

## تأثیر باکتری‌های مزورایزوبیوم، تیوباسیلوس و گوگرد بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.) و برخی پارامترهای خاک

سکینه دستورانی<sup>۱</sup>، شاهین شاهسونی<sup>۲\*</sup> و شاهرخ قرنجیک<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد خاک‌شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود، dastorani.sakine@gmail

۲- عضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود

۳- عضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود، gharanjik@hotmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۰۶

### چکیده

مطالعه حاضر به منظور ارزیابی تأثیر کاربرد باکتری‌های ریزوبیوم، تیوباسیلوس و گوگرد بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود رقم هاشم انجام شد. این آزمایش در مزرعه‌ای واقع در ۱۲ کیلومتری شهرستان جغتای در فروردین‌ماه سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل باکتری‌های مزورایزوبیوم در سه سطح، عدم تلقیح (Meso0)، تلقیح با مزورایزوبیوم سویه سیسری استرین اماس ۱۹۰ (Meso1) و تلقیح با مزورایزوبیوم سیسری (*Mesorhizobium ciceri*) استرین اماس ۹ (Meso2) و تیوباسیلوس در دو سطح، تلقیح (T1) و عدم تلقیح (T0) و گل گوگرد (S) در سه سطح (صفر، ۵۰۰، ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد که سه عامل بالا تأثیری بر طول ساقه، وزن ریشه، تعداد غده در ریشه و نیتروژن خاک نداشت، اما مزورایزوبیوم سویه سیسری استرین اماس ۱۹۰ تأثیر مثبتی روی طول ریشه (۲۰ درصد) و عملکرد نخود (۱۸ درصد) داشت. برهمکنش گوگرد و مزورایزوبیوم بر تعداد غلاف در بوته و عملکرد در هکتار و درصد پروتئین تأثیر مثبتی داشت و در بین مزورایزوبیوم‌ها، مزورایزوبیوم سویه استرین اماس ۱۹۰ نسبت به مزورایزوبیوم سویه استرین اماس ۹ تأثیر بیشتری بر افزایش عملکرد داشت (۱۴۶/۷۳ کیلوگرم در هکتار). همچنین نتایج نشان داد که استفاده از کودهای زیستی (مزورایزوبیوم و تیوباسیلوس) موجب افزایش غلظت عناصر غذایی از جمله پتاس، فسفر و گوگرد در خاک شد. برهمکنش گوگرد و تیوباسیلوس و همچنین گوگرد و مزورایزوبیوم، به ترتیب فسفر قابل جذب خاک را به میزان ۵۵ و ۵۳ درصد افزایش داد. در بررسی اثر کودهای زیستی بر خصوصیات شیمیایی خاک مشخص شد که برهمکنش هر سه عامل آزمایشی بر EC pH و گوگرد خاک مثبت بود. استفاده از کودهای زیستی (مزورایزوبیوم و تیوباسیلوس) باعث بهبود صفات زراعی نخود و خصوصیات شیمیایی خاک شد.

واژه‌های کلیدی: باکتری مزورایزوبیوم، تیوباسیلوس، گوگرد، نخود

### مقدمه

گیاهان غده‌ای است. کودهای زیستی، با افزایش برهمکنش دستیابی به سیستم پایدار و تولید محصولی با کیفیت بالا زراعت نخود را تسهیل می‌نماید. ریزوبیوم‌ها به دلیل توان تثبیت نیتروژن، افزایش فرم قابل جذب برخی عناصر غذایی و توان تولید عوامل محرک رشد گیاه و همچنین به علت تکنولوژی تولید انبوه مایه تلقیح، به عنوان کود زیستی محرک رشد گیاه شناخته شده‌اند (Besharati & Saleh Rastein, 1999). تحقیقات نشان داده است استفاده از هر یک از کودهای زیستی (شامل کود مزورایزوبیوم و میکوریزا) موجب افزایش عملکرد دانه نخود و افزایش غلظت‌های روی و فسفر شد (Khosrojerdi et al., 2013). تلقیح دانه‌های نخود با ریزوبیوم باعث افزایش گره

نخود (*Cicer arietinum* L.) به عنوان یک محصول کم هزینه در سیستم‌های زراعی مناطق گرمسیری نیمه‌خشک کشت می‌گردد (Majnon Hossaini, 2007). این گیاه به خاطر قابلیت سازگاری با طیف وسیعی از شرایط محیطی و خاک از قبیل اراضی حاشیه‌ای برای کشت دیگر محصولات مثل گندم حایز اهمیت می‌باشد. حدود ۲۴ تا ۳۴ درصد وزن دانه‌های حبوبات را پروتئین تشکیل می‌دهد که این میزان دو تا سه برابر پروتئین غلات و ۱۴ تا ۲۴ برابر بیشتر از پروتئین

\*نویسنده مسئول: shahsavani2001@yahoo.com

### مواد و روش‌ها

این آزمایش طی سال زراعی ۱۳۹۳ در مزرعه‌ای واقع در شهرستان جغتای در موقعیت جغرافیایی شمال‌شرق کشور و غرب استان خراسان رضوی و شمال غرب شهرستان سبزوار بین ۵۶:۳۶ درجه تا ۵۷:۱۶ درجه طول جغرافیایی و ۲۶:۲۵ درجه تا ۳۶:۵۳ درجه عرض جغرافیایی اجرا شد. بر اساس تقسیم‌بندی‌های اقلیمی منطقه جغتای دارای آب و هوایی گرم و نیمه خشک می‌باشد. میانگین بارش در سال ۹۳-۱۳۹۲، ۲۱۱/۲ میلی‌متر بود. سردترین دمای سال، ۱۴/۲ درجه سانتی‌گراد زیر صفر (در ماه‌های دی و بهمن) و گرم‌ترین دمای سال از اواخر اردیبهشت تا اواخر مردادماه با ۴۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین دمای سالانه ۱۱/۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. نتایج برخی خصوصیات فیزیکی‌شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است.

این تحقیق در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و با ۱۸ تیمار اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش، شامل گوگرد در سه سطح (۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار)، باکتری تیوباسیلوس (در دو سطح، عدم تلقیح و تلقیح تیوباسیلوس نئوپاروس استرین تی‌بی ۹۳) و باکتری مزورایزوبیوم سیسری در سه سطح (عدم تلقیح، تلقیح با مزورایزوبیوم سیسری استرین ام‌اس ۱۹۰ و تلقیح با مزورایزوبیوم سیسری استرین ام‌اس ۹) بود. کرت‌ها به ابعاد ۴×۲ متر و دارای سه خط کاشت بود. فاصله بین خطوط کشت ۶۰ سانتی‌متر، روی خطوط ۲۰ سانتی‌متر، بین کرت‌ها ۶۰ سانتی‌متر و بین دو تکرار، یک‌متر در نظر گرفته شد. مایه تلقیح باکتری (تهیه‌شده از شرکت زیست‌فناور توران شاهرود) به میزان یک کیلوگرم برای ۲۰ کیلوگرم بذر نخود در هکتار به صورت بذرمال به کار رفت. ابتدا بذور با ماده تلقیحی مخلوط گردیدند و بعد از خشک شدن نسبی مواد تلقیحی سطح بذور در سایه، بذور سریعاً کشت شدند. علاوه بر آب باران، آبیاری هر ۱۴ روز صورت گرفت. مبارزه با علف‌های هرز مزرعه، به صورت وجین دستی انجام شد. در این آزمایش، هیچ‌گونه آفت و بیماری مشاهده نشد. اوایل تیرماه، بوته‌ها از سطح خاک و از ناحیه طوقه قطع گردیده و توسط پاکت‌های مخصوص نمونه‌برداری به آزمایشگاه منتقل شده و درون آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند. شایان ذکر است که برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، با احتساب حذف حاشیه از ابتدا و انتهای کرت، از مساحت یک مترمربع استفاده شد. برای تبدیل درصد نیتروژن به پروتئین، از ضریب تبدیل پروتئین ۶/۲۵ استفاده شد (Erman et al., 2011). همچنین برای اندازه‌گیری طول ریشه، از هر ۱۰ بوته انتخابی در هر کرت طول ریشه با شستن ریشه‌ها در آب مقطر

زایی، جذب نیتروژن، رشد و عملکرد نخود می‌گردد. باکتری مزورایزوبیوم سیسری (*Mesorhizobium ciceri*) یکی از انواع گونه‌های ریزوبیوم است. این باکتری همزیستی مؤثری با نخودهای یک‌ساله برقرار می‌کند و می‌تواند ۶۰ تا ۹۰ درصد نیتروژن گیاه را از اتمسفر به‌دست آورد. گوگرد به‌عنوان یک عنصر غذایی ضروری برای گیاهان و همچنین به‌عنوان ماده تولیدکننده اسید در خاک می‌تواند با اصلاح واکنش خاک شرایط را برای رشد ارقام سویا و تثبیت نیتروژن فراهم کند (Malakouti, 2004). گوگرد در ساختمان آنزیم نیتروژناز نقش داشته و از طریق تأثیر بر متابولیسم گیاه، موجب افزایش جذب نیتروژن مولکولی توسط گره‌های ریشه ای و همچنین افزایش روغن در لگوم‌های روغنی (نظیر سویا) می‌گردد. در یک تحقیق، برای بررسی برهمکنش تغذیه گوگرد بر ترکیبات غذایی سویا در شرایط گلدانی، مقادیر متفاوت فسفر و گوگرد برای گیاه تأمین شد. نتایج نشان داد که غلظت نیترات در گیاه با ازدیاد میزان گوگرد افزایش یافت (Yadegari, 2001). یکی از مهم‌ترین خصوصیات گوگرد دارابودن درجات مختلف اکسیداسیون می‌باشد. بدین ترتیب علاوه بر ارزش تغذیه‌ای و در نتیجه تأمین سولفات مورد نیاز گیاه (Tabatabai, 1986) به‌دلیل اکسیدشدن و تولید اسیدسولفوریک توانایی لازم برای کاهش اسیدیته خاک را (حداقل در مقیاس کوچک اطراف ریشه‌ها) نیز دارا می‌باشد. اکسیدشدن گوگرد عنصری، به‌وسیله تعداد بی‌شماری از باکتری‌های جنس تیوباسیلوس صورت می‌گیرد که پنج گونه از آن‌ها در بیشتر خاک‌ها مشاهده شده است.

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که کمبود گوگرد به‌میزان متوسط، عملکرد را از طریق تأثیر بر رشد گیاه در دوره پُرشدن دانه کاهش می‌دهد، این تأثیر دیرهنگام ناشی از کمبود گوگرد می‌تواند نتیجه تحرک زیاد گوگرد در خاک و انتقال مجدد اندک گوگرد در گیاه باشد. لذا فراهمی گوگرد در گیاه می‌تواند بر پُرشدن دانه و افزایش عملکرد اقتصادی آن تأثیرگذار باشد (Amani et al., 2007). باکتری تیوباسیلوس به‌عنوان یک اکسیدکننده مهم گوگرد در خاک باعث افزایش چشمگیر میزان سولفات در خاک می‌شود (Zeng, 1996). در بررسی تأثیر برهمکنش گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس بر غلظت عناصر آهن، روی، مس و منگنز در گیاه کلزا در شرایط گلخانه ای افزایش عملکرد ایجاد شد (Kochakzadeh & Malakoti, 2001). هدف از اجرای این تحقیق بررسی تأثیر باکتری‌های مزورایزوبیوم و تیوباسیلوس و گوگرد بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود و برخی پارامترهای خاک می‌باشد.

الکتریکی (EC) و مقدار pH در سوسپانسیون ۱:۲ آب به خاک مورد سنجش قرار گرفت (Chapman & Pratt, 1961). تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) و در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد انجام شد.

اندازه‌گیری شد و سپس میانگین آن‌ها در نظر گرفته شد. در بررسی خصوصیات شیمیایی خاک، پتاسیم قابل جذب به روش (Alihyaei & Behbehani, 1994)، فسفر قابل دسترس به روش (Olsen *et al.*, 1954)، نیتروژن کل با دستگاه کج‌دال (Chapman & Pratt, 1961) و کربن آلی خاک به روش (Walkley & Black, 1934) اندازه‌گیری شدند. هدایت

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

Table 1. Physico-chemical properties of used soil

عمق Depth (cm)	اسیدیته گل اشباع pH	هدایت الکتریکی Ec (ds m <sup>-1</sup> )	درصد اشباع Sp (%)	کربن آلی O.C (%)	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل جذب Avail. P (mg kg <sup>-1</sup> )	پتاسیم قابل جذب Avail. K (mg kg <sup>-1</sup> )	کلاس بافت خاک Soil texture
0-30	7.69	0.53	41.9	0.95	0.09	5.8	558	Si - L

غلاف در بوته نسبت به شاهد گردید که ممکن است به‌خاطر کاربرد مزورایزوبیوم سیسری (Meso2) بوده باشد.

#### طول ریشه

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثرات اصلی و برهمکنش تیمارها به‌جز اثر اصلی باکتری مزورایزوبیوم بر طول ریشه معنی‌دار نبود و کاربرد مزورایزوبیوم در سطح احتمال ۵ درصد باعث تفاوت معنی‌دار بر طول ریشه گردید. مقایسه میانگین اثر مزورایزوبیوم بر طول ریشه (شکل ۲) نشان داد بین دو سویه باکتری اختلاف معنی‌دار از لحاظ تأثیر بر این صفت وجود نداشت و استفاده از هر دو سویه باکتری مزورایزوبیوم باعث افزایش معنی‌دار طول ریشه گردید و بیشترین مقدار طول ریشه مربوط به تیمار مزورایزوبیوم سیسری استرین ام‌اس ۱۹۰ بود که در مقایسه با شاهد ۲۰ درصد طول ریشه افزایش یافت. تحقیقی نشان داده است که باکتری‌های موجود در کود زیستی علاوه بر تثبیت نیتروژن جو و متعادل کردن جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف مورد نیاز گیاه، موجب رشد و توسعه ریشه و قسمت‌های هوایی گیاهان شد و با محافظت از ریشه‌ها در برابر عوامل بیماری‌زای خاکری موجب افزایش محصول گردید (Karimi *et al.*, 2013).

#### وزن ریشه

جدول تجزیه واریانس نشان داد، که اثر اصلی تیمارها بر وزن ریشه معنی‌دار نبود، اما برهمکنش جوگرد و تیوباسیلوس در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). احتمالاً دلیل آن، اکسایش جوگرد از طریق کاهش pH و افزایش قابلیت جذب برخی از عناصر غذایی است که می‌تواند موجب بهبود رشد و عملکرد پنبه شود (Bao, 1998).

#### نتایج و بحث

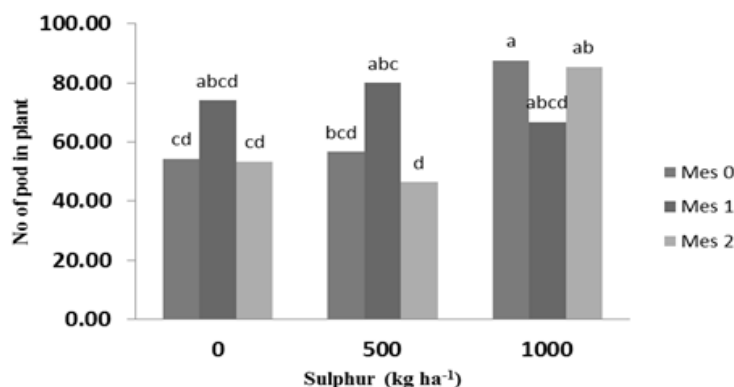
##### ارتفاع گیاه

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثرات اصلی و متقابل تیمارها تفاوت معنی‌داری بر ارتفاع گیاه نداشت. (Afshari, 2013) اظهار داشت که سویه‌های مختلف ریزوبیوم و باکتری محرک رشد گیاه بر ارتفاع بوته معنی‌دار نبود. دور از انتظار نیست که در برخی موارد وضعیت مواد غذایی خاک اثر چشمگیری بر این صفت نداشته باشد.

##### تعداد غلاف در بوته

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر اصلی جوگرد در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش جوگرد و مزورایزوبیوم در سطح پنج درصد تأثیر معنی‌داری (۲۰ درصد) بر تعداد غلاف در بوته داشت. جوگرد تأثیر مثبتی روی تعداد غلاف در بوته داشت که نتایج به‌دست‌آمده با نتایج سایر محققان همخوانی دارد. (Solemani & Asgharzadeh, 2010) اظهار داشتند که مصرف سولفات روی، تفاوت معنی‌داری در تعداد غلاف در بوته نسبت به شاهد ایجاد نمود.

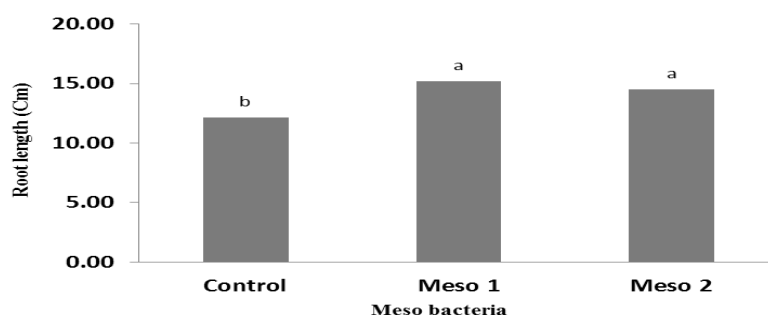
مقایسه میانگین برهمکنش جوگرد و مزورایزوبیوم بر تعداد غلاف در بوته نشان داد که بیشترین تعداد غلاف در بوته مربوط به تیمار ۱۰۰۰ کیلوگرم جوگرد در هکتار، با ۶۱ درصد افزایش نسبت به شاهد بود (شکل ۱). جوگرد علاوه بر نقش تغذیه‌ای خود از طریق اصلاح pH و افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی گیاه می‌تواند موجب افزایش رشد و تثبیت نیتروژن و در نتیجه افزایش رشد در گیاه شود و کمترین تعداد مربوط به تیمار کاربرد مزورایزوبیوم سیسری استرین ام‌اس ۹ و جوگرد در سطح ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار بود که باعث کاهش ۱۵ درصد تعداد



شکل ۱- برهمکنش گوگرد و مزورایزوبیوم بر تعداد غلاف در بوته

Fig. 1. Interaction effect of sulphur and Mesorhizobium on No of pod per plant

Meso 0: عدم استفاده؛ Meso 1: سبب استرین اماس ۱۹۰؛ Meso 2: سبب استرین اماس ۹



شکل ۲- تأثیر مزورایزوبیوم بر طول ریشه

Fig. 2. Mesorhizobium effect on root length

Meso 0: عدم استفاده؛ Meso 1: سبب استرین اماس ۱۹۰؛ Meso 2: سبب استرین اماس ۹

#### پروتئین دانه

نتایج آنالیز واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر اصلی تیمارهای گوگرد و باکتری، همچنین برهمکنش گوگرد و باکتری مزورایزوبیوم، برهمکنش گوگرد با باکتری مزورایزوبیوم و تیوباسیلوس، تفاوت معنی‌داری در سطح یک‌درصد بر صفت مذکور داشت. (Naderi & Erfani (2007) گزارش نمودند که تأثیر گوگرد بر میزان پروتئین و وزن ۱۰۰۰ دانه مثبت بود، اما ارتفاع بوته تحت تأثیر مصرف گوگرد قرار نگرفت. گیاهان به گوگرد به‌عنوان یک ماده غذایی مهم نیاز دارند. گوگرد در ساختمان پروتئین و اسیدهای آمینه به‌کار می‌رود. نقش گوگرد در گیاهان، به‌طور عمده ساخت پروتئین، روغن و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی است. به‌طور کلی گوگرد در تشکیل کلروفیل و تشکیل آنزیم نیتروژناز دخالت داشته و از تجمع نیترات جلوگیری می‌کند (Erman *et al.*, 2011). مطالعات بین فعل و انفعالات گوگرد و نیتروژن در گندم در سطح

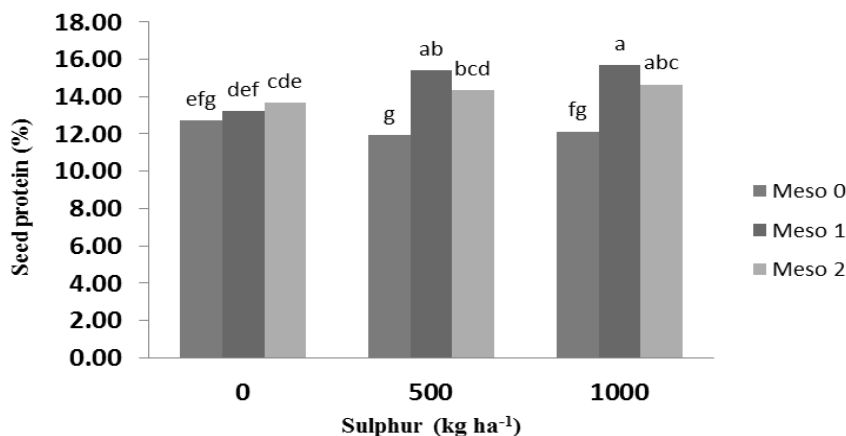
عملکرد نشان داد که گوگرد یک ترکیب ضروری برای آنزیم‌های درگیر در متابولیسم نیتروژن، آنزیم نیترات ردوکتاز و نیتريت ردوکتاز است و کمبود آن منجر به کاهش جذب نیتروژن و تجمع نیترات در گیاهان می‌شود (Kaplan & Orman, 1998; Mendel, 1997).

مقایسه میانگین برهمکنش گوگرد با کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و مزورایزوبیوم سبب استرین ۱۹۰، نسبت به شاهد، ۱۸ درصد افزایش پروتئین داشت (شکل ۳).

(Khosrojerdi *et al.*, 2013) نشان دادند که کاربرد ریزوبیوم و کود سولفات آهن بر عملکرد دانه، غلظت آهن، روی و درصد پروتئین در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار شد. این امر با توجه به تأثیر فراهیمی مواد غذایی در رشد گیاه قابل توجیه است. کودهای زیستی میکروارگانیزم‌هایی هستند که قادرند عناصر غذایی را از شکل نامحلول به شکل قابل استفاده تبدیل کنند. از آنجا که گوگرد جزء ساختمان پروتئین می‌باشد،

تبدیل در یک پروسه زیستی انجام می‌گیرد، که با فراهم‌شدن مواد غذایی کیفیت و کمیت محصول بیشتر می‌شود.

باکتری تیوباسیلوس باعث می‌شود که گوگرد به سولفات تبدیل شده و قابل جذب گیاه شود و همچنین مزورایزوبیوم نیتروژن هوا را به نیتروژن قابل جذب برای گیاه تبدیل می‌کند و این



شکل ۳- برهمکنش گوگرد و مزورایزوبیوم بر درصد پروتئین دانه

Fig. 3. Interaction effect of sulphur and mesorhizobium on seed protein percent

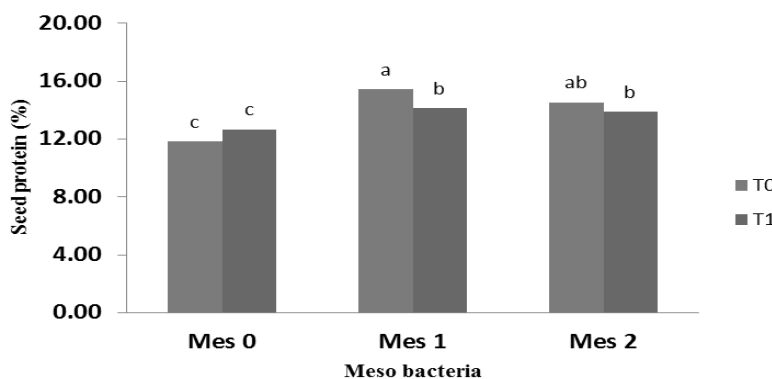
Meso 0: عدم استفاده؛ Meso 1: سیسری استرین ام‌اس ۱۹۰؛ Meso 2: سیسری استرین ام‌اس ۹

میزان پروتئین و گوگرد دانه شد. برهمکنش تیوباسیلوس و مزورایزوبیوم نشان می‌دهد که اضافه‌کردن تیوباسیلوس و مزورایزوبیوم، سبب افزایش ۹ درصدی پروتئین دانه نسبت به شاهد گردید. تیوباسیلوس به‌تنهایی نتوانست باعث افزایش پروتئین دانه گردد، ولی به‌همراه باکتری مزورایزوبیوم باعث افزایش پروتئین دانه شد (Solemani & Asgharzadeh, 2010). تلقیح بذور با مزورایزوبیوم باعث افزایش رشد ریشه شد که همین امر باعث افزایش جذب عناصر غذایی بیشتر و در نهایت افزایش پروتئین دانه گردید (Afshari, 2013).

بیشترین درصد پروتئین دانه مربوط به تیمار مزورایزوبیوم بود که نسبت به شاهد، ۱۷ درصد باعث افزایش پروتئین در دانه نخود گردید.

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر متقابل تیوباسیلوس و باکتری مزورایزوبیوم بر پروتئین دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج به‌دست‌آمده با نتایج سایر محققان همخوانی دارد (شکل ۴).

(Chand & Garg, 2011) نشان دادند که کاربرد توأم قارچ میکوریز و ریزوبیوم سبب افزایش عملکرد دانه و غلظت در



شکل ۴- اثر متقابل مزورایزوبیوم و تیوباسیلوس بر درصد پروتئین دانه

Fig. 4. Interaction effect of mesorhizobium and thiobacillus on seed protein percent

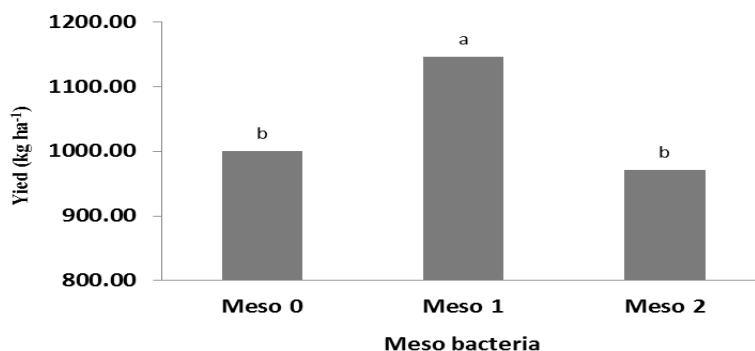
Meso 0: عدم استفاده؛ Meso 1: سیسری استرین ام‌اس ۱۹۰؛ Meso 2: سیسری استرین ام‌اس ۹

## عملکرد دانه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که سویه‌های مختلف ریزوبیوم بر عملکرد دانه در سطح ۱ درصد اثر معنی‌داری داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌های سطوح مختلف مزورایزوبیوم نشان داد بالاترین عملکرد دانه (۱۱۴۶/۷۳ کیلوگرم در هکتار) مربوط به سطح مزورایزوبیوم سیسیری ۱۹۰ و کمترین عملکرد (۹۷۱/۰۷ کیلوگرم در هکتار) مربوط به سطح مزورایزوبیوم سیسیری ۹ بود که با شاهد، تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۵). Saini *et al.*, (2004) اظهار داشتند که تلقیح بذر با باکتری سبب افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیکی و اقتصادی نخود شد. Sogut (2006) در بررسی تأثیر کود نیتروژن و تلقیح با باکتری ریزوبیوم بر ارقام مختلف سویا گزارش کرد تلقیح با باکتری ریزوبیوم در مقایسه با کاربرد ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در بهبود عملکرد کمی و کیفی سویا مؤثرتر است. Shrivastava *et al.*, (2000) در بررسی اثر تلقیح با باکتری ریزوبیوم بر روی سویا گزارش کردند که تلقیح با ریزوبیوم سبب افزایش ۸ درصدی عملکرد سویا در مقایسه با کاربرد معمول کود شد. اثرات تشدیدکننده رشد گیاهانی که با باکتری ریزوبیوم تلقیح شده‌اند، به دلیل تولید فیتوهورمون، محدود شدن رشد قارچ‌های پاتوژن، تثبیت نیتروژن مولکولی افزایش کارایی منابع نیتروژن‌دار و سایر عناصر غذایی، تولید و ترشح سیدروفورها و ایجاد مقاومت در برابر تنش‌های محیطی بوده‌اند و در نتیجه عملکرد افزایش می‌یابد (Flavio *et al.*, 2007).

مقایسه میانگین برهمکنش سطوح مختلف گوگرد و مزورایزوبیوم (شکل ۶) نشان داد که بالاترین عملکرد دانه مربوط به سیسیری استرین ام‌اس ۱۹۰ به مقدار ۱۲۶۸ کیلوگرم در هکتار با ۴۹ درصد افزایش عملکرد بود. باکتری‌ها موجب افزایش فتوسنتز و تولید مواد پرورده گردیده و در مرحله

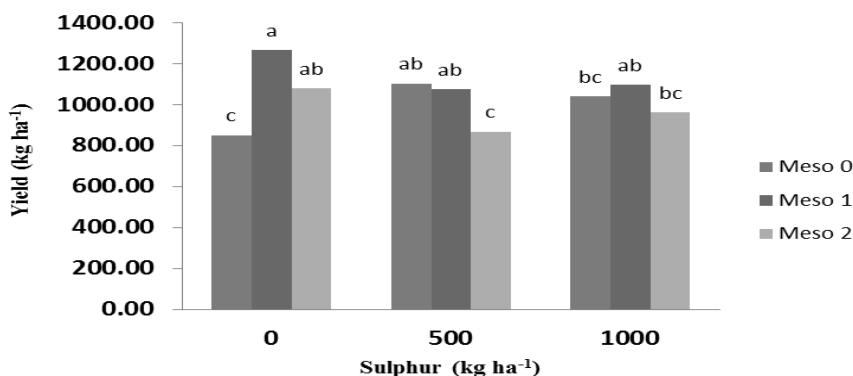
پُردن دانه‌ها، اسیمیلات بیشتری به دانه‌ها انتقال یافته و منجر به افزایش عملکرد دانه می‌شود. گوگرد برای رشد و نمو گیاهان ضروری است. این عنصر باعث تحریک دانه می‌شود. با افزایش گوگرد، جذب عناصر غذایی افزایش یافت و در نتیجه عملکرد افزایش یافت (Togay *et al.*, 2008). بر اساس نتایج تجزیه واریانس، برهمکنش گوگرد و تیوباسیلوس بر عملکرد نخود در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که واکنش نخود در سطوح مختلف گوگرد به تلقیح با تیوباسیلوس مشابه نبود و در سطح عدم کاربرد گوگرد، نخود به تلقیح تیوباسیلوس واکنش منفی داشت؛ اما زمانی که گوگرد استفاده شد، تلقیح با باکتری سبب افزایش عملکرد گردید. باکتری تیوباسیلوس باعث اکسایش گوگرد شده و اسید سولفوریک تولیدشده، باعث انحلال کربنات‌ها و بی کربنات‌ها و قابل دسترس نمودن عناصر غذایی گردیده و در نهایت عملکرد بیشتری حاصل می‌شود. اکسایش گوگرد در خاک عمدتاً به صورت زیستی و توسط ارگانسیم‌های مختلف از جمله باکتری جنس تیوباسیلوس صورت می‌گیرد. سطوح گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس و نیز اثرات متقابل آن با تیوباسیلوس قادر است با ۵۰ درصد از مواد خنثی‌شونده خاک واکنش نشان دهد (Besharati & Saleh Rastein, 1999; Falahatgar *et al.*, 2011). در بررسی تأثیر مقادیر مختلف گوگرد و مایه تلقیح باکتری‌های تیوباسیلوس بر عملکرد ماده خشک، میزان کلروفیل و جذب آهن بر روی بخش هوایی در دو رقم سویا افزایش نشان داد. افزایش سطوح گوگرد و تلقیح تیوباسیلوس باعث کاهش pH خاک شده و در نتیجه جذب عناصر غذایی افزایش یافته و این باعث افزایش عملکرد می‌شود.



شکل ۵- اثر اصلی مزورایزوبیوم بر عملکرد دانه

Fig. 5. Main effect of Mesorhizobium on chickpea yield

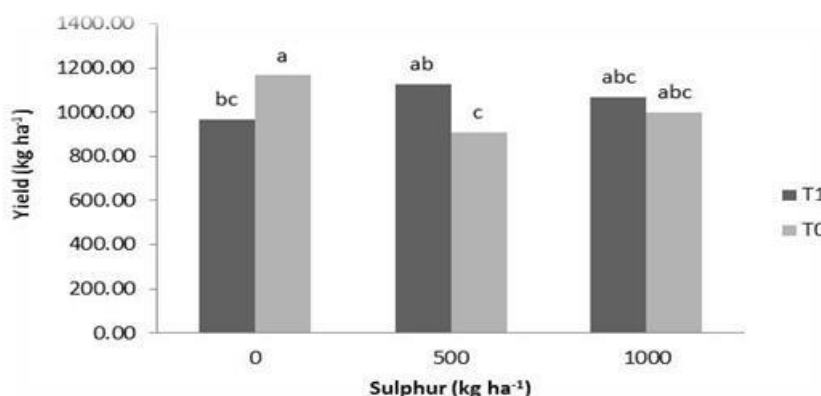
Meso 0: عدم استفاده؛ Meso 1: سیسیری استرین ام‌اس ۱۹۰؛ Meso 2: سیسیری استرین ام‌اس ۹



شکل ۶- برهمکنش گوگرد و مزورایزوبیوم بر عملکرد نخود

Fig 6. Interaction effect of sulphur and mesorhizobium on chickpea yield

Meso 0: عدم استفاده؛ Meso 1: سبیری استرین اماس ۱۹۰؛ Meso 2: سبیری استرین اماس ۹



شکل ۷- اثر متقابل گوگرد و تیوباسیلوس بر عملکرد نخود

Fig 7. Interaction effect of sulphur and Thiobacillus on chickpea yield

T0: عدم کاربرد باکتری تیوباسیلوس؛ T1: کاربرد باکتری تیوباسیلوس

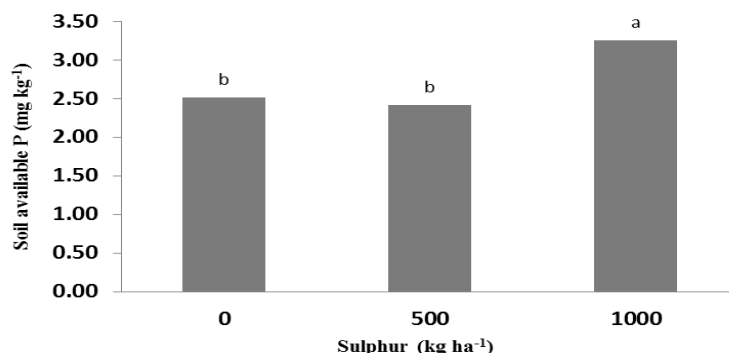
#### فسفات خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثر ساده تیمارهای گوگرد، باکتری مزورایزوبیوم، همچنین برهمکنش گوگرد و باکتری مزورایزوبیوم، گوگرد، تیوباسیلوس و مزورایزوبیوم، روی قابلیت جذب فسفر خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. Kaplan & Orman (1998) نتیجه گرفتند که جذب فسفر توسط لوبیا با افزایش مقدار گوگرد افزایش یافت. مقایسه میانگین سطوح مختلف گوگرد نشان داد که بیشترین فسفر قابل جذب مربوط به کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار بود (شکل ۸). به دلیل این‌که گوگرد pH خاک را کاهش داده و فسفر که در خاک های آهکی به صورت تری و دی کلسیم فسفات تثبیت شده، به فرم فسفات قابل جذب تبدیل شد.

#### صفات مورد اندازه‌گیری خاک

##### گوگرد خاک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد باکتری تیوباسیلوس همراه با گوگرد، باعث افزایش گوگرد قابل جذب گردید و در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی داری نشان داد. نتایج این تحقیق با نتایج سایر محققان همخوانی دارد (Besharati & Saleh Rastein, 1999). در بیشتر موارد، افزایش مقادیر گوگرد و کود زیستی تیوباسیلوس باعث افزایش عملکرد و همین‌طور غلظت و جذب عناصر توسط گیاه شد و این نتایج بیانگر اثر مثبت افزودن این کودها بود. مقایسه میانگین برهمکنش نشان داد که بیشترین عملکرد در برهمکنش گوگرد و تیوباسیلوس مربوط به کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد همراه با تیوباسیلوس نسبت به شاهد بود که باعث افزایش ۲۶ درصدی عملکرد دانه گردید (Kaplan & Orman, 1998).

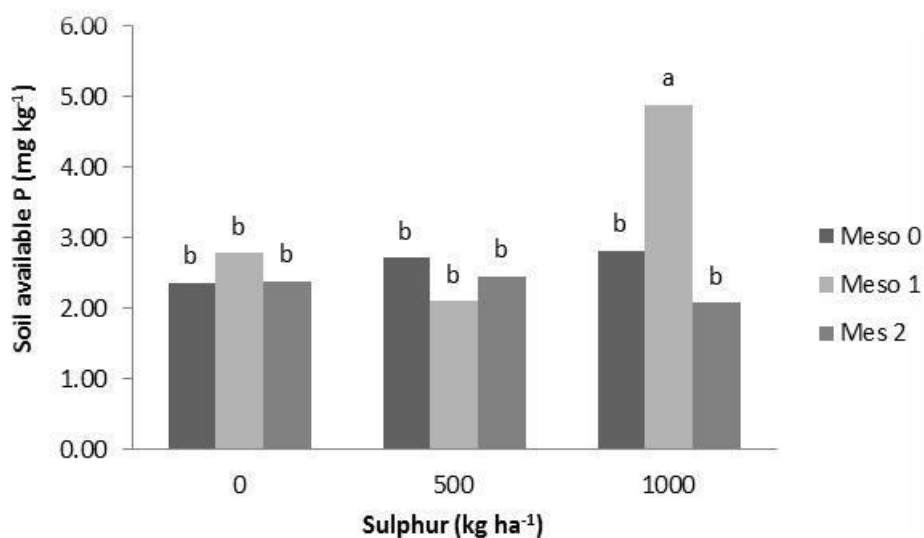


شکل ۸- تأثیر گوگرد بر فسفر قابل جذب

Fig. 8. Sulphur effect on soil available phosphorus

مقایسه میانگین تأثیر مزورایزوبیوم سیسری استرین اماس ۱۹۰ بر فسفر قابل جذب نشان داد که نسبت به شاهد، ۲۳ درصد افزایش داشت (شکل ۹). Besharati & Saleh Rastein (1999) نشان دادند که مصرف نیم درصد (وزنی) گوگرد عنصری با کاهش pH، مقدار فسفر قابل جذب خاک را از ۴/۹۹ به ۱۲/۸۷ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش داد. در خاک‌های قلیایی فسفر توسط کلسیم تثبیت می‌شود که استفاده از گوگرد pH خاک را کاهش داده و فراهمی فسفر بیشتر می‌شود.

در تحقیقی که توسط Daneshi *et al.*, (2005) بر روی نخود انجام گرفت، جذب عناصر غذایی از قبیل فسفر و پتاسیم در تیمارهای ریزوبیوم بیشتر از سایر تیمارها بود و اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد در بین تیمارها وجود داشت. Al-Karaki (2006) نیز گزارش کرد که تلقیح بذر گوجه‌فرنگی با گلوموسه باعث افزایش ماده خشک ریشه، اندام هوایی و همچنین غلظت فسفر، پتاسیم، آهن، روی و مس شد. در گیاه نخود با تلقیح گلوموسه جذب فسفر، تعدادگره‌ها، وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی و فعالیت نیتروژناز افزایش یافت.



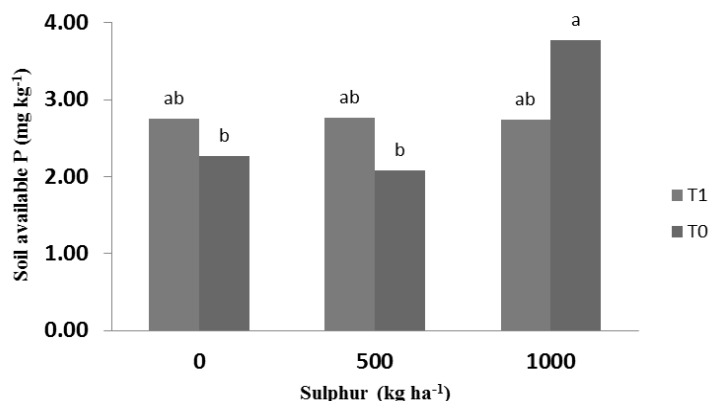
شکل ۹- برهمکنش گوگرد و مزوریزوبیوم بر فسفات قابل جذب

Fig. 9. Interaction effect of sulphur and mesorhizobium on available Phosphorus

Meso 0: عدم استفاده؛ Meso 1: سیسری استرین اماس ۱۹۰؛ Meso 2: سیسری استرین اماس ۹



تلقیح تیوباسیلوس، مقدار فسفر جذب‌شده توسط ذرت را افزایش داد. برهمکنش گوگرد و تیوباسیلوس روی فسفر نشان داد که بیشترین مقدار فسفر قابل جذب مربوط به اضافه کردن ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار و تیوباسیلوس بود که ۳۷ درصد افزایش نسبت به شاهد نشان داد (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- برهمکنش گوگرد و تیوباسیلوس بر فسفات قابل جذب خاک

Fig. 10. Interaction effect of sulphur and thiobacillus on available Phosphorus

T0: عدم کاربرد باکتری تیوباسیلوس؛ T1: کاربرد باکتری تیوباسیلوس

دیگر افزایش یابد و اثر مثبت بر جذب عناصر غذایی و عملکرد داشته باشد. مقایسه میانگین برهمکنش اضافه کردن تیوباسیلوس همراه با تلقیح مزورایزوبیوم نسبت به شاهد باعث افزایش ۶۰ درصدی قابلیت جذب فسفر در خاک گردید (شکل ۱۲).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که برهمکنش تیوباسیلوس و مزورایزوبیوم همراه با گوگرد، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر قابلیت جذب فسفر خاک داشت. استفاده از هر یک از کودهای زیستی (شامل کود مزورایزوبیوم و میکوریزا) موجب افزایش عملکرد دانه و افزایش غلظت فسفر گردید (Khosrojerdi *et al.*, 2007). بسیاری از پژوهشگران گزارش نمودند که جذب فسفر به وسیله گیاه با مصرف گوگرد و تولید اسیدسولفوریک در نتیجه اکسایش آن توسط تیوباسیلوس، باعث کاهش pH و افزایش دسترسی فسفر می‌شود (Zapata & Roy, 2004). در این مطالعه نتایج مقایسه میانگین برهمکنش مزورایزوبیوم، تیوباسیلوس و گوگرد بر میزان فسفر قابل جذب خاک نشان داد که با اضافه کردن مزورایزوبیوم همراه با کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هر هکتار، فسفر قابل جذب نسبت به شاهد به میزان ۷۵ درصد افزایش یافت.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که برهمکنش گوگرد و تیوباسیلوس تأثیر معنی‌داری بر قابلیت جذب فسفر در سطح احتمال یک درصد داشت که با تحقیقات سایر دانشمندان همخوانی دارد. Besharati & Saleh (1999) Rastein نشان دادند که مصرف گوگرد همراه با مایه

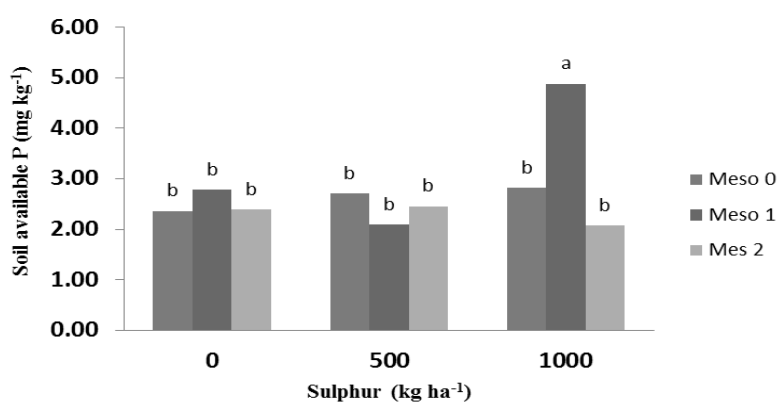
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که برهمکنش گوگرد و مزورایزوبیوم اختلاف معنی‌داری بر قابلیت جذب فسفر در سطح احتمال یک درصد داشت که با نتایج سایر محققان همخوانی دارد (Besharati & Saleh, 1999). نتایج تحقیقی که توسط Daneshi *et al.* (2005) بر روی نخود انجام گرفت، نشان داد که جذب عناصر غذایی از قبیل فسفر و پتاسیم در تیمارهای تلقیحی ریزوبیوم بیشتر از سایر تیمارها بود و اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. مقایسه میانگین برهمکنش گوگرد همراه با تلقیح مزورایزوبیوم (شکل ۱۱) نشان داد که اضافه کردن ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد همراه با تلقیح مزورایزوبیوم نسبت به شاهد باعث افزایش ۵۲ درصدی قابلیت جذب فسفر در خاک شد. در خاک‌های قلیایی فسفر توسط کلسیم تثبیت می‌شود که استفاده از گوگرد pH خاک را کاهش داده و سبب فراهمی فسفر بیشتر می‌شود (Besharati & Saleh Rastein, 1999).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که برهمکنش تیوباسیلوس و مزورایزوبیوم تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر قابلیت جذب فسفر داشت. Ehteshami *et al.* (2007) گزارش نمودند که مصرف کودهای زیستی در ذرت باعث شد میکوریزا و ریزجانداران

### پتاس خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهمکنش گوگرد و مزورایزوبیوم، بر پتاسیم قابل جذب خاک در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۳).  
(Amani & Reisei (2007) گزارش کردند که کاربرد سطوح مختلف گوگرد بر غلظت عناصر غذایی فسفر و پتاسیم تأثیر معنی داری داشت. نتایج نشان داد که همراه با افزایش سطوح گوگرد و کاهش pH، فسفر و پتاسیم نیز در گیاه سویا افزایش یافت و این افزایش در سطح ۱۵ تن در هکتار به

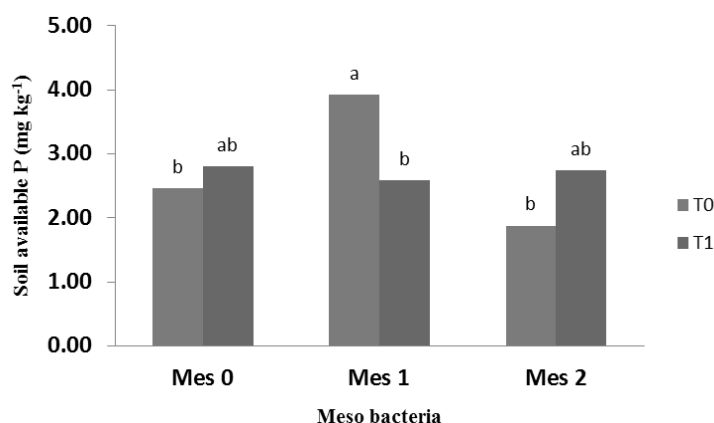
بالاترین میزان خود رسید. مقایسه میانگین اثر متقابل گوگرد و مزورایزوبیوم (شکل ۱۳) نشان داد که با اضافه کردن ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هر هکتار همراه با مزورایزوبیوم ۱۷ درصد جذب پتاسیم نسبت به شاهد افزایش یافت. این باکتری‌ها با تأثیر بر فیزیولوژی و مورفولوژی ریشه گیاهان تلقیح شده باعث جذب بیشتر عناصر غذایی و افزایش رشد گیاهان می‌شود (Bao, 1998).



شکل ۱۱- اثر متقابل گوگرد و مزورایزوبیوم بر فسفات قابل جذب

Fig. 11. Interaction effect of sulphur and mesorhizobium on available Phosphorus

Meso 0: عدم استفاده؛ Meso 1: سبیری استرین اماس ۱۹۰؛ Meso 2: سبیری استرین اماس ۹

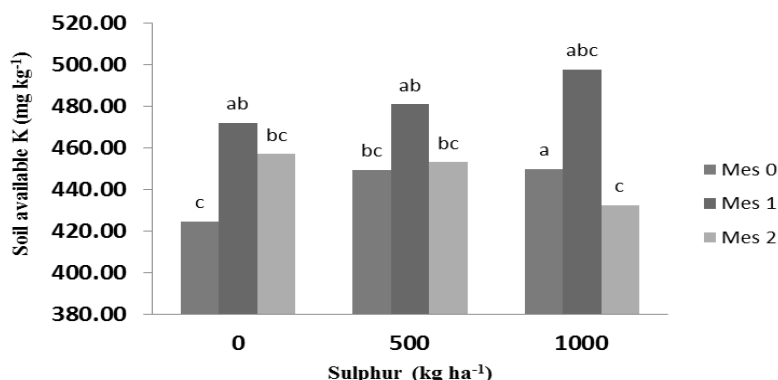


شکل ۱۲- برهمکنش مزورایزوبیوم و تیوباسیلوس بر فسفات قابل جذب خاک

Fig. 12. Interaction effect of mesorhizobiums on available Phosphorus

Meso 0: عدم استفاده؛ Meso 1: سبیری استرین اماس ۱۹۰؛ Meso 2: سبیری استرین اماس ۹

T0: عدم کاربرد باکتری تیوباسیلوس؛ T1: کاربرد باکتری تیوباسیلوس



شکل ۱۳- اثر متقابل مزورایزوبیوم و گوگرد بر پتاسیم قابل جذب

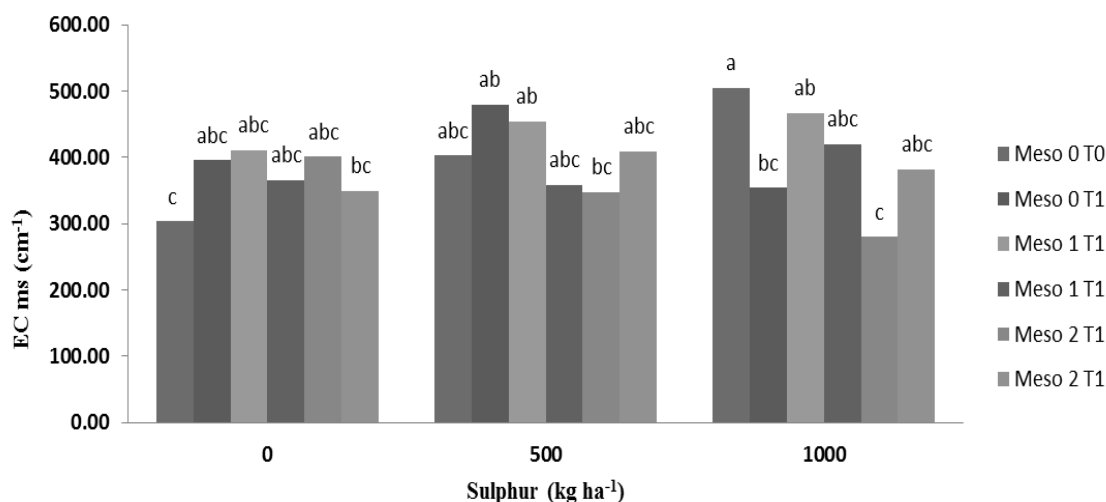
Fig. 13. Interaction effect of mesorhizobiums and sulphur on available Potassium

Meso 0: عدم استفاده؛ Meso 1: سیسری استرین اماس ۱۹۰؛ Meso 2: سیسری استرین اماس ۹

۳۸ درصدی EC خاک نسبت به شاهد گردید (شکل ۱۴). اضافه کردن کودهای زیستی از جمله تیوباسیلوس و مزورایزوبیوم باعث فراهمی عناصر در محلول خاک شده و در نتیجه در اثر انحلال و تجزیه مواد آلی توسط باکتری‌ها، به تدریج املاح وارد محلول خاک می‌شود که منجر به افزایش EC می‌گردد (Amani & Reisei, 2007). (Mahmmodabadi *et al.*, 2013) نتیجه گرفتند که افزودن گوگرد منجر به افزایش EC خاک می‌شود.

#### هدایت الکتریکی (EC)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده و متقابل تیمارها تفاوت معنی‌داری بر هدایت الکتریکی خاک نداشت (جدول ۳). فقط برهمکنش گوگرد و مزورایزوبیوم و تیوباسیلوس بر روی هدایت الکتریکی خاک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید. مقایسه میانگین برهمکنش گوگرد و مزورایزوبیوم و تیوباسیلوس بر هدایت الکتریکی خاک نشان می‌دهد که اضافه کردن مزورایزوبیوم استرین اماس ۱۹۰ سیسری و تیوباسیلوس همراه با کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار باعث افزایش



شکل ۱۴- برهمکنش مزورایزوبیوم، گوگرد و تیوباسیلوس بر هدایت الکتریکی خاک

Fig. 14. Interaction effect of mesorhizobiums, thiobacillus and sulphur on soil EC

Meso 0: عدم استفاده؛ Meso 1: سیسری استرین اماس ۱۹۰؛ Meso 2: سیسری استرین اماس ۹

T0: عدم کاربرد باکتری تیوباسیلوس؛ T1: کاربرد باکتری تیوباسیلوس

### اسیدیته گل اشباع (pH)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده گوگرد و تیوباسیلوس و برهمکنش گوگرد و تیوباسیلوس، گوگرد و مزورایزوبیوم در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش گوگرد همراه با مزورایزوبیوم و تیوباسیلوس در سطح احتمال پنج درصد بر اسیدیته گل اشباع معنی دار گردید (جدول ۳).

مقایسه میانگین تأثیر گوگرد بر pH خاک نشان داد که اضافه کردن گوگرد باعث کاهش pH در آخر فصل رشد نسبت به شاهد گردید (شکل ۱۵). کاهش pH خاک (حتی به طور موضعی) یکی از روش‌های مؤثر و رایج مقابله با تثبیت عناصر غذایی در خاک‌های آهکی و قلیایی محسوب می‌شود. گوگرد متداول‌ترین و مقرون به صرفه‌ترین ماده اسیدزا می‌باشد ( *et al.*, 1993 ) (Tisdale).

در آزمایشی کاربرد تیوباسیلوس تیواکسیدانس به طور معنی داری (سطح یک درصد) موجب کاهش pH خاک در مقایسه با شاهد گردید ( *Ansori & Gholami*, 2014). مقایسه میانگین اثر تیوباسیلوس بر pH خاک (شکل ۱۶) نشان می‌دهد که ۰/۳۵ واحد pH خاک کاهش یافته است.

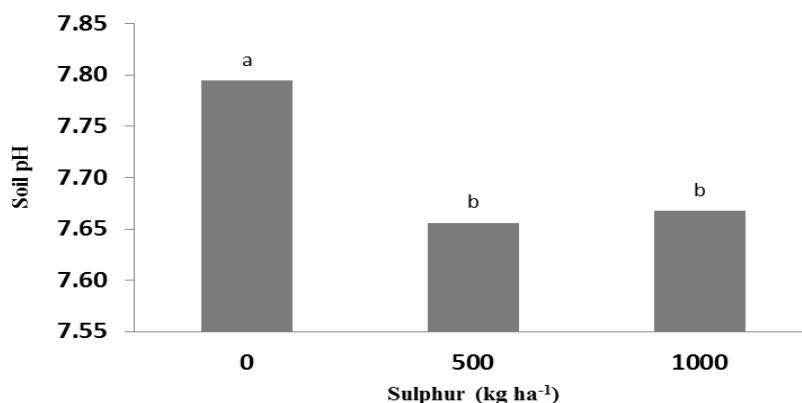
( *Mahmmodabadi et al.*, 2013) ابراز نمودند که کاربرد گوگرد به همراه باکتری‌های تیوباسیلوس، یکی از روش‌های کاهش موضعی pH می‌باشد.

Falahatgar *et al.*, (2011) نتیجه گرفتند که افزایش سطوح گوگرد و تلقیح باکتری تیوباسیلوس باعث کاهش pH خاک شد.

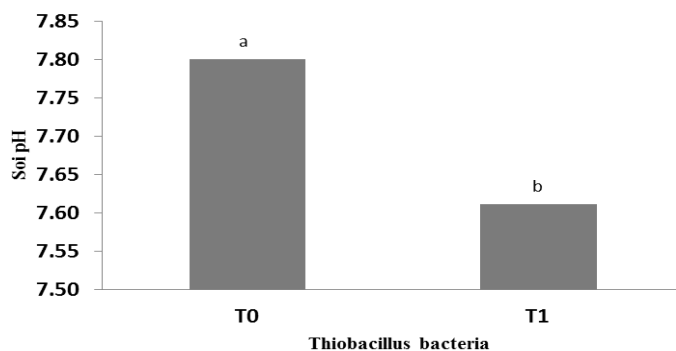
( *Amani & Reisei* 2007) نتیجه گرفتند که افزودن گوگرد منجر به کاهش pH خاک می‌شود.

مقایسه میانگین برهمکنش گوگرد و تیوباسیلوس بر pH خاک (شکل ۱۷) نشان می‌دهد که بیشترین کاهش pH خاک، مربوط به ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار همراه با باکتری تیوباسیلوس بود که چهار واحد pH نسبت به شاهد کمتر شد. باکتری‌های جنس تیوباسیلوس تیواکسیدانس اغلب شیمیولیتوتروف هستند و از ترکیبات احیاء شده گوگرد به عنوان منبع کسب انرژی استفاده می‌کنند و تعداد این باکتری‌ها در خاک کم هستند که با تلقیح این باکتری سرعت اکسایش گوگرد افزایش می‌یابد و این منجر به کاهش pH خاک می‌شود.

نتایج تجزیه آنالیز واریانس (جدول ۳) نشان داد که برهمکنش گوگرد و مزورایزوبیوم باعث کاهش pH خاک در سطح احتمال یک درصد شد. مقایسه میانگین برهمکنش گوگرد و مزورایزوبیوم (شکل ۱۸) نشان می‌دهد که بیشترین تأثیر بر pH خاک مربوط به کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار همراه با باکتری مزورایزوبیوم سیسری استرین ام اس ۱۹۰ است که منجر به کاهش چهار واحد pH خاک گردید.



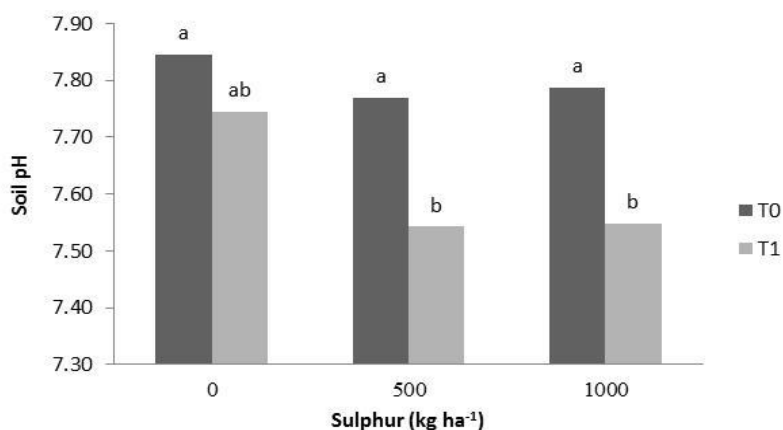
شکل ۱۵- تأثیر گوگرد بر pH خاک  
Fig. 15. Sulphur effect on soil pH



شکل ۱۶- تأثیر تیوباسیلوس بر pH خاک

Fig. 16. Thiobacillus effect on soil pH

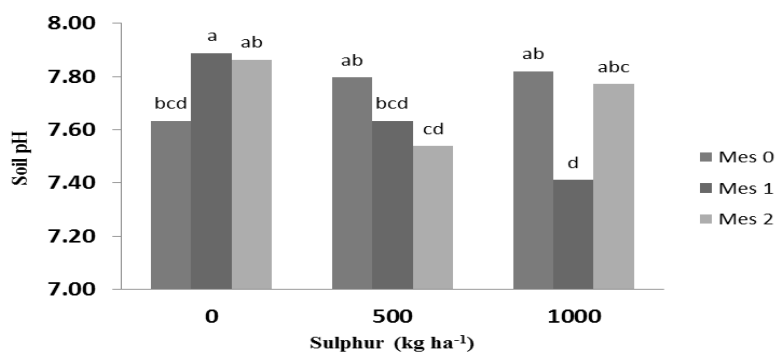
T0: عدم کاربرد باکتری تیوباسیلوس؛ T1: کاربرد باکتری تیوباسیلوس



شکل ۱۷- برهمکنش تیوباسیلوس و گوگرد بر pH خاک

Fig. 17. Interaction effect of thiobacillus and sulphur on soil pH

T0: عدم کاربرد باکتری تیوباسیلوس؛ T1: کاربرد باکتری تیوباسیلوس



شکل ۱۸- مقایسه میانگین برهمکنش گوگرد و مزورایزوبیوم بر pH خاک

Fig. 18. Interaction effect of sulphur and thiobacillus on soil pH

Meso 0: عدم استفاده؛ Meso 1: سبب استرین اماس ۱۹۰؛ Meso 2: سبب استرین اماس ۹

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر مزورایزوبیوم، تیوباسیلوس و گوگرد بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود

Table 2. Analysis of variance results of S, mesorhizobium and thiobacillus effect on yield and yield component of chickpea

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean Square)					
		ارتفاع گیاه Plant height	تعداد غلاف No of pod	طول ریشه Root length	وزن ریشه Root wt.	پروتئین دانه Seed protein	عملکرد Yield
بلوک (Block)	2	4.39	629.46	4.96	0.08	0.36	244354.30
گوگرد (S)	2	26.39 <sup>ns</sup>	2179.57**	0.96 <sup>ns</sup>	0.14 <sup>ns</sup>	4.24**	1201583 <sup>ns</sup>
باکتری مزو (M)	2	3.39 <sup>ns</sup>	648.57 <sup>ns</sup>	45.91*	0.06 <sup>ns</sup>	31.12**	15984186**
تیوباسیلوس (T)	1	9.44 <sup>ns</sup>	1369.07 <sup>ns</sup>	16.96 <sup>ns</sup>	0.10	4.58 <sup>ns</sup>	113360.09*
M*S	4	0.02 <sup>ns</sup>	937.50*	24.00 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	1.91**	11777.33**
T*S	2	11.91 <sup>ns</sup>	728.72 <sup>ns</sup>	27.56 <sup>ns</sup>	0.33*	0.09 <sup>ns</sup>	201028.78**
T*M	2	42.24 <sup>ns</sup>	1197.39 <sup>ns</sup>	17.17 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>	5.33**	4153.27 <sup>ns</sup>
M*S*T	4	33.80 <sup>ns</sup>	404.94 <sup>ns</sup>	17.56 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	0.94 <sup>ns</sup>	2442.33 <sup>ns</sup>
خطا (Error)	34	18.58	438.38	11.58	0.08	0.66	16161.52
CV		11.7	31.2	24.6	20.1	5.9	12.2

ns, \* and \*\* represent non significant, significant at  $p < 0.05$  and  $p < 0.01$ , respectively  
M= Mesorhizobium; S=Sulphur; T= Thiobacillus

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر مزورایزوبیوم، تیوباسیلوس و گوگرد بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک

Table 3. Analysis of variance results of sulphur, mesorhizobium and thiobacillus effect on soil properties

منابع تغییر (Sources of variation)	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean Square)				
		گوگرد S	فسفر P	پتاسیم K	هدایت الکتریکی EC	واکنش خاک pH
بلوک (Block)	2	29.11	3.08	408038.76	51565.39	0.03
گوگرد (S)	2	178.82 <sup>ns</sup>	3.79**	4913.00**	7276.72**	0.11**
باکتری مزورایزوبیوم (M)	2	191.03 <sup>ns</sup>	4.17**	15276.84 <sup>ns</sup>	14121.50*	0.05
باکتری تیوباسیلوس (T)	1	95.36 <sup>ns</sup>	4.72 <sup>ns</sup>	15165.00 <sup>ns</sup>	8381.06 <sup>ns</sup>	0.23**
M*S	4	1014.39 <sup>ns</sup>	0.03**	54422.68**	547.85*	0.49**
T*S	2	844.86**	3.97**	5154.00 <sup>ns</sup>	2481.46*	0.03**
T*M	2	153.41 <sup>ns</sup>	5.85**	1836.06 <sup>ns</sup>	11601.46*	0.04 <sup>ns</sup>
M*S*T	4	211.79*	5.80**	1765.02 <sup>ns</sup>	18175.57*	0.05*
خطا (Error)	34	64.05	0.50	26225.86	5646.00*	0.02
CV		19.5	25.9	10.7	19.1	1.8

ns, \* and \*\* represent non significant, significant at  $p < 0.05$  and  $p < 0.01$ , respectively  
M= Mesorhizobium; S=Sulphur; T= Thiobacillus

### نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش در این تحقیق به طور کلی نشان می‌دهد که اثر فاکتورهای مورد بررسی بر اکثر صفات زراعی نخود مثبت بود. کاربرد همزمان مزورایزوبیوم و گوگرد عملکرد گیاه مانند تعداد غلاف در بوته، پروتئین دانه و عملکرد دانه را افزایش داد. تیوباسیلوس همراه با گوگرد، باعث افزایش عملکرد دانه و وزن ریشه شد. همچنین فسفر و گوگرد قابل جذب خاک تحت تأثیر گوگرد و تیوباسیلوس افزایش یافت. اضافه کردن گوگرد، همراه با مزورایزوبیوم پتاسیم و فسفر قابل دسترس برای گیاه را افزایش داد. کاربرد مزورایزوبیوم و گوگرد باعث افزایش معنی‌دار تعداد غلاف بوته شد. تیوباسیلوس

### منابع

1. Afshari, A. 2013. Effect of raizobium bacteria and growth promoter on yields and yield components of chickpea. *Plant Production Technology* 13: 71-81. (In Persian with English Summary).
2. Aliehyaei, M., and Behbahanizadeh, A.A. 1994. *Soil Chemical Analysis Methods*. Technical Journal of Soil and Water Research. Tehran. Iran. (In Persian with English Summary).
3. Al-Karaki, G.N. 2006. Nursery inoculation of tomato with arbuscular mycorrhizal fungi and subsequent performance under irrigation with saline water. *Science of Horticulture* 109: 112.
4. Amani, F., and Reisei, F. 2007. Effect of sulphur application on amount of soil phosphorus, potassium and zinc after cultivation of two soybean varieties. 10<sup>th</sup> Soil Science Congress. Iran. Pp: 434-435. (In Persian).
5. Amani, F., Reisi, F., and Mosavei, S. 2007. Growth and yield of two soya varieties with different sulphur levels on greenhouse condition. 10<sup>th</sup> Soil Science Congress. Karaj, Iran. 436-437. (In Persian)
6. Ansori, A., and Gholami, A. 2014. Symbiotic effect of mycorrhiza, thiobacillus and sulphur on yield and growth of maize. *Journal of Soil Manegment and Sustainable Production* 4: 114. (In Persian).
7. Bao, L. 1998. *The Changes of Fertilizer Structure and Effectiveness in China*. Jaingxi Scientific and Techology Publisher, China.
8. Chapman, H.D., and Pratt, P.F. 1961. *Methods of Analysis for Soil, Plants and Waters*. University of California. Division of Agriculture. Sciences, p. 309.
9. Altaf, A.I., Khan, N.A., Anjum, I., Diva, M., Abdin Z., and Iqbal, M. 2005. Effect of timing of sulfur fertilizer application on growth and yield of rapeseed. *Journal of Plant Nutrition* 28: 1049-1059.
10. Besharati, H., and Saleh Rastein, N. 1999. Study on the effect of Thiobacillus bacteria inoculation along with sulphur on increase of available phosphorus absorbtion. *Journal of Soil and Water*. 13(1): 23-39. (In Persian with English Summary).
11. Daneshi, N., Asgharzadeh, A., and Afshari, M. 2004. Study on the effect of rhizobium inoculation on increasing micro nutrient elements on chickpea cultivation. 9<sup>th</sup> Soil Science Congress, Tehran. Soil Conservation and Watershed Research Center of the Country. (In Persian).
12. Ehteshami, M., Aghalikhani, A., Chaichei, M.R., and Khavazei, K. 2007. Effect of phosphate dissolver micro-organisms on some quantity and quality properties of maize seeds at water stress condition. 2<sup>nd</sup> National Congress of Sustainable Agriculture. Gorgan, 1-2. (In Persian).
13. Erman, M., Demir, S., Ocak, E., Tüfenkçi, S., Oğuz, F., and Akköprü, A. 2011. Effects of Rhizobium, arbuscular mycorrhiza and they applications on some properties in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under irrigated and rainfed conditions: 1- Yield, yield components, nodulation and AMF colonization. *Earth Science* 122: 14-24.

14. Falahatgar, S., Babaei, B., Besharati, H., and Cheraghi, A. 2011. Effect of different levels of sulphur and thiobacillus inoculation on yield and dry weight, chlorophyll amount and iron and zinc absorption of shoot in two soya varieties. First Congress of Science and New Technologies. Zanjan University. (In Persian).
15. Flavio, H., Gutierrez, B., Prystupa, P., and Gustavo, F. 2007. Seed number and yield determination in sulfur deficient soybean crops. *Journal of Plant Nutrition* 30: 93-104.
16. Garg, N., and Chandel, S. 2011. Effect of mycorrhizal inoculation on growth, nitrogen fixation and nutrient uptake in *Cicer arietinum* (L.) under salt stress *Turkish Journal of Agriculture* 4: 35.
17. Karimi, K., Bolandnazar, S., and Ashori, S. 2013. Effect of biological fertilizers and mycorrhiza arbuscular on yield, growth properties and green bean qualities. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Products* 23: 392-400. (In Persian with English Summary).
18. Kaplan, M., and Orman, S. 1998. Effect of elemental sulfur containing waste in a calcareous soil in Tukey. *Journal of Plant Nutrition* 21: 1655-1667.
19. Kochakzadeh, Y., and Malakoti, M.J. 2001. Study on the role of sulphur, thiobacillus, phosphate dissolver and organic matter in supplying phosphorus needs of plant from soil phosphate. *Journal of Soil and Water* 12: 243-250. (In Persian with English Summary).
20. Khosrojerdi, M., Shahsavani, Sh., Gholipor, M., and Asghari, H.R. 2013. Effect of rhizobium and mycorrhizal fungi inoculation on some nutrient uptake by chickpea at different levels of iron sulfate fertilizer. *Electrical Journal of Crop Production* 6: 71-82. (In Persian with English Summary).
21. Mahmmoadabadi, M., Rashidi, A.L., and Fekri, M. 2013. Effect of alfalfa residue, chicken manure and potassium fertilizer on some soil properties and onion yield. *Journal of Soil and Water Agriculture Science and Industry* 27: 452-461. (In Persian with English Summary).
22. Majnon Hosseini, N. 1993. Legumes of Iran. Jahad Daneshgahi. Tehran University Publisher.
23. Malakouti, M.J. 2004. Soil Fertility of Arid and Semi-arid Regions. Tarbiat Modarres University, 482 pp.
24. Malcolm, R.E., and Vaghuan, D.A. 1979. Humic substances and phosphatase activities in plant tissues. *Soil Biology Chemistry* 11: 253-259.
25. Mendel, R. 1997. Molybdenum cofactor of higher plants: Biosynthesis and molecular biology. *Planta* 203: 399-405.
26. Naderi Erfani, A., Bakhshandeh, A., Nadeian, H., and Alami, K. 2007. Study on the effect of different amount of sulphur and potassium on yield and yield components of canola on cold condition. 10<sup>th</sup> Congress of Soil Science, Karaj, Iran, Paradise of Agriculture and Natural Resources. Tehran University. P. 17. (In Persian).
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. United States Department of Agriculture Circular 939: 1-19.
28. Saini, V.K., Bhandari, S.C., and Tarafdar, J.C. 2004. Comparison of crop yield, soil microbial C, N and P, N fixation, nodulation and mycorrhizal infection in inoculated and non-inoculated sorghum and chickpea crops. *Field Crops Research* 89: 39-47. (In Persian with English Summary).
29. Sogut, T. 2006. Rhizobium inoculation improves yield and nitrogen accumulation in soybean (*Glycine max* L.) cultivars better than fertilizer. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 34: 115-120.
30. Shrivastava, U.K., Rajput, R.L., and Dwivedi, M.L. 2000. Response of soybean-mustard cropping system to sulfur and bio-fertilizers on farmer's field. *Legume Research* 23: 277-278.
31. Solemani, R., and Asgharzadeh, A. 2010 Effects of Mesorrhizobium inoculation and fertilizer application on yield and yield components of rainfed chickpea. *Iranian Journal of Pulses Research* 1: 1-8 (In Persian with English Summary).
32. Tabatabai, M.A. 1986. Sulfur in Agriculture. American Society of Agronomy Incorporation, Madison, Wis., USA.



33. Tisdale, S.L., Nelson, W.L., Beaton, J.D., and Havlin, J.L. 1993. Soil Fertility and Fertilizer. 5<sup>th</sup> Ed. Mcmillon Publishing Co., New York. 634.
34. Togay, N., Togay, Y., Cimrin, K.M., and Turan, M. 2008. Effect of Rhizobium inoculation, sulfur and phosphorus application on yield, yield components and nutrient uptake in chickpea (*Cicer arietinum* L.). African Journal of Biotechnology 7(6): 776-782.
35. Walkley, A.J., and Black, I.A. 1934. Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. Soil Science 37: 29-38.
36. Yadegari, M. 2001. Evaluation of Soybean [*Glycine Max* (L.) Merr] Seeds Inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* on Yield and Yield Components to Select the Best Combination (Inoculant-Cultivar). Tehran University, Thesis of Master of Science in Agriculture.
37. Zapata, F., and Roy, R.N. 2004. Use of Phosphate Rocks for Sustainable Agricultur. Publication of the FAO Land and Water Development Division. pp.117-122.
38. Zeng, Q.F. 1996. Researches on the effect of zinc applied to calcareous soil in cotton field. China Journal of Cotton 23: 21.

## Effect of *Mesorhizobium* and *Thiobacillus* bacteria and sulfur on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and some soil parameters

Dastorani<sup>1</sup>, S., Shahsavani<sup>2\*</sup>, Sh. & Garanjik<sup>3</sup>, Sh.

1. MSc. Student of Soil Science, Agriculture College, Shahrood University of Technology, dastorani.sakine@gmail
2. Assistant Professor, Soil Science Department, Agriculture College, Shahrood University of Technology
3. Associate Professor, Agronomy and Plant Breeding Department, Agriculture College, Shahrood University of Technology, gharanjik@hotmail.com

Received: 22 May 2016

Accepted: 25 January 2017

DOI: 10.22067/ijpr.v9i2.56126

### Introduction

Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is a low cost crop in agronomic system of semi arid to arid region overall the world. This crop due to adaptable capacity is cultivated in wide range of environmental conditions and different type of soils. Chickpea seeds contain 24-34% protein, this is 2 to 3 times more than cereals and 14 to 24% more than tuber plants. Chickpea seeds inoculation with rhizobium cause more N<sub>2</sub> fixation and increase chickpea yield. *Mesorhizobium ciceri* is one of the rhizobium genus that can have good symbiosis with this crop and fix atmospheric nitrogen up to 60-90% of crop nitrogen requirement after establishment on root crop. Therefore it could be said that biological fertilizers can increase crop production in a sustainable system. Mesorhizobium can increase chickpea seeds and ultimately increase soil Phosphorus and Zinc concentration. Researchs showed that sulphur deficiency cause decrease seed yield. Nevertheless soil sulphur supply can help seed filling and increase economic yield. The aim of this study was evaluating effect of Mesorhizobium and Thiobacillus bacteria's and sulfur on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and some soil parameters.

### Materials & Methods

In order to study the effect of *Mesorhizobium* and *Thiobacillus* bacteria and sulfur on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and some soil parameter, a field experiment was conducted at Jotai region of Khorasan Razavi province in 2013. This research was conducted as factorial based on randomized complete block design with three replications and 18 treatments. Experimental factors were three levels of sulphur (zero, 500 and 1000 kg ha<sup>-1</sup>), thiobacillus bacteria in two level (control and inoculation) and Mesoreizhobium in three levels (control, *Mesorizhobium ciceri* strain 190 and *Mesorizhobium ciceri* strain 9). Plot size was 2×4 m<sup>2</sup> and row spacing and intra-row spacing were 60 and 20 cm, respectively. Irrigation were done at every 14 days. Weed control were done manually. Disease and pest were not recorded during experiment. After harvesting the crop, plant and soil samples from each plots were collected and transported to laboratory evaluation. Analysis of variance were done by SPSS

---

\*Corresponding Author: shahsavani2001@yahoo.com

software. Figures were prepared by Excel 2007. Mean comparison of data were done for least significant difference (LSD) at 1 and 5% level of significant.

### Results & Discussion

Analysis of variance of plant height showed that main effect of sulphur on plant height were significant at  $p < 0.01$  and interaction effect of sulphur and mesorhizobium bacteria on plant height were significant at  $p < 0.05$ . These result is consistent with results of Solemani & Asgharzadeh (2010). Analysis of variance of data showed that different species of mesorhizobium bacteria had significant effect at  $p < 0.01$  on chickpea yield. Mean comparison showed that the highest seed yield ( $1146.73 \text{ kg ha}^{-1}$ ) belong to *mesorhizobium ciceri* 190 and lowest seed yield ( $971.07 \text{ kg ha}^{-1}$ ) belong to *mesorhizobium ciceri* 9. Scientific reports showed that mesorhizobium inoculation with  $25 \text{ kg ha}^{-1}$  zinc sulphate had significantly increased the number of pods in plant and hundred seed weight. Analysis of variance of root length showed that main and interaction effect of treatments were not significant on root length except in mesorhizobium that were significant at  $p < 0.05$ . Analysis of variance of seed protein showed that main effect of sulphur, mesorhizobium, sulphur and mesorhizobium and thiobacillus with mesorhizobium were significant at  $p < 0.01$ . Role of sulphur on seed protein were well understood. Analysis of variance of seed yield showed that main effect of mesorhizobium and interaction effect of sulphur and thiobacillus and sulphur and mesorhizobium on seed yields were significant at  $p < 0.01$ . Shrivastava *et al.*, (2000) showed that mesorhizobium bacteria inoculation had significant effect on soybean yield. Analysis of variance of soil sulphur showed that interaction effect of sulphur and thiobacillus had significant effect at  $p < 0.01$  on soil sulphur, phosphorus and soil pH but had no effect on soil potassium and electrical conductivity at  $p < 0.05$ . Main effect of sulphur had significant effect on soil phosphorus and soil pH at  $p < 0.01$ . However the main effect of mesorhizobium bacteria had significant effect on soil phosphorus at  $p < 0.01$ . Main effect of thiobacillus had only significant effect at  $p < 0.01$  on soil pH. The interaction effect of sulphur and mesorhizobium had significant effect at  $p < 0.01$  on soil phosphorus, soil potassium and soil pH at  $p < 0.01$ , but interaction effect of thiobacillus and mesorhizobium bacteria had only significant effect at  $p < 0.01$  on soil phosphorus. Interaction effect of all three factors had significant effect at  $p < 0.01$  on soil phosphorus and at  $p < 0.05$  on soil sulphur, EC and soil pH.

### Conclusion

Analysis of variance of data in this research showed that factors in this study had positive and significant effect on agronomic parameters of chickpea and soil physic-chemical properties.

**Keywords:** Chickpea, Mesorhizobium bacteria, Sulfur, Thiobacillus