸۳) نیز با تیمار عدم مصرف گوگرد و تیوباسیلوس (۱۰/۵۳) اختلاف معنی‌داری نداشتند.

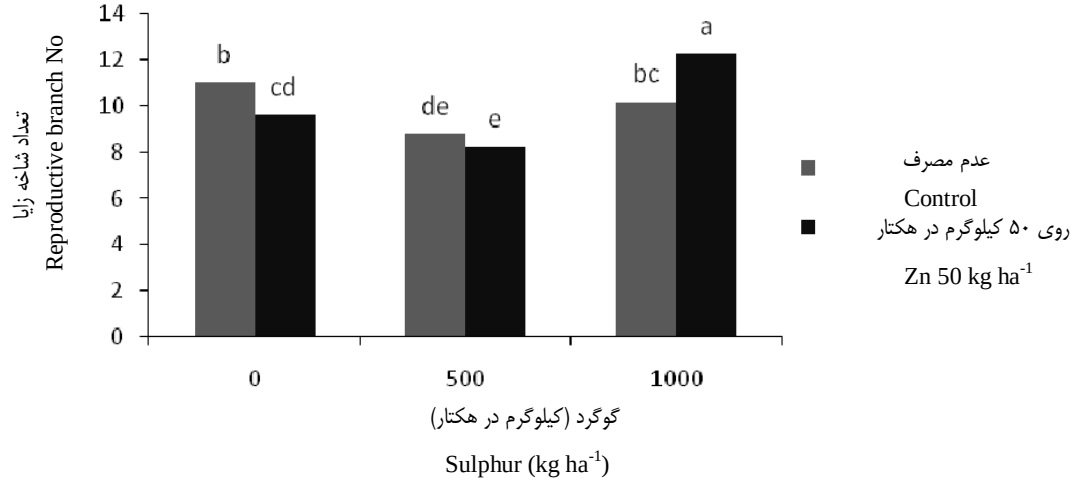


شکل ۷- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیوباسیلوس و گوگرد بر تعداد شاخه زایا.

حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Figure 7. Mean comparison results of interaction effect of *Thiobacillus* and sulphur on reproductive branches Number. Dissimilar letters represent significant difference at 5% probability level.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل گوگرد و روی بر تعداد شاخه زایا (شکل ۸) نشان داد که کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به‌همراه کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار روی بیشترین تأثیر را در افزایش تعداد شاخه زایا (۱۲/۲۳) داشت و با تیمار عدم کاربرد گوگرد و روی (۱۰/۹۸) نیز دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد بود.



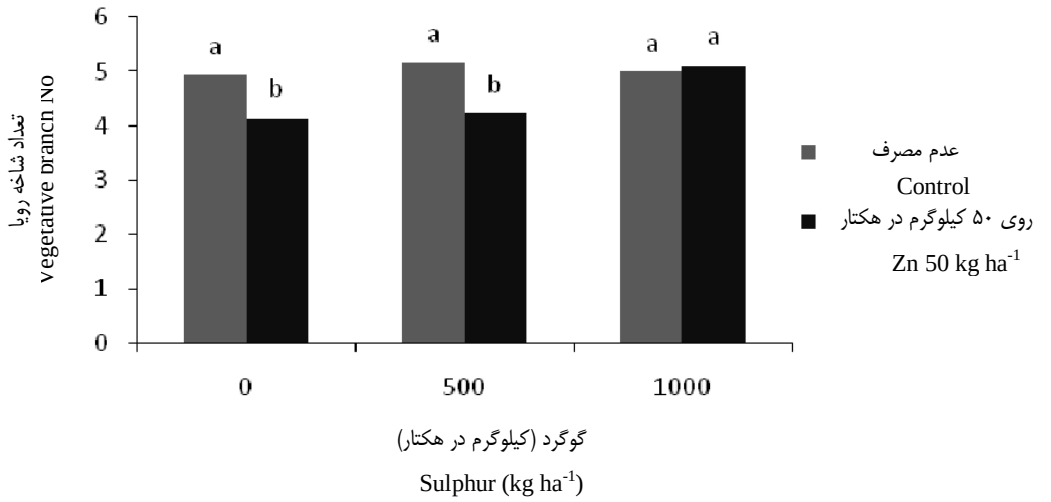
شکل ۸- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روی و گوگرد بر تعداد شاخه زایا.

حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Figure 8. Mean comparison results of interaction effect of zinc and sulphur on reproductive branches number. Dissimilar letters represent significant difference at 5% probability level.

ضمنا تیمار کاربرد گوگرد در سطح ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بدون مصرف روی (۱۰/۱۲) اختلافی با تیمار عدم کاربرد گوگرد و روی (۱۰/۹۸) نداشت. دلیل این امر می‌تواند به‌دلیل نقش گوگرد و روی در متابولیسم اکسین و کلروفیل باشد که موجب افزایش معنی‌دار در تعداد شاخه زایا گردید (٤).

تعداد شاخه رویا: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها جدول (۲) نشان داد که اثر روی و اثر متقابل گوگرد و روی بر تعداد شاخه رویا در سطح یک درصد و اثر تیوباسیلوس و اثر گوگرد بر تعداد شاخه رویا در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل گوگرد و روی بر تعداد شاخه رویا (شکل ۹) نشان داد که تعداد شاخه رویا در تیمار کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد در صورت مصرف ۵۰ کیلوگرم در هکتار روی (۸/۲۲) و تیمار کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار روی در صورت عدم مصرف گوگرد (۹/۵۷) اختلاف معنی‌داری نداشت. تعداد شاخه رویا در این تیمارها نسبت به عدم کاربرد گوگرد و روی (۱۰/۹۸) به‌طور معنی‌داری در سطح ۱ درصد کاهش یافت. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تیوباسیلوس بر تعداد شاخه رویا نشان داد که تعداد شاخه رویا در تیمار کاربرد تیوباسیلوس (٤/٦٢٨) نسبت به عدم مصرف تیوباسیلوس (٤/٩١١) اختلاف معنی‌داری نداشت.

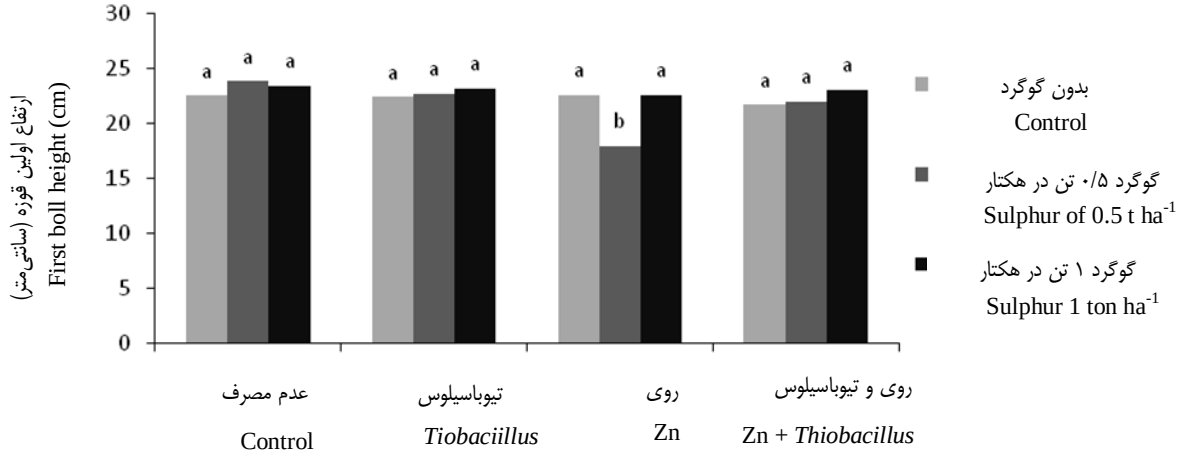


شکل ۹- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روی و گوگرد بر تعداد شاخه رویا.

حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ در صد می‌باشد.

Figure 9. Mean comparison results of interaction effect of zinc and sulphur on vegetative branches number. Dissimilar letters represent significant difference at 5% probability level.

ارتفاع اولین قوزه از سطح خاک: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها مطابق جدول (۲) نشان داد که اثر روی بر ارتفاع اولین قوزه در سطح یک درصد و اثر متقابل روی و گوگرد و اثر متقابل گوگرد، روی و تیوباسیلوس بر ارتفاع اولین قوزه در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل گوگرد، روی و تیوباسیلوس بر ارتفاع اولین قوزه (شکل ۱۰) نشان داد که کمترین میزان ارتفاع اولین قوزه در تیمار با کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد در صورت مصرف روی و عدم مصرف تیوباسیلوس (۱۷/۹۷ سانتی‌متر) مشاهده گردید. که اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد با تیمار شاهد (۲۲/٥٤ سانتی‌متر) داشت. سایر تیمارها در ارتفاع اولین قوزه اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشتند.

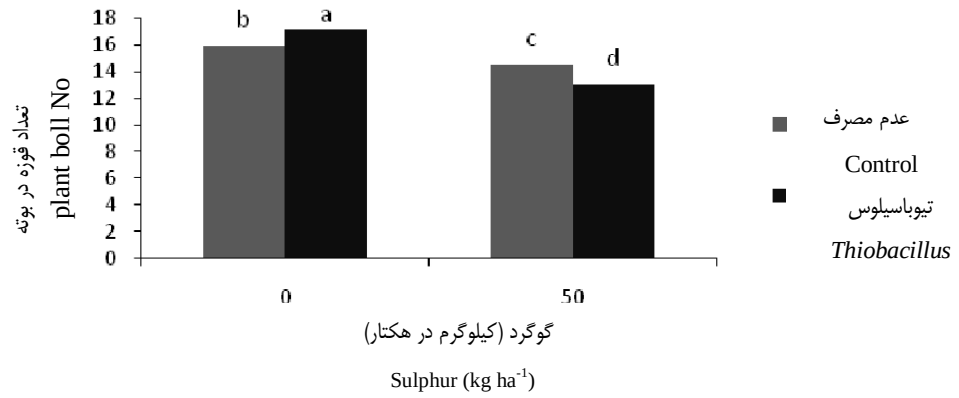


شکل ۱۰- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روی، تیوباسیلوس و گوگرد بر ارتفاع اولین قوزه.

حروف غیر مشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Figure 10. Mean comparison results of interaction effect of zinc, sulphur and *Thiobacillus* on first boll height. Dissimilar letters represent significant difference at 5% probability level

تعداد قوزه در بوته: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها مطابق جدول (۲) نشان داد که اثر گوگرد و روی، اثر متقابل گوگرد و تیوباسیلوس و اثر متقابل روی و تیوباسیلوس بر تعداد قوزه در بوته در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روی و تیوباسیلوس بر تعداد قوزه در بوته (شکل ۱۱) نشان داد که کاربرد تیوباسیلوس و عدم کاربرد روی بیشترین تأثیر را در افزایش تعداد قوزه در بوته (۱۷/۱۳) نشان داد که اختلاف معنی‌داری با تیمار عدم کاربرد روی و تیوباسیلوس (۱۵/۹۱ عدد) داشت و کمترین تعداد قوزه در بوته در تیمار با کاربرد روی به همراه تیوباسیلوس (۱۳ عدد) مشاهده گردید. می‌توان گفت در تیمارهایی که باکتری تیوباسیلوس به تنهایی به خاک اضافه شده این باکتری فقط مقادیر جزئی ترکیبات گوگردی که در خاک است را اکسید کرده و موجب تغییراتی در داخل خاک شده است (۳٤ و ۲۱). فنگ و چن (۲۰۱۱) گزارش کردند که کاربرد گوگرد موجب افزایش تعداد قوزه در بوته گردید (۱۰).



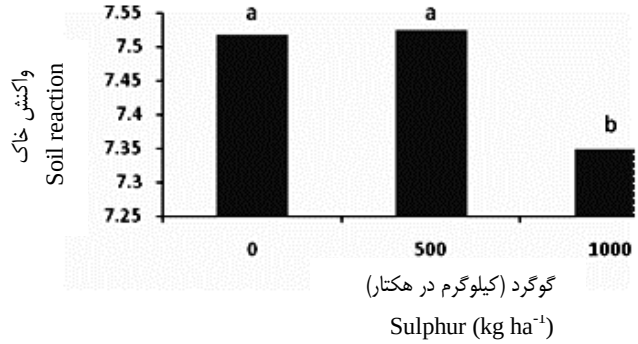
شکل ۱۱- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیوباسیلوس و روی بر تعداد قوزه در بوته.

حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Figure 11. Mean comparison results of interaction effect of zinc and *Thiobacillus* on boll number in plant. Dissimilar letters represent significant difference at 5% probability level

درصد روغن: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که کلیه اثرات اصلی و متقابل بر روی روغن دانه پنبه معنی‌دار نشد.

واکنش خاک (pH): نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثر گوگرد بر pH در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی گوگرد بر pH (شکل ۱۲) نشان داد که کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد موجب کاهش معنی‌داری در سطح ۱ درصد در واکنش خاک (۷/۳۵) گردید. گوگرد در خاک و در حضور باکتری‌های اکسیدکننده به‌ویژه باکتری‌های تیوباسیلوس به اسید سولفوریک تبدیل شده و موجبات کاهش واکنش خاک را فراهم می‌آورد. با توجه به خاصیت بافری بالا خاک‌های آهکی، مقاومت این خاک‌ها در مقابل تغییرات pH بالا بوده و افزودن گوگرد موجب تغییر آهسته و کاهش pH این خاک‌ها می‌گردد (۳۲). تد (۱۹۹۵)، گزارش داد که طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها قادر به اکسایش گوگرد در محیط اطراف ریشه هستند که از بین آن‌ها باکتری‌های تیوباسیلوس نقش مهمی را در اکسایش گوگرد ایفا می‌کنند (۳۵).



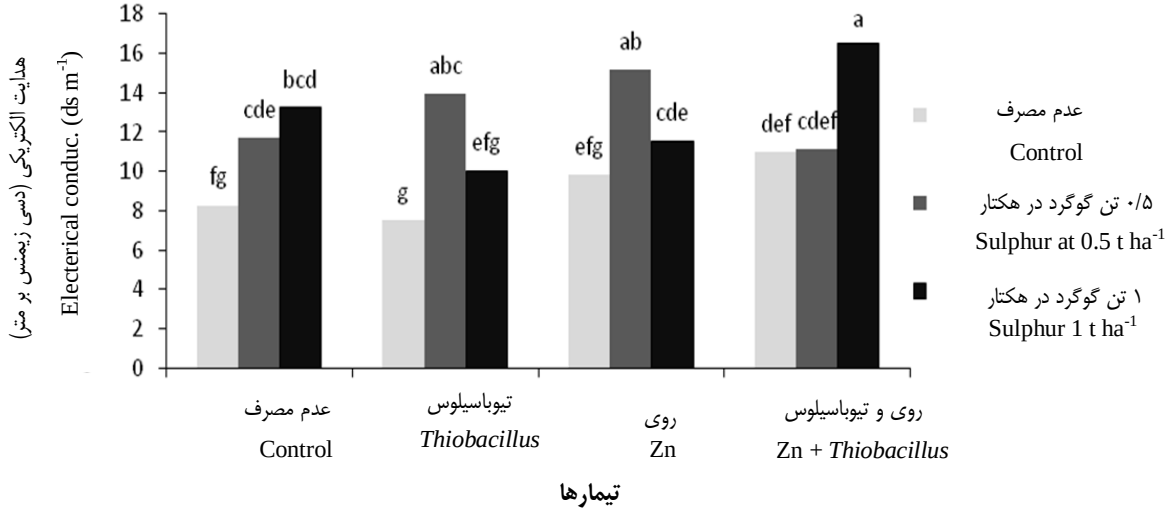
شکل ۱۲- نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی گوگرد بر واکنش خاک (pH).

حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Figure 12. Mean comparison results of main effect of sulphur on soil reaction (pH). Dissimilar letters represent significant difference at 5% probability level.

به‌نظر می‌رسد با مصرف گوگرد در خاک و اکسید شدن آن توسط موجودات ذره‌بینی، هر مول آن پس از اکسید شدن تولید دو مول یون هیدروژن کرده و در آخر موجب کاهش pH خاک می‌گردد (۱۹ و ٦). نتایج مشابهی همچنین توسط سایر محققین گزارش شده است (۱).

هدایت الکتریکی خاک: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثر گوگرد، روی و اثر متقابل گوگرد، روی و تیوباسیلوس بر EC خاک در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل گوگرد، روی و تیوباسیلوس بر EC خاک (شکل ۱۳) نشان داد که کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد، عدم مصرف روی و عدم مصرف تیوباسیلوس باعث افزایش معنی‌داری در هدایت الکتریکی خاک (۱۳/۲۳ دسی‌زیمنس بر متر) نسبت به تیمار کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد، عدم مصرف روی و عدم مصرف تیوباسیلوس (۱۱/۷۳ دسی‌زیمنس بر متر) و همچنین تیمار شاهد (۸/۲۷ دسی‌زیمنس بر متر) شد. ضمنا تیمار کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و مصرف روی به‌همراه تیوباسیلوس (۱٦/۵ دسی‌زیمنس بر متر) و تیمار کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و مصرف روی و عدم مصرف تیوباسیلوس (۱۵/۱۷ دسی‌زیمنس بر متر) و تیمار کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و مصرف تیوباسیلوس و عدم مصرف روی (۱۳/۹۳) در هدایت الکتریکی خاک اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند.



شکل ۱۳- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روی، تیوباسیلوس و گوگرد بر هدایت الکتریکی خاک.

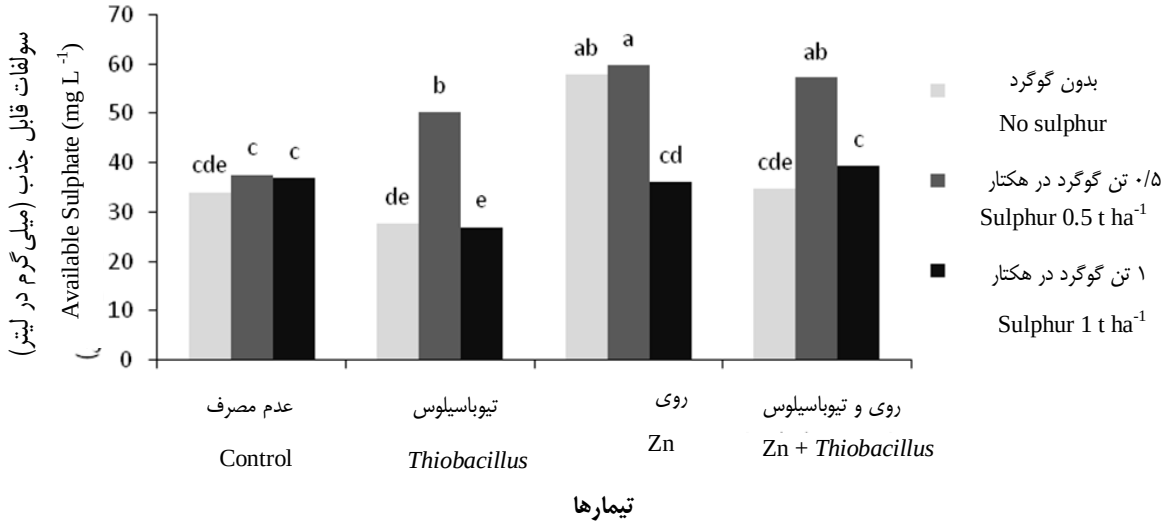
حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Figure 13. Mean comparison results of interaction effect of zinc, *Thiobacillus* and sulphur on soil EC. Dissimilar letters represent significant difference at 5% probability level.

در تیمارهایی که گوگرد به تنهایی به کاربرده شده است اختلاف معنی‌داری در هدایت الکتریکی خاک بین تیمار با کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد ایجاد نشد اما در تیمارهایی که گوگرد، روی و تیو باسیلوس به‌صورت توأم به کاربرده شد تیماری که ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به‌کار برده شد نسبت به تیماری که ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به‌کار برده شده موجب

افزایش معنی‌داری در هدایت الکتریکی خاک گردید. نتایج مشابهی توسط سایر محققین گزارش شده است (١ و ٢٦). افزایش هدایت الکتریکی احتمالا به‌دلیل مصرف گوگرد و در نتیجه کاهش واکنش خاک (pH) و افزایش حلالیت عناصر و کانی‌های موجود در خاک بوده که در نتیجه آن غلظت عناصر غذایی در محلول زیاد و میزان هدایت الکتریکی محلول خاک افزایش یافت (٧).

میزان سولفات قابل جذب: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ٣) نشان داد که اثر گوگرد، اثر روی، اثر متقابل گوگرد و تیوباسیلوس و اثر متقابل گوگرد، روی و تیوباسیلوس بر میزان سولفات قابل جذب در سطح یک درصد و اثر تیوباسیلوس بر میزان سولفات قابل جذب در سطح ٥ درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل گوگرد، روی و تیوباسیلوس بر میزان سولفات قابل جذب (شکل ١٤) نشان داد که کاربرد ٥٠٠ کیلوگرم در هکتار گوگرد به‌همراه مصرف تیوباسیلوس و روی.



شکل ١٤- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روی، تیوباسیلوس و گوگرد بر سولفات قابل جذب.

حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد می‌باشد.

Figure 14. Mean comparison results of interaction effect of zinc, *Thiobacillus* and sulphur on available sulphate. Dissimilar letters represent significant difference at 5% probability level.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر روی، تیوباسیلوس و گوگرد بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک.

Table 3. Result of analysis of variance of Sulphur, *Thiobacillus* and zinc effect on some chemical properties of soil.

منابع تغییر Source of Variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square							
		اسیدیته گل اشباع pH	هدایت الکتریکی (میلی‌اکی والان بر لیتر) Ec ($ds\ m^{-1}$)	سولفات قابل جذب (میلی‌اکی والان بر لیتر) Absorbed sulphate ($meq\ L^{-1}$)	روی قابل جذب (میلی‌اکی والان بر لیتر) Absorbed zinc ($meq\ L^{-1}$)	درصد نیتروژن کل Total N (%)	سولفات جذب شده (میلی‌اکی والان بر لیتر) Absorbed ($meq\ L^{-1}$)	درصد نیتروژن جذب شده Absorbed N (%)	روی جذب شده (میلی‌اکی والان بر لیتر) Absorbed zinc ($meq\ L^{-1}$)
تکرار (Replication)	2	0.105^{*}	11.066^{ns}	146.125^{*}	0.004^{ns}	8.553^{ns}	0.079^{**}	0.056^{ns}	47.445^{ns}
گوگرد (S)	2	0.117^{*}	56.333^{**}	880.121^{**}	0.008^{ns}	1.542^{ns}	0.256^{**}	0.017^{ns}	18.979^{ns}
روی (Zn)	1	0.007^{ns}	27.04^{**}	1269.497^{**}	0.001^{ns}	0.368^{ns}	0.128^{**}	0.018^{ns}	5.352^{ns}
روی × گوگرد S×Zn	2	0.077^{ns}	4.63^{ns}	84.412^{ns}	0.001^{ns}	3.677^{ns}	0.69^{**}	0.048^{ns}	186.225^{**}
تیوباسیلوس (T)	1	0.01^{ns}	0.028^{rs}	170.564^{*}	0.011^{*}	0.107^{ns}	0.041^{ns}	0.013^{ns}	15.393^{ns}
تیوباسیلوس × گوگرد T×S	2	0.02^{ns}	2.501^{rs}	293.431^{**}	0.013^{*}	1.605^{ns}	0.366^{**}	0.061^{ns}	20.403^{ns}
تیوباسیلوس × روی) T×Zn	1	0.003^{ns}	3.738^{rs}	88.611^{ns}	0.001^{ns}	0.757^{ns}	0.001^{ns}	0.147^{ns}	208.033^{**}
روی × تیوباسیلوس ×گوگرد S×T×Zn	2	0.016^{ns}	39.474^{**}	214.328^{**}	0.001^{ns}	1.128^{ns}	0.177^{**}	0.083^{ns}	76.702^{*}
خطا Error	22	0.026	2.862	27.121	0.002	10.445	0.01	0.046	17.516
ضریب تغییرات (درصد) (CV%)	–	2.14	14.52	12.55	21.17	25.11	8.43	21.64	16.49

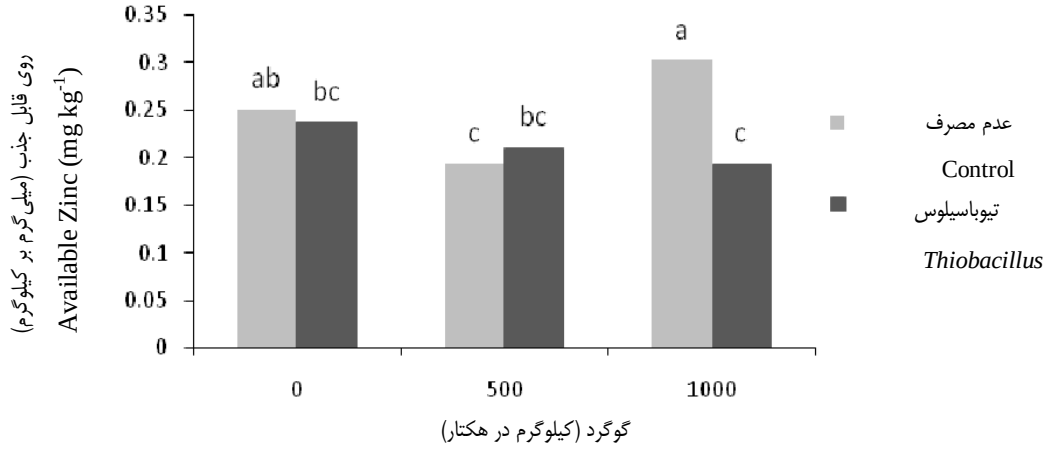
ns، ** و * به‌ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, * and ** non significant, significant at 5 and 1 percent of probability, respectively.

عدم مصرف روی باعث ایجاد افزایش معنی‌داری در سطح ۱ درصد در سولفات قابل جذب خاک (۵۰/۲۱ میلی‌اکی والان در لیتر) نسبت به تیمار شاهد (۳٤/۰۱ میلی‌اکی والان درلیتر) گردید. درصورتی‌که سولفات قابل جذب در تیمار کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد در صورت عدم مصرف تیوباسیلوس و روی (۳۷/۵٦ میلی‌اکی والان در لیتر) اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد (۳٤/۰۱ میلی‌اکی والان در لیتر) نداشت. ضمنا کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به همراه مصرف تیوباسیلوس و روی و تیمار کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و مصرف روی و عدم مصرف تیوباسیلوس و همچنین تیمار کاربرد روی در صورت عدم مصرف روی و تیوباسیلوس اختلاف معنی‌داری در سولفات قابل جذب خاک نداشتند. می‌توان گفت با کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس، اکسید شدن گوگرد در خاک موجب تولید اسید سولفوریک شده و همچنین باکتری تیوباسیلوس موجب تسریع در اکسید شدن گوگرد شده که در نتیجه میزان سولفات قابل جذب در خاک افزایش می‌یابد (۱۹ و ٦). می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد گوگرد (۵۰۰ کیلوگرم در هکتار) به‌همراه تیوباسیلوس نسبت به گوگرد تنها تأثیر بیشتری در افزایش سولفات قابل جذب خاک داشت بعضی از محققان (۲٤ و ۳۳) گزارش دادند که کاربرد گوگرد به تنهایی موجب افزایش سولفات قابل جذب نسبت به شاهد گردید با اینکه در این تحقیق در تیمار با کاربرد گوگرد به‌تنهایی سولفات قابل جذب خاک نسبت به شاهد تغییری نکرد. و انتظار می‌رود که با افزایش میزان گوگرد در خاک و اکسید شدن آن میزان سولفات در داخل خاک افزایش یابد.

میزان روی قابل جذب: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثر تیوباسیلوس و اثر متقابل گوگرد و تیوباسیلوس بر میزان روی قابل جذب در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل گوگرد و تیوباسیلوس بر میزان روی قابل جذب (شکل ۱۵) نشان داد که میزان روی قابل جذب در تیمار با کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و عدم مصرف تیوباسیلوس (۰/۳ میلی‌گرم در لیتر) اختلاف معنی‌داری با تیمار عدم کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس (۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر) نداشت. اما تیمار کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و کاربرد تیوباسیلوس کاهش معنی‌داری در سطح ۵ درصد را در میزان روی قابل جذب خاک (۰/۱۹ میلی‌گرم در لیتر) نسبت به عدم کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس (۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر) نشان داد.

طبق نتایج حاصله تیماری وجود ندارد که مقدار روی قابل جذب را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌دار افزایش دهد که دو دلیل احتمالی برای آن می‌توان در نظر گرفت: ۱- روش اندازه‌گیری روی قابل جذب خاک که در این روش از عصاره‌گیر DTPA استفاده شد. حتی اگر pH خاک برای آزادسازی روی مناسب باشد هنگام اندازه‌گیری روی در اثر افزایش pH خاک توسط محلول عصاره‌گیر، واکنش حلالیت و آزادشدن روی برمی‌گردد و مقداری از روی آزاد شده مجددا تثبیت می‌شود. ۲- آزاد شدن عناصر غذایی از جمله روی بر اثر اکسایش گوگرد و کاهش pH در میکروسایت‌ها که درصد ناچیزی از حجم کل خاک را تشکیل می‌دهند، صورت می‌گیرد. بنابراین اگر مقدار روی قابل جذب در این نقاط بر اثر کاهش pH خاک هم بالا رفته باشد، مقدار روی موجود در نقاط ریز نمی‌تواند روی قابل جذب کل نمونه خاک را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد. پژوهشگرانی (۱ و ۲٤) گزارش کردند که کاربرد گوگرد تأثیری بر روی قابل جذب خاک نداشت. در مقابل محققان دیگری (۱۸ و ۷) به نتایج متفاوتی دست یافتند. آن‌ها گزارش دادند که با کاربرد گوگرد میزان روی قابل جذب افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها مطابق جدول (۳) نشان داد که کلیه اثرات اصلی و متقابل بر درصد نیتروژن کل معنی‌دار نشد.

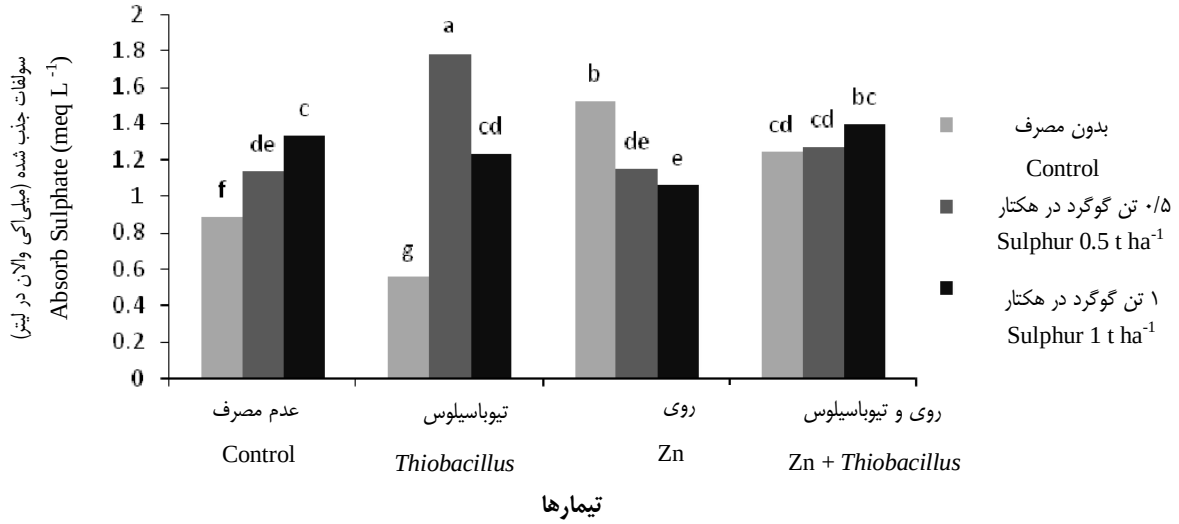


شکل ۱۵- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیوباسیلوس و گوگرد بر میزان روی قابل جذب.

حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Figure 15. Mean comparison results of interaction effect of *Thiobacillus* and sulphur on available zinc. Dissimilar letters represent significant difference at 5% probability level

میزان سولفات جذب شده در گیاه: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثر گوگرد، اثر روی، اثر متقابل گوگرد و تیوباسیلوس، اثر متقابل گوگرد و روی و اثر متقابل گوگرد، روی و تیوباسیلوس بر میزان سولفات جذب شده در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل گوگرد، روی و تیوباسیلوس بر میزان سولفات جذب شده (شکل ١٦) نشان داد که کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و کاربرد تیوباسیلوس و عدم کاربرد روی بیشترین تأثیر را در افزایش میزان سولفات جذب شده (۱/۷۸ میلی‌اکی والان در لیتر) داشت که اختلاف معنی داری با تیمار شاهد (۰/۸۸ میلی‌اکی والان در لیتر) داشت. کاربرد تیوباسیلوس و عدم مصرف روی و گوگرد کمترین میزان سولفات جذب شده (۰/۵۵ میلی‌اکی والان در لیتر) را نشان داد. کاربرد گوگرد به تنهایی نسبت به شاهد همچنین موجب افزایش سولفات جذب شده در خاک شد اما کاربرد گوگرد (در این تحقیق ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار) به‌همراه تیوباسیلوس بیشتر از گوگرد تنها موجب افزایش معنی‌داری در سولفات جذب شده خاک گردید.



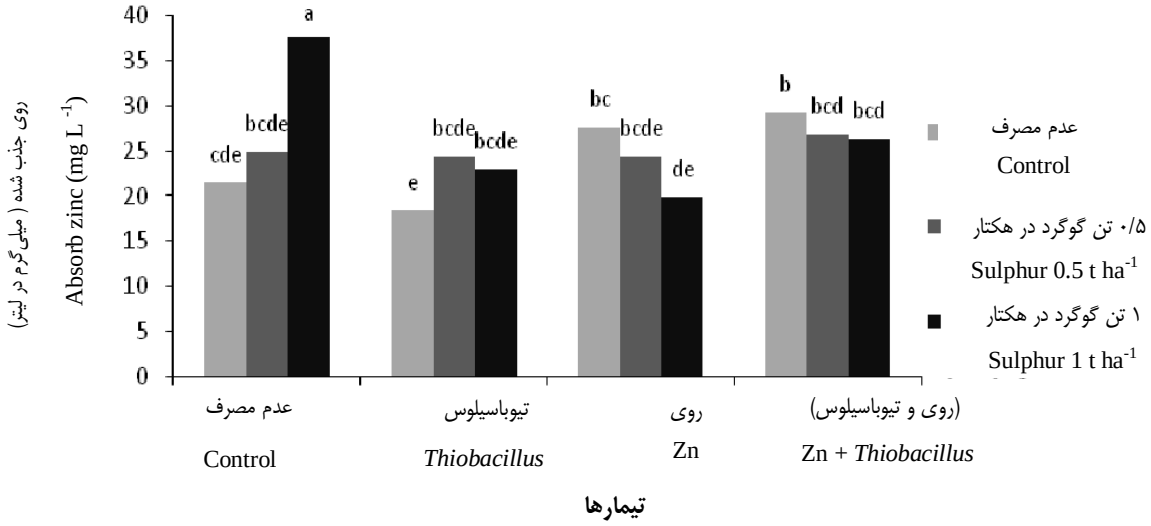
شکل ١٦- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روی، تیوباسیلوس و گوگرد بر سولفات جذب شده.

حروف غیر مشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Fig 16: Mean comparison results of interaction effect of zinc, *Thiobacillus* and sulphur on available sulphate. Dissimilar letters represent significant difference at 5% probability level

احتمالا به دلیل کاربرد گوگرد و اکسایش آن در خاک موجب افزایش سولفات در داخل محلول خاک و همچنین کاهش pH شده که افزایش غلظت سولفات باعث جذب بیشتر سولفات توسط گیاه شد. این نتایج با یافته‌های تعدادی از محققان (١٦، ٢٠ و ٣٣) مطابقت دارد و آن‌ها گزارش دادند که کاربرد گوگرد موجب افزایش جذب سولفات توسط گیاه شد.

میزان روی جذب شده: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول٣) نشان داد که اثر متقابل گوگرد و روی و اثر متقابل روی و تیوباسیلوس بر میزان روی جذب شده در سطح یک درصد و اثر متقابل گوگرد، روی و تیوباسیلوس بر میزان روی جذب شده در سطح ۵ درصد معنی دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل گوگرد، روی و تیوباسیلوس بر میزان روی جذب شده (شکل ١٧) نشان داد که کاربرد ١٠٠٠ کیلوگرم در هکتار گوگرد و عدم کاربرد تیوباسیلوس و روی بیشترین تأثیر را در افزایش روی جذب شده (٣٧/٧١ میلی‌گرم در لیتر) داشت که اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد با تیمار شاهد (٢١/۵ میلی‌گرم در لیتر) داشت. احتمالا می‌توان گفت که مصرف گوگرد و تولید اسیدسولفوریک در نتیجه اکسایش آن، باعث کاهش pH، تأمین سولفات مورد نیاز گیاهان و افزایش قابلیت جذب عناصر کم مصرف (در اینجا روی) در خاک‌ها می‌شود (۵ و ٨).



شکل ۱۷- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روی، تیوباسیلوس و گوگرد بر میزان روی جذب شده.

حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Figure 17. Mean comparison results of interaction effect of zinc, *Thiobacillus* and sulphur on absorbed zinc. Dissimilar letters represent significant difference at 5% probability level.

کاربرد روی به‌همراه تیوباسیلوس در صورت عدم مصرف گوگرد موجب افزایش معنی‌داری در میزان روی جذب شده (۲۹/۳۳ میلی‌گرم در لیتر) نسبت به تیمار شاهد (۲۱/۵ میلی‌گرم در لیتر) گردید. شاید بتوان گفت که با مصرف روی در خاک مورد مطالعه و حلالیت آن، میزان جذب روی افزایش یافته است اما بقیه تیمارها در میزان روی جذب شده اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشتند. این نتایج با یافته‌های بعضی محققان (۱۷؛ ۱۸ و ۱۹) مطابقت دارد. بشارتی و صالح راستین (۲۰۰۱) گزارش دادند که کاربرد گوگرد موجب ایجاد کاهش معنی‌داری در جذب روی توسط گیاه می‌شود (۵).

درصد نیتروژن جذب شده: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها مطابق جدول (۳) نشان داد که کلیه اثرات اصلی و متقابل بر روی درصد نیتروژن جذب شده معنی‌دار نشد.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده نشان داد که اثر متقابل گوگرد، روی و تیوباسیلوس در برخی صفات زراعی، خاک و گیاه معنی‌دار شد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین، تیمار کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد، عدم مصرف تیوباسیلوس و روی موجب افزایش معنی‌داری در عملکرد وش، عملکرد پنبه دانه، هدایت الکتریکی خاک، میزان سولفات جذب شده و میزان روی جذب شده گردید. همچنین تیمار کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به‌همراه تیوباسیلوس موجب افزایش معنی‌داری در عملکرد وش و عملکرد پنبه دانه نسبت به شاهد گردید. کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به‌همراه تیوباسیلوس بیشتر از کاربرد گوگرد تنها موجب افزایش معنی‌دار در سولفات قابل جذب خاک و سولفات جذب شده گردید. با توجه به این‌که اثر اصلی گوگرد در واکنش خاک معنی‌دار شد کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به‌تنهایی موجب کاهش معنی‌داری در واکنش خاک شد. کاربرد

۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد بدون مصرف تیوباسیلوس موجب افزایش معنی‌دار عملکرد الیاف و درصد کیل گردید. کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به‌همراه تیوباسیلوس موجب کاهش معنی‌داری در روی قابل جذب نسبت به عدم کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس گردید.

منابع

1.Aman, F., and Reisei, F. 2008. Effect of sulphur use on the phosphorus, potassium and zinc concentration with two soya variety. 10th soil science congress of Iran. (In Persian).

2.AsgharMalik, M., Azizi Khan, H.Z., and Ashfaq Wahid, M. 2004. Growth, seed yield and oil content response of canola (*Brassica napus* L) to varying levels of sculpture. Int. J. Agr. and Biol., 6(6): 1153-1166.

3.Bao, L. 1998 . The changes of fertilizer structure and effectiveness in china. Jaingxi Scientific and Techtology Publisher, China.

4.Basavarajappa, R. 1992. Response of cotton cv. Abaditha (*Gossypium hirsutum* L.) to soil and foliar application of micronutrients under rainfed conditions. M.Sc thesis University of Agricultural Sciences. Bangalore. India. Pp: 113.

5.Besharati, H., and Salehrastein, N. 2001. Effect of sulphur use and inoculation *Thiobacillus* bacteria on uptake of iron and zinc with maize in green house. J. Soil Water, 7: 63-72.

6.Dadivar, M., and Khosh Shans, M.A. 2008. Study on the effect of sulphur on micro elements uptake and consumption in beans, 10th soil science congress of Iran. (In Persian)

7.Dawood, F., Al-Omaqri, S.M., and Murtatha, N. 1985. High level of sulfur affecting availability of some micronutrients in calcareous Soil. In Proceeding of Secondary Regional Conference on sulfur and its usage in Arab countries. Riyadh, 2-5 March 1985, Saudi Arabia. Pp: 55-68.

8.Elfouly, R., and Rabinson, G. 2001. Response of cotton Giza 83 to some micronutrients. Asians J. Agr. Sci., 22: 351-366.

9.Falahatgar, S., Babaei, P., Besharati, H., and Cherati, A. 2013. Effect of different sulphur amounts and *Thiobacillus* bacterial inoculums on dry matter yield, chlorophyll amount, iron and zinc uptake of two soya variety. First national congress of science and technology in agriculture. Zanjan university, (In Persian)

10.Fang, C., and Chen, C. 2011. Effects of sulfur fertilizer on cotton growth and yield. J. Agr. Sci., 40: 85–86

11.Gupta, K., and Gupta, S.P. 1984. Effect of zinc sources and levels on Fe growth and zn nutrition and soybean growth in the presence of chloride and sulphate salinity. Plant Soil, 81: 299-304.

12.Helena Chemical, Co. 2006. Trafix Zn specimen label. Available at: (accessed 11 Aug 2011; verified 15 Sept. 2011). Helena Chemical Co., Collierville, TN.

13.Singh, J., and Kairon, M.S. 2001. Yield and nutrient contents of cotton and sunflower as influenced by applied sulphur in irrigated Inceptisol. Indian J. Agr. Sci., 71(1): 35-37.

14.Jones, J. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. J. Bot., 41(3): 1373-1384.

15.Kacar, B., and Katkat, A.V. 2007. Fertilizers and Technique of Fertilizing. 2nd Press, Nobel Publishing Company, Publication No: 1119, Ankara-Turkey.

16.Kachhave, K.G., Gawand, S.D., and Kohire, O.D. 1997. Uptake of nutrients by chickpea. J. Indian Soc. Soil Sci., 45: 490-591.

17.Kalbasi, M., Filsoof, F., and Rezaai-Nejad, Y. 1988. Effect of sulfur treatment on yield and uptake of Fe, Zn and Mn by corn, sorghum and soybean. J. Plant Nutr. 11: 1953-1360. (In Persian)

18.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.

19.Kaya, M., Kucukyumuk, Z., and Erdal, I. 2009. Effects of elemental sulfur and sulfur-containing waste on nutrient concentrations and grown on calcareous soil. Afr. J. Biotechnol., 8(18): 4481-4489.
20.Kholdebarin, A., and Eslamzadeh, K. 2002. Mineral nutrition of higher plants. Shiraz University. 902. (In Persian)
21.Khavazi, K., Nourgholipour, F., and Malakouti, M.J. 2001. Effect of *Thiobacillus* and phosphate solubilizing bacteria on increasing P availability from rock phosphate for corn. International Meeting on Direct Application of Rock Phosphate and Related Technology, Kuala Lumpur, Malaysia.
22.Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2ed. Academic press. London, England.
23.Massoumi, A., and Cornfield, A.H. 1963. A rapid method for determinating sulphate in water extracts of soils. Analyst, London, 88: 321-322.
24.Modaihsh, S., AL-Mustafa, W.A., and Metawally, A.E. 1989. Effect of elemental sulfur chemical changes and nutrient availability in calcareous soils. Plant Soil, 116: 95-101.
25.Muhammad, I., Makhdum Mohammad, N.M., Fazal, I., Chaudary, and Shabab-Ud-Din. 2001. Effect of gypsum as a sulphur fertilizer in cotton production. Int. J. Agr. Biol., 4: 375-377
26.Nikolov, G. 2002. Independent effect of cotton's foliar micro fertilizing. Pochvoznante, Agrokhimiya, J. Ecol., 35(3): 13-15.
27.Salardini, A. 1993. Soil Fertility. Tehran University publication. 165-258pp. (In Persian)
30.Sharma, S.K., and Dungarwal, H.S. 1997. Effect of growth regulators, sulphur fertilization and crop geometry on lint yield and fiber properties of American Cotton. Res. Crops, 4(2): 174-177.
31.Sharma, T.C., Sharma, A.P., Amarpal, A., Tanesa, P., and Daankhar, T.S. 2000. Response of sulphur and its sources, phosphorus and nitrogen on seed cotton yield and fiber quality in American cotton. J. Indian Soc. Cotton Improvement, 25(1): 33-36.
32.Singh, A.L., and Chaudhari, V. 1997. Sulfur and micronutrient of groundnut in a calcareous soil. J. of Agron. Crop Sci., 179: 107-114.
33.Sreemannarayana, B., Sreenivasa Raju, A., Satyanarayana, V., and Joseph, B. 1993. Effect of sulphur application on yield and uptake of macro, secondary and micronutrients by sunflower on rainfed Alfisol. J. Oilseeds Res., 10(2): 48-53.
34.Tabatabai, M.A. 1986. Sulfur in Agriculture. American. Society. of Agronomy Incorporation, Madison, Wis., USA.
35.Tate, R.L. 1995. The sulfur and related biogeochemical cycle, P: 359-372, In soil microbiology, John Willey Sons inc, New York. Pp: 359-374.
36.Vidyalakshmi, R., Parantheman, R., and Bhakyaraj, R. 2009. Sulphur oxidizing bacteria and pulse Nutrition. World j. Agr. Sci., 5(3): 270-278.
37.Waddoups, M. 2011. Interpreting soil and plant tissue tests. Available at http://www.nwag.com/interpre.shtml (accessed 21 Apr. 2011; verified 15 Sept. 2011). Northwest Agric. Consultants, Kennewick, WA.
38.Yang, M., Shi, L., Xu, FS., Lu, J.W., and Wang, Y.H. 2009. Effects of B, Mo, Zn and their interactions on seed yield of rapeseed (*Brassica napus* L.). Pedosphere. 19(1): 53-59.