بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه شاهرود

دانشکده کشاورزی

گروه آب و خاک

بررسی حلالیت فسفر در ریزوسفر گیاه کلزا در اثر کاربرد مقادیر مختلف گوگرد و تیوباسیلوس

مرتضی سعادت پورمقدم

اساتید راهنما:

دکتر علی عباسپور

دکتر شاهین شاهسونی

اساتید مشاور:

دکتر منوچهر قلی پور

مهندس محمد صلاحی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی شاهرود

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

شماره:
تاریخ:
ویرایش:

باسمه تعالی

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد **آقای مرتضی سعادت پور** مقدم رشته کشاورزی گرایش **علوم خاک و آب** تحت عنوان **بررسی حلالیت فسفر در ریزوسفر کلزا در اثر کاربرد مقادیر مختلف گوگرد و باکتری تیوباسیلوس** که در تاریخ ۹۲/۶/۲۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه : بسیار خوب امتیاز ۱۸/۳۰) ☑ دفاع مجدد ☐ مردود ☐

۱ـ عالی (۲۰ ـ ۱۹)
۲ـ بسیار خوب (۱۸/۹۹ ـ ۱۸)
۳ـ خوب (۱۷/۹۹ ـ ۱۶)
۴ـ قابل قبول (۱۵/۹۹ ـ ۱۴)
۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنما	دکترعلی عباسپور	استادیار	
	دکترشاهین شاهسونی	استادیار	
۲ـ استاد مشاور	دکترمنوچهر قلی پور	دانشیار	
	مهندس محمد صلحی	-	
۳ـ نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکترمسعود حکیمی تبار	استادیار	
۴ـ استاد ممتحن	دکترهادی قربانی	استادیار	
۵ ـ استاد ممتحن	حمیدرضا اصغری	دانشیار	

رئیس دانشکده : امضاء

تقدیم به

بی‌بدیل‌ترین گنجینه‌ی هستی

خانواده‌ام

که همواره مشوق و پشتیبانم بوده‌اند

تشکر و قدردانی

سپاس می گویم خداوند منان را که به من نعمت خواندن و نوشتن عطا نمود. در پایان این مرحله از تحصیل بر خود لازم می دانم که از بزرگوارانی که در طی مراحل زندگی و تحصیل یاریم نمودند قدردانی نمایم.

نخست از پدر و مادر گرامی ام تشکر و قدرانی می نمایم. آنان که دعای خیرشان حامی و پشتیبان اینجانب نه تنها در دوران تحصیل بلکه در تمام زندگی ام بود. از برادران و خواهرانم که با قبول مسئولیتهایم در خانواده فرصت تحصیل را برایم فراهم آوردندصمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

این پایان نامه تحت راهنمائیهای ارزنده و علمی اساتید گرامی ام آقای دکتر علی عباسپور و آقای دکتر شاهین شاهسونی انجام شد که در طی انجام این پایان نامه حضوری فعال داشته و بی شک بدون مساعدت و یاری ایشان انجام این تحقیق محال بوده است لذا از محبت های بی دریغ آنان صمیمانه سپاسگزارم. از اساتید مشاور پایان نامه آقای دکتر منوچهر قلی پور و آقای مهندس محمد صلاحی به سبب راهنمائیهای علمی شان تشکر و قدردانی می نمایم. و سایر دوستان و سرورانی که به نحوی از الطاف بی ریایشان بهره مند گشتم تشکر و قدردانی می نمایم.

برای همه بهترین آرزوها را دارم.

مرتضی سعادت پور مقدم

شهریور ۱۳۹۲

تعهد نامه

اینجانب مرتضی سعادت پور دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی آب و خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **بررسی حلالیت فسفر در ریزوسفر گیاه کلزا در اثر کاربرد مقادیر مختلف گوگرد و تیوباسیلوس** تحت راهنمایی آقای دکتر عباسپور و آقای دکتر شاهسونی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .

در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .

چکیده

گوگرد توام با باکتری تیوباسیلوس از جمله راهکارهای مفیدی هستند که می‌توانند به عنوان یکی از انواع کودهای زیستی بخشی از احتیاجات غذایی گیاهان را تأمین نمایند. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار برروی گیاه کلزا به اجرا درآمد. عامل اول شامل کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل در سه سطح (۰، ۸۵ و ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار) و عامل دوم شامل کود گوگرد توام با باکتری در چهار سطح (۱. عدم مصرف گوگرد (S_0). ۲. مصرف گوکرد به میزان پانصد کیلو گرم در هکتار توام با مصرف باکتری تیوباسیلوس به میزان ده کیلوگرم در هکتار (S_1). ۳. مصرف گوکرد به میزان هزار کیلو گرم در هکتار توام با مصرف باکتری تیوباسیلوس به میزان بیست کیلوگرم در هکتار (S_2). ۴. مصرف گوکرد به میزان دو هزار کیلو گرم در هکتار توام با مصرف باکتری تیوباسیلوس به میزان چهل کیلوگرم در هکتار (S_3). نتایج این تحقیق نشان داد کاربرد گوگرد توام با باکتری تیوباسیلوس باعث افزایش معنی‌دار سولفات خاک حدود ۷۶٪ و فسفر قابل دسترس خاک حدود ۳۰/۴٪ نسبت به شاهد شد. همچنین کاربرد گوگرد باعث افزایش معنی‌دار فسفر برگ و دانه، نیتروژن برگ، روی دانه و عملکرد دانه شد. کاربرد کود سوپرفسفات نیز باعث افزایش معنی دار فسفر قابل دسترس خاک، فسفر برگ و دانه و عملکرد دانه شد. کاربرد ۲۰۰۰ کیلوگرم گوگرد توام با ۲۰ کیلوگرم مایه تلقیح تیوباسیلوس در هکتار باعث کاهش ۰/۶ واحدی pH نسبت به شاهد شد. کاربرد گوگرد توام با باکتری می تواند جایگزین مناسبی برای کود سوپر فسفات جهت تامین فسفر مورد نیاز گیاه کلزا باشد.

کلمات کلیدی : کلزا، گوگرد، تیوباسیلوس، فسفر، کود سوپر فسفات تریپل، نیتروژن.

مقالات مستخرج

نقش گوگرد به همراه تیوباسیلوس بر کاهش pH یک خاک آهکی و افزایش فسفر دانه کلزا دومین همایش ملی حفاظت و برنامه‌ریزی محیط زیست، همدان، دانشکده فنی شهید مفتح همدان، ۲۴ مرداد ماه ۱۳۹۲.

بررسی امکان جایگزینی کود فسفر با گوگرد توام با تیوباسیلوس، دومین همایش ملی حفاظت و برنامه‌ریزی محیط زیست، همدان، دانشکده فنی شهید مفتح همدان، ۲۴ مرداد ماه ۱۳۹۲.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۱

فصل دوم: بررسی منابع ۷

۲-۱- خاک ریزوسفر ۸
۲-۱-۱- روشهای مطالعه تغییرات شیمیایی ریزوسفر ۹
۲-۲- غلظت فسفر در محلول خاک ریزوسفر ۹
۲-۲-۱- اثر ریزوسفر بر قابلیت جذب فسفر ۱۱
۲-۳- تغییر EC محلول خاک ریزوسفر ۱۱
۲-۴- تغییر pH خاک ریزوسفر ۱۲
۲-۵- تغییر pH خاک ریزوسفر در پاسخ به کمبود فسفر ۱۳
۲-۶- ترشحات ریشه ۱۴
۲-۶-۱- اثر ترشح اسیدهای آلی بر انحلال فسفر در خاک ریزوسفر ۱۵
۲-۷- روشهای مطالعه ریزوسفر ۱۶
۲-۸- نقش فسفر در افزایش رشد گیاه کلزا ۱۹
۲-۹- تاثیر عوامل خاکی در مقدار فسفر قابل جذب گیاه ۱۹
۲-۹- ۱- اثر pH در قابلیت جذب فسفر ۲۰
۲-۹-۲- اثر یون کلسیم بر فسفر قابل جذب در خاک ۲۰
۲-۹-۳- اثر یون آهک بر فسفر قابل جذب در خاک ۲۱
۲-۹-۴- اثر یون آهن وآلومینیم بر فسفر قابل جذب در خاک ۲۱
۲-۱۰- باکتری های حل کننده فسفر ۲۲
۲-۱۱- استفاده از خاک فسفات، گوگرد و باکتری تیوباسیلوس به جای کود شیمیایی ۲۳
۲-۱۲- گوگرد ۲۶
۲-۱۲-۱- نقش گوگرد در کاهش pH و افزایش قابلیت جذب عناصر در خاک ۲۷
۲-۱۳- اکسایش گوگرد ۲۹
۲-۱۳-۱- اکسایش بیولوژیکی گوگرد ۳۰
۲-۱۴-اثرات کاربرد گوگرد در خاکهای آهکی ۳۱
۲-۱۵- اهمیت عنصر گوگرد در گیاه کلزا ۳۴

فصل سوم : مواد و روش‌ها ۳۶

۳-۱- موقعیت محل و زمان و اجرای آزمایش ۳۷
۳-۲- خصوصیات خاک محل آزمایش ۳۷
۳-۳- مطالعات مزرعه ای ۳۷
۳-۴-اعمال کود گوگردی و باکتری تیوباسیلوس ۳۹
۳-۵- داشت ۳۹
۳-۶- نمونه برداری خاک ریزوسفری ۳۹
۳-۷- اندازه گیری فسفر و pH خاک به روش اولسون ۴۰
۳-۸- اندازه گیری عناصر فسفر و روی در نمونه گیاه ۴۰
۳-۹- اندازه گیری سولفات خاک ۴۱
۳-۱۰- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها ۴۱

فصل چهارم: نتایج و بحث ۴۲

۴-۱- اسیدیته خاک ۴۳
۴-۲- اسیدیته خاک ریزوسفری ۴۳
۴-۳- سولفات قابل جذب خاک ۴۵
۴-۴-سولفات قابل جذب خاک ریزوسفری ۴۶
۴-۵- فسفر قابل جذب خاک ۴۷
۴-۶- فسفر قابل جذب خاک ریزوسفری ۴۹
۴-۷- فسفر برگ ۵۲
۴-۸- فسفر دانه ۵۵
۴-۹-نیتروژن برگ ۵۷
۴-۱۰-روی دانه ۵۸
۴-۱۱- عملکرد دانه ۵۹
۴-۱۲-نتیجه گیری کلی ۶۰
۴-۱۳- پیشنهادات ۷۱

منابع ۶۷

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۴-۱- اثر کود گوگرد بر میزان سولفات خاک ۴۴
شکل ۴-۲- ا اثر کود گوگرد بر میزان سولفات خاک ریزوسفری ۴۵
شکل ۴-۳- اثر اثر کود گوگرد بر فسفر خاک ۴۷
شکل ۴-۴- اثر کود سوپر فسفات تریپل بر فسفر خاک ۴۷
شکل ۴-۵- اثر کود گوگرد بر میزان فسفر خاک ۵۰
شکل ۴-۶- اثر کود سوپرفسفات تریپل بر میزان فسفر خاک ریزوسفری ۵۰
شکل ۴-۷- تاثیر سطوح مختلف گوگرد بر pHخاک ۵۱
شکل ۴-۸- تاثر کود گوگرد بر pH خاک ریزوسفری ۵۱
شکل ۴-۹- اثر کود گوگرد بر میزان فسفر برگ گیاه ۵۴
شکل ۴-۱۰- اثر کود سوپرفسفات تریپل بر میزان فسفر برگ ۵۴
شکل ۴-۱۱- اثر متقابل کود گوگرد و سوپر فسفات تریپل بر فسفر برگ ۵۵
شکل ۴-۱۲- اثر کود گوگرد بر میزان فسفر دانه گیاه ۵۶
شکل ۴-۱۳- اثر کود سوپرفسفات تریپل بر فسفر دانه گیاه ..... ۵۷.
شکل ۴-۱۴- اثر کود گوگرد بر میزان نیتروژن برگ ..... ۵۸..
شکل ۴-۱۶- اثر کود گوگرد بر عملکرد دانه ۵۹
شکل ۴-۱۷-اثر کود فسفر برعملکرد ۶۰

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش ۳۷
جدول ۳-۲- جدول نقشه کشت ۳۹
جدول ۴-۱- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه ۶۳
جدول ۴-۲- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در خاک وگیاه ۶۵

فصل اول

مقدمه

مقدمه

کلزا گیاهی از خانواده *Brassicaceae* با نام علمی *Brassica napus L.* می‌باشد (عزیزی و همکاران، ۱۳۷۹). کلزا و یا دانه خردل در حدود سه هزار سال قبل از میلاد در دره ایندوس وجود داشته و استفاده از روغن آن به چند قرن قبل از میلاد مسیح بر می‌گردد. امروزه در تمام قاره های جهان روغن کلزا تولید می‌شود. بیش از نیمی از سطح زیر کشت کلزا در چین و هندوستان و بیش از ثلث آن نیز در کشورهای کانادا، بنگلادش، پاکستان و شمال اروپا کشت می‌گردد. کلزا به عنوان دانه روغنی سنتی مناطق معتدل شمالی، شناخته می‌شود و در گذشته به دلیل نامطلوب بودن ترکیب‌های روغنی و ارزش غذائی آن، مورد توجه قرار نمی‌گرفت. این دو مشکل بعضاً به مدد پیشرفت در زمینه دانش فن آوری و فرآوری و شاید مهم تر از آن به برکت دستیابی به ابزار ژنتیکی برای تغییر ترکیب روغن و کنجاله تا حد زیادی رفع شده است. با رفع این مشکلات، زمینه افزایش مداوم تولید روغن کلزا و تامین نیاز فزاینده به روغن خوراکی فراهم آمده و بسیاری از کشورها می‌توانند آن را جایگزین واردات پر هزینه روغن گیاهی از منابع خارجی نمایند (احمدی و جاویدفر، ۱۳۷۷ و احمدی، ۱۳۷۸). مصرف روغن در ایران طی سالهای اخیر به دلیل رشد جمعیت و مصرف سرانه افزایش یافته است به طوری که با در نظر گرفتن مصرف سرانه ۱۴ کیلوگرم، سالانه حدود ۷۵۰ هزار تن روغن مورد نیاز می‌باشد. این در حالی است که فقط کمتر از ده درصد از این روغن در داخل کشور تولید می گردد (خادمی و همکاران، ۱۳۷۹ و سپهر و همکاران ، ۱۳۸۲). با توجه به این مسئله تولید روغن از طریق کشت گیاه کلزا در سالهای اخیر مورد توجه قرار گرفته است. بدون شک مدیریت مصرف متعادل و موثر کود برای حصول به حداکثر عملکرد و افزایش کیفیت ضروری است (گرانت و بیلی، ۱۹۹۳). رشد، نمو و عملکرد گیاهان تحت تاثیر کمبود یا فزونی عرضه هر یک از عناصر غذایی و یا مواد سمی قرار می گیرد (امامی و نیک نژاد، ۱۳۸۳).

فسفر از عناصر اصلی مورد نیاز گیاه بوده و پس از نیتروژن، مهمترین عنصر در تولید محصول به شمار می‌آید. این عنصر در کلیه فرآیندهای بیوشیمیایی، ترکیبات انرژی‌زا و مکانیسم‌های انتقال انرژی دخالت دارد. افزون بر آن، جزئی از پروتئین یاخته بوده و به عنوان بخشی از پروتئین هسته، غشاء یاخته ای و اسیدهای نوکلئیک، نقشی ویژه دارد (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۲).

گیاه کلزایی که با کمبود فسفر مواجه باشد رشد و توسعه برگ در آن محدود می‌شود و برگها کوچکتر و با تعداد کمتر خواهند بود. علائم کمبود در هفته دوم رشد، نمایان خواهد شد زیرا جوانه-های کلزا می‌توانند مقادیر کافی فسفر را از دانه در هفته اول دریافت نمایند. وجود فسفر به مقدار کافی باعث افزایش رشد در مراحل اولیه رشد گیاه، خواهد شد و این اثر در دو هفته اول رشد نسبت به ۴ یا هشت هفته رشد، مشخص تر است. گیاهان مبتلا به کمبود ممکن است دارای رنگ تیره، سبز آبی متمایل به ارغوانی باشند. تشکیل کلروفیل و پروتئین کمتر از توسعه برگ و سلول، تحت تاثیر قرار می‌گیرد. تحت شرایط کمبود شدید فسفر، رنگ ارغوانی در نتیجه تجمع رنگدانه‌های آنتوسیانین، ایجاد می‌شود. گیاهان دارای کمبود متوسط، ممکن است به صورت نرمال به نظر برسند اما کوتاهند. اندامهای هوایی گیاه در مرحله گلدهی باید بیش از ۰/۲۴٪ فسفر داشته باشند. رشد ریشه کمتر از رشد ساقه، تحت تاثیر کمبود قرار می‌گیرد و در نتیجه باعث کاهش نسبت ساقه به ریشه، می‌شود. در شرایط کمبود شدید، ریشه و توسعه ریشه نیز محدود می‌شود. اگر چه انشعاب ریشه در خاکهای دچار کمبود، محدود می‌شود، ریشه های مویی افزایش می‌یابد. کمبود فسفر بر بلوغ و توسعه اندامهای زایشی نیز اثر می‌گذارد. کمبود متوسط فسفر ممکن است باعث تاخیر چند روزه در بلوغ گیاه شود. علاوه بر تاخیر در گلدهی، کمبود فسفر ممکن است باعث کاهش تعداد گلها و دانه در هر غلاف، گردد. کمبود فسفر همچنین ممکن است باعث مرگ برگها و ریزش زود هنگام آنها گردد که در نتیجه آن عملکرد پائین می آید. نتایج بررسیهای انجام شده در کانادا از سال ۱۹۶۰ نشان داد که گیاه کلزا خیلی بیشتر از گندم و کتان به کاربرد فسفر، عکس العمل نشان می‌دهد.

فسفر یکی از عناصر مهم در تغذیه گیاهی بوده و پس از نیتروژن بیشترین مصرف را در دنیا دارد بطوری که سالانه بیش از ۱۶ میلیون تن فسفر در دنیا (بیتن، ۱۹۹۲) و ۸۰۰ هزار تن کود فسفره در ایران مصرف می‌شود (ملکوتی، ۱۳۸۴). اما به دلیل شیمی پیچیده فسفر در خاک، تقریبا ۲۰٪ فسفر مصرف شده در کشت اول مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرد و ۸۰٪ آن در خاک تثبیت شده و به شکل غیرقابل دسترس گیاه تجمع می‌یابد (گروتز و گورینت، ۲۰۰۲)، تجمع بیش از حد فسفر منجر به کاهش عملکرد و پروتئین دانه گندم می‌گردد (کریمیان، ۱۳۷۷). از طرفی رفتار خاص این عنصر در اغلب خاکها، هم خاکهای آهکی (به خاطر Ca^{2+}) و هم خاکهای اسیدی (بخاطر Al^{3+} و Fe^{3+}) ایجاب می‌نماید که جهت حفظ تولید، همه ساله کودهای حاوی فسفر مصرف شوند (مارشنر، ۱۹۹۵). کود شیمیایی یکی از منابع مهمی است که برای تولید غذا در دسترس انسان قرار دارد. تولید جهانی غذا صرفا از طریق بکارگیری این نهاده که بازگردانیدن عناصر غذایی خارج شده از خاک توسط برداشت محصولات کشاورزی را امکان پذیر می نماید، میسر است. بدین ترتیب کودهای شیمیایی نقشی بنیادین در تداوم تولید غذا و جلوگیری از کاهش حاصلخیزی خاک به عهده دارند. با افزایش سریع جمعیت جهان و رشد فزاینده مصرف غذا، کودهای شیمیایی به صورت بخش مهم زنجیره غذایی درآمده‌اند و در کشاورزی نوین امروزی در راستای تامین غذای جهان در حال حاضر جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی وجود ندارد.

مهمترین عامل مرتبط با تولید محصول، عناصر غذایی معدنی می‌باشند که در حفظ حاصلخیزی و نیز پیشگیری از تخریب خاک نقش مهمی دارند. تامین عناصر غذایی در راستای بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاهان با مصرف کودهای شیمیایی و حفظ حاصلخیزی خاک امکان پذیر است، در عین حال چالش بزرگی که در امر تهیه غذا برای جمعیت در حال رشد وجود دارد این است که چگونه، حاصلخیزی خاک حفظ شود و آسیبی به محیط زیست نرسد. یکی از راههای مقابله با این چالش، بهبود در روشهای کوددهی است، آن چنانکه مواد غذایی در مقادیر دقیق و متوازن برای

تضمین رشد و نمو بهینه به گیاهان داده شود و از مقادیر بیش از نیاز آنها که نهایتا به محیط زیست وارد شده و آن را آلوده نماید جلوگیری شود.

در کشور ما در سالهای اخیر توسعه صنایع تولید کود و افزایش توزیع و مصرف آن، موجب افزایش عملکرد محصولات زراعی و تامین مواد غذایی و در نتیجه کاهش واردات کود و افزایش اشتغال گردیده است، با توجه به این که کشور ما دومین قطب بزرگ انرژی در دنیا بشمار می‌رود، تولید گوگرد از محصولات جانبی این بخش قابل توجه بوده است. روند استفاده از این محصول نشان دهنده نیاز به یک تحول اساسی در واحدهای تولید گوگرد با ایجاد و توسعه بخش های جدیدی به منظور جایگزینی بخش اعظم گوگرد تولیدی بصورت محصولات جدید و قابل بهره برداری بیشتر است.

با توجه به اینکه در ایران بیشتر خاک‌های قابل کشت، دارای بستر آهکی بوده و اغلب دارای پ هاش بیش از ۸ می‌باشند وقوع این امر سبب شده است که جذب بیشتر عناصر غذایی با مشکلاتی مواجه باشد، یکی از بهترین راه ها برای کاهش پ‌هاش خاک، استفاده از گوگرد به عنوان عامل اسید زا است. گوگرد عنصری، پس از اکسایش در خاک می‌تواند علاوه بر نقش تغذیه‌ای مستقیم، به دلیل تولید اسید سولفوریک، باعث کاهش پ هاش خاک گردد و به طور غیر مستقیم بر افزایش جذب برخی عناصر نقش دارد (رشیدی و کریمیان، ۱۳۷۸). مصرف گوگرد بیشتر به دلیل اثرات جانبی مفیدی که در اسیدی کردن موضعی خاک و افزایش قابلیت انحلال سایر عناصر غذایی دارد، اهمیت پیدا می‌کند، در بسیاری از خاک ها به دلیل بالا بودن پ‌هاش و فراوانی یون کلسیم، به رغم فراوانی برخی از عناصر غذایی، مقدار محلول و قابل جذب این عناصر کمتر از مقدار مورد نیاز گیاه است.

علاوه بر آن فراهمی عناصر غذایی در ریزوسفر (ناحیه ای از خاک اطراف ریشه که متاثر از ریشه است) توسط تأثیرات مرکب خصوصیات خاک، گیاه، اثرات متقابل بین ریشه و ریزجانداران و خاک اطراف آن کنترل می‌شود (بوون و روویرا ۱۹۹۲). ریزوسفر تا فاصله چند میلی متری از سطح ریشه و به طرف خاک گسترش دارد و با غلظت زیاد مواد ساده تجزیه پذیر موجود در تراوش‌های

ریشه‌ای مشخص می‌شود (لینچ و وایپس،۱۹۹۰) که وجود این مواد باعث تکثیر ریزجانداران می‌شود (فوستر، ۱۹۸۶؛ کورل و ترولاو، ۱۹۸۶) در ناحیه نوک ریشه که تراکم جمعیت میکروبی کم است (اسنووایت و زیگلر، ۱۹۸۹) تراوش های ریشه‌ای بیشتر می‌باشد (مارشنر،۱۹۹۵). عموما با افزایش فاصله از نوک ریشه، تراوه‌ها کاهش یافته ولی تراکم جمعیت میکروبی افزایش می‌یابد. بنابراین منطقه با بیشترین تراوه‌های ریشه‌ای و منطقه با بالاترین تراکم جمعیت میکروبی از نظر مکانی جدای از یکدیگر هستند. غلظت عناصر غذایی در ریزوسفر و در مقایسه با خاک غیر ریزوسفری می‌تواند افزایش یا کاهش یابد (هندریکس و همکاران، ۱۹۸۱). pH ریزوسفر بواسطه جذب نیترات توسط گیاه افزایش می‌یابد در حالیکه جذب آمونیوم pH ریزوسفر را کاهش می‌دهد. کاهش pH در ریزوسفر بقولات تثبیت کننده نیتروژن نیز دیده شده است (رامهلد،۱۹۸۶). تراوش‌های ریشه‌ای علاوه بر تامین کربن مورد نیاز ریزجانداران، از طریق کلاته کردن کربن و واجذبی عناصر کم محلولی مانند فسفر و آهن، به آزاد شدن عناصر غذایی کمک می‌کنند (دین کلاکر و مارشنر، ۱۹۹۲، گرک، ۱۹۹۴). برای مثال افزایش مقدار سیترات یا اکسالات جذب شده در ماتریس خاک، ازطریق تبادل لیگاندی و حلالیت فسفر جذب شده روی محلهای آهن و آلومینیوم سبب افزایش تحرک فسفر می‌شود (گرک و همکاران، ۲۰۰۰).

اهداف تحقیق :

۱) بررسی تاثیر متقابل کود گوگردهمراه با تیوباسیلوس و فسفر بر عملکرد کلزا.
۲) کاهش pH خاک حتی بطور موضعی جهت افزایش قابلیت جذب فسفر.
۳) استفاده از گوگرد به عنوان یک عنصر ضروری برای کلزا.
۴) بررسی تاثیر ریزوسفر بر اکسیداسیون گوگرد و حلالیت فسفر خاک.

فصل دوم

بررسی منابع

۲-۱- خاک ریزوسفر

برای اولین بار ریزوسفر به وسیله یک بیمارشناس گیاهی بنام لورنز هیلتز در سال ۱۹۰۴ به عنوان خاک مجاور ریشه‌ها که از فعالیت‌های ریشه متأثر می‌شود، تعریف شد. علاوه بر تغییرات جمعیت میکروبی و فعالیت آنها، تغییرات شیمیایی و بیوشیمیایی مختلفی از قبیل pH، پتاسیل ریداکس، اضافه شدن ترشحات ریشه و فعالیت آنزیم‌های برون سلولی در خاک ریزوسفر اتفاق می‌افتد. بنابراین، این بخش از خاک در قابلیت جذب عناصر غذایی برای گیاه و تشدید فعالیت‌های میکروبی اهمیت خاصی دارد. وضعیت این تغییرات در ریزوسفر به گونه گیاه، وضعیت تغذیه‌ای گیاه، تنش‌های مختلف و شرایط مختلف خاک بستگی دارد (هینسینجر۱۹۹۸؛ رومهلد ۲۰۰۴). فعالیت‌های ریشه از قبیل رشد و گسترش سیستم ریشه‌ای، جذب عناصر غذایی بوسیله ریشه، تنفس ریشه و ترشحات ریشه می‌توانند بطور مستقیم خصوصیات خاک ریزوسفر را تغییر دهند وسعت این تغییرات به قدرت بافری خاک بستگی دارد. تعیین مرز بین توده خاک و خاک ریزوسفری مشکل است، زیرا فرآیندهای مختلف ریزوسفر گرادیان‌های مختلفی را در خصوصیات خاک ایجاد می‌نماید. برای مثال چون فسفر ضریب پخشیدگی کمتری از نیترات دارد، گرادیان غلظت آن در ریزوسفر تندتر از نیترات ولی وسعت ناحیه تخلیه نیترات بیشتر از فسفر است (هینسینجر و همکارن ۲۰۰۴). ریشه‌های گیاهان نسبت به تنش‌های مختلف از قبیل کمبود و سمیت ناشی از برخی عناصر و توزیع غیر یکنواخت آنها پاسخ های ویژه‌ای می‌دهند که بر اثر آنها شیمی خاک و رشد میکروبی در ریزوسفر تغییر می‌کند. بنابراین، به ایجاد ریزوسفر می‌توان به این دیدگاه نگاه کرد که چگونه گیاهان بطور فعال و غیرفعال، محیط رشد خود را تغییر می‌دهند تا اثرات تنش های مختلف را به حداقل برسانند (ریان و همکاران، ۲۰۰۴). گرچه خصوصیات شیمیایی توده خاک برای رشد ریشه و قابلیت جذب عناصر غذایی خیلی مهم هستند، ولی شرایط ریزوسفر و دامنه تغییراتی که توسط ریشه‌ها ایجاد می‌شود تعیین کننده میزان جذب عناصر غذایی بوسیله ریشه هستند (چونگ و زاسوسکی، ۱۹۹۴). فعالیت ریشه می‌تواند شیمی ریزوسفر، جذب فسفر و قابلیت جذب آنرا تغییر دهد (ونگ و همکاران، ۲۰۰۴). لذا، تغذیه گیاهان

تحت تاثیر تغییرات ایجاد شده به وسیله ریشه در ریزوسفر قرار می‌گیرد و شرایط موجود در ریزوسفر در بسیاری موارد با توده خاک متفاوت است (رومهلد، ۱۹۹۰).

۲-۱-۱- روشهای مطالعه تغییرات شیمیایی ریزوسفر

کراوس و همکاران (۱۹۸۷) تخلیه فسفر و شیب غلظت فسفر را در اطراف ریشه‌های در حال رشد در خاک با روش خودپرتونگاری (اتورادیوگرافی) تعیین کردند. کوچنباخ و یونگ (۱۹۸۲) روشی را برای تعیین شیب غلظت عناصر غذایی در مجاورت ریشه‌های گیاهان ارائه کردند در روش آنان گیاه در ظرف کوچکی کشت و ریشه‌های آنها با استفاده از یک غربال از جنس پارچه نایلونی از خاک جدا می‌شدند، به طوری که فقط تارهای کشنده آنها می‌توانند از این پارچه نایلونی به خاک نفوذ نمایند. برای بررسی خاک ریزوسفر، خاک با استفاده از نیتروژن مایع منجمد شده و با استفاده از دستگاه برش نازک (میکروفوم) به لایه هایی حدود ۰/۰۶ میلی متر بریده می‌شود. گولانی و شوماخر (۱۹۹۳) برای اندازه گیری pH خاک ریزوسفر از میکرو الکترود و روش آگار استفاده کردند. جیلارد و همکاران (۲۰۰۳) روشهای مختلف اندازه گیری غلظت عناصر غذایی و pH در خاک ریزوسفر را بررسی و مزایا و معایب هر یک از روشها را بیان داشتند. نتایج بررسی آنان نشان می‌دهد هنوز یک روش استاندارد و کاملی که در سطح جهانی برای مطالعه ریزوسفر پذیرفته شده باشد، وجود ندارد.

۲-۲- غلظت فسفر در محلول خاک ریزوسفر

هاسنر و همکاران (۱۹۷۳) غلظت کمینه فسفر در محلول خاک برای رشد بیشتر برنج غرقاب را سه میکرو مولار اعلام کردند. غلظت یک یون خاص درمحلول خاک ریزوسفر بسته به غلظت آن در محلول توده خاک، سرعت انتقال آن یون به سطح ریشه و سرعت جذب آن توسط ریشه گیاه، می‌تواند کمتر، بیشتر یا مشابه محلول توده خاک باشد. غلظت فسفر در سطح ریشه، بسیار کمتر از توده خاک است که این تفاوت، شیب غلظت خاصی را پیرامون ریشه ایجاد می‌کند (مارشنر، ۱۹۹۵). ابراهیم زاده (۱۳۸۰) گزارش داد که محلول خاک ریزوسفر منبع مستقیم عناصر غذایی برای جذب گیاه می‌باشد. جیانگو و شومن (۱۹۹۱) مشاهده کردند که فسفر محلول در خاک ریزوسفر برنج کمتر از توده خاک

بود. یوآن و هونگ (۱۹۹۵) گزارش دادند که غلظت فسفر محلول در آب در محل تماس ریشه برنج به خاک کمترین مقدار برداشت و با زیاد شدن فاصله از سطح ریشه افزایش یافت. مارشنر (۱۹۹۵) بیان داشت که سرعت جذب بیشتر آب در مقایسه با یونها به انباشتگی یونها در خاک ریزوسفر منجر می‌شود. این که یک یون خاص در خاک ریزوسفر تجمع پیدا کند یا نه، بستگی به میزان جذب یون توسط ریشه‌ها و میزان عرضه آن به سطح ریشه توسط جریان توده‌ای (ناشی از تعرق) دارد. باربر (۱۹۹۵) گزارش داد که در خاکهایی که محلول خاک اشباع از سولفات کلسیم باشد، عرضه کلسیم زیاد به خاک ریزوسفر از طریق جریان توده‌ای ممکن است با تشکیل فسفات‌های کلسیم غلظت فسفر محلول در آب را کاهش دهد. اسمیت (۲۰۰۲) گزارش داد که سرعت کم پخشیدگی فسفات در خاک منجر به ایجاد یک ناحیه تخلیه فسفات در حول خاک اطراف ریشه‌های گیاهان می‌گردد. هینسینجر (۲۰۰۱) فرآیندهای شیمیایی که مستقیماً توسط ریشه‌های گیاهان ایجاد شد و غلظت فسفر محلول خاک و قابلیت جذب فسفر به گیاهان را تغییر می‌دهند را بررسی و بیان داشت که مهمترین آنها عبارتند از ۱- جذب فسفر به وسیله گیاه، ۲- فرآیندهای موثر بر pH از قبیل ترشح پروتون و یا بیکربنات و هیدروکسیل و تبادل گازهایی مثل اکسیژن و دی اکسیدکربن، ۳- ترشح لیگاندهای آلی توسط ریشه‌ها. میزان تأثیر این فرآیندها بر غلظت فسفر و قابلیت جذب آن بستگی به گونه گیاه، وضعیت تغذیه ای آن و شرایط خاک دارد. به دلیل کم بودن غلظت فسفر در محلول خاک و سهم ناچیز جریان توده ای در عرضه فسفر به ریشه‌ها، یک ناحیه تخلیه در اطراف ریشه‌ها ایجاد می‌شود.

ونگ و همکاران (۲۰۰۴ و ۲۰۰۵) دینامیک فسفر محلول در خاک ریزوسفر چند گونه گیاهی را با استفاده از روش مینی-رایزوترون[۱] مورد مطالعه قرار دادند و مشاهده کردند که میزان تخلیه فسفر از محلول خاک ریزوسفر بستگی به گونه گیاه دارد؛ به طوری که در گیاهان سویا و سوتیچ گراس[۲] هیچ اثر ریزوسفر آشکاری مشاهده نگردید؛ در حالی که در مورد سایر گیاهان غلظت فسفر محلول در خاک ریزوسفر به طور معنی داری از توده خاک کمتر بود.

۱- mini rhizotron
۲- Swith grass

۲-۲-۱- اثر ریزوسفر بر قابلیت جذب فسفر

احد و دبنات (۱۹۸۹) گزارش دادند که خاک ریزوسفر گیاهان برنج، ذرت و سویا، فسفر قابل جذب بیشتری از توده خاک داشت. گاهونیا و همکاران (۱۹۹۷) گزارش دادند که فسفر قابل جذب (قابل استخراج با بیکربنات سدیم ۰/۵ مولار) در خاک ریزوسفر رقم های گندم و جو کمتر از توده خاک بود. بوگایو و همکاران (۲۰۰۰) با کشت چند گونه گیاه در خاکهای اسیدی و مبتلا به کمبود شدید فسفر، مشاهده کردند که بر اثر تغییرات pH، قابلیت جذب فسفر (قابل استخراج به روش بری[۱]) در مجاورت ریشه‌ها ۱۹۰ تا ۲۷۰ درصد نسبت به توده خاک بیشتر بود.

۲-۳- تغییر EC محلول خاک ریزوسفر

در مطالعات ریزوسفر به تغییر هدایت الکتریکی خاک ریزوسفر کمتر توجه شده است. ریلی و باربر (۱۹۶۹) تجمع نمک در اطراف ریشه سویا را تعیین و مشاهده کردندکه غلظت نمک محلول در آب در خاک ریزوسفر افزایش می‌یابد و میزان افزایش با افزایش تعرق گیاه و میزان نمک توده خاک، زیاد می‌شود. باربر (۱۹۹۵) گزارش داد که یک گیاه یکساله مثل ذرت به طور میانگین ۲/۵ تا ۳ میلیون لیتر آب در یک هکتار مصرف می‌کند. در شرایط تعرق زیاد مقدار زیادی آب که حامل مواد محلول مختلف است، به ریشه گیاه انتقال می‌یابد. اگر این مواد به همان سرعتی که فراهم می شوند توسط گیاه جذب نشوند در اطراف ریشه گیاه تجمع می یابند. تجمع یونها در خاک ریزوسفر با سرعت تعرق گیاه همبستگی نزدیکی دارد و در خاکهای شور که حاوی غلظت بالای نمکهای محلول در آب (مثل کلرید سدیم) هستند، دارای اهمیت خاصی است؛ زیرا تجمع نمکهای مختلف در ریزوسفر سبب افزایش هدایت الکتریکی محلول خاک در نزدیکی سطح ریشه، به ویژه در تعرق های شدید، می‌شود. بنابراین، هدایت الکتریکی محلول خاک ریزوسفر ممکن است زودتر از توده خاک به سطح بحرانی برسد.

۱- Bray method

۲-۴- تغییر pH خاک ریزوسفر

pH خاک مهمترین پارامتر شیمیایی خاک است که نشان دهنده وضعیت شیمیایی کلی خاک بوده و در فرآیندهای شیمیایی و بیوشیمیایی خاک موثر است (جیلارد و همکاران، ۲۰۰۳). همچنین pH از مهمترین خصوصیات خاک است که مقدار جذب و قابلیت جذب عناصر غذایی موجود در خاک را برای گیاه فراهم می‌کند (شومن و ونگ، ۱۹۹۷). گاردنر و همکاران (۱۹۸۲) گزارش دادند که توانایی گیاه لوپن سفید در استفاده از فسفر خاک و فسفر اضافه شده به خاک با افزایش pH خاک کاهش می‌یابد. علاوه بر یونهای جذب شده به وسیله گیاه تمام یونهایی که از غشای پلاسمایی سلول های ریشه عبور می‌کنند (مثل آنیونهای آلی ترشح شده به وسیله ریشه‌های گیاه) باید در نظر گرفته شود؛ چرا که لازم است بار حاصل از همه آنها از طریق تبادل بار یعنی آزادسازی پروتون یا هیدروکسیل خنثی شود. ترشحات ریشه و تنفس ریشه می‌توانند تا حدودی در کاهش pH ریزوسفر به دلیل افزایش CO_2 یا دی‌اکسیدکربن نقش داشته باشند. دی اکسیدکربن ریزوسفر اسیدکربنیک تولید می‌کند و ممکن است در خاکهای خنثی تا قلیایی تفکیک شده و pH را مقداری کاهش دهد همچنین ریشه‌های گیاه و ریزجانداران اطراف آنها می‌توانند pH ریزوسفر را از طریق واکنشهای اکسایش – کاهش تغییر دهند. یک واحد تغییر در pH خاک، غلظت فسفر محلول را بسته به کاتیون تبادلی غالب، نوع رس، مقدار فسفر کل و قدرت یونی، ۳۰ تا ۱۰۰ درصد تغییر می‌دهد (بار یوسف، ۱۹۹۱). در خاکهایی که اکسید آهن غالب باشد، غلظت فسفر را به طور قابل ملاحظه پایین نگه می‌دارد. خوشبختانه سرعت به تعادل رسیدن با این کانی بسیار کند است. به طوری که در خاکهای زراعی به ندرت غلظت فسفر محلول خاک به وسیله این کانی کنترل می‌شود (لیندزی و همکاران، ۱۹۸۹). نی (۱۹۸۱) مدلی را ارئه نمود که با استفاده از آن می‌توان تغییرات pH خاک ریزوسفر را به طور تقریب از پروتون یا بی کربنات ترشح شده، شعاع ریشه، قدرت بافری pH، مقدار رطوبت، pH اولیه خاک و فشار جزئی گاز دی اکسید کربن محاسبه نمود. مارشنر (۱۹۹۱) گزارش داد که ممکن است pH خاک ریزوسفر تا بیش از دو واحد با توده خاک تفاوت داشته باشد. جهت و درجه تغییرات

pH و دامنه گسترش آن از سطح ریشه، بستگی به عوامل خاک (pH اولیه خاک و قدرت بافری pH خاک) و عوامل گیاه (منع یا جذب مجدد یونهای پروتون و بیکربنات، آزادسازی CO_2 توسط تنفس ریشه، ترشح ترکیبات با وزن ملکولی کم مثل اسیدهای آلی و اسیدهای آمینه توسط ریشه) دارد. کونیت و همکاران (۲۰۰۲) گزارش دادند که ریشه‌های گیاه کلزا بسته به pH اولیه خاک، pH خاک ریزوسفر را به طور متفاوت تغییر می‌دهند. آنان مشاهده کردند که pH خاک ریزوسفر در pH اولیه کمتر از ۴/۷، به طور معنی داری افزایش در حالی که درpH اولیه بیشتر از ۴/۷، کاهش می‌یابد. چایگون و همکاران (۲۰۰۲) گزارش دادند که pH خاک ریزوسفر گیاهان گوجه فرنگی، کلزا در خاک اسیدی بیشتر و در خاک آهکی کمتر از توده خاک بود. جورج و همکاران (۲۰۰۲) مشاهده کردند که با کشت ۴ گونه گیاه مختلف در یک خاک با pH اولیه ۵/۱، pH خاک ریزوسفر پتونیا[۱] و لوپن سفید[۲] کاهش و تفروزیا[۳] افزایش یافت ولی ذرت بدون تغییر باقی‌ماند.

۲-۵- تغییر pH خاک ریزوسفر در پاسخ به کمبود فسفر

بسیاری از گیاهان دارای یک پمپ پروتونی هستند و می‌توانند در پاسخ به کمبود عناصر غذایی، ریزوسفر خود را با تلمبه نمودن پروتون به آن اسیدی نمایند (کراولی و رنگل، ۲۰۰۲). فرآیندهای مختلف مؤثر بر تغییرات pH ناشی از ریشه در خاک ریزوسفر به تنش های زیست محیطی، مخصوصاً تنش های تغذیه‌ای وابسته اند و گیاهان می‌توانند به این تنش ها مثل کمبود آهن و فسفر پاسخ دهند (هینسینجر و همکاران، ۲۰۰۳). گرینستد و همکاران (۱۹۸۲) گیاه کلزا را در یک خاک مبتلا به کمبود فسفر کشت و مشاهده کردند که پس از ۱۴ روز رشد، pH خاک ریزوسفر از ۶/۵ به ۴/۱ کاهش و غلظت فسفر محلول در خاک ریزوسفر افزایش یافت. هوفلند و همکاران (۱۹۸۹) با تعیین pH با

---

۱ - Petunia
۲- Lupine white
۳-Tephrosia

روش آگار – معرف مشاهده کردند که کمبود فسفر در محیط کشت با pH اولیه ۵/۸ سبب اسیدی شدن ریزوسفر کلزا گردید در حالی که در شرایط فسفر کافی، pH خاک ریزوسفر افزایش یافت. لیو و همکاران (۱۹۹۰) گزارش دادند که pH خاک ریزوسفر برنج و گندم در خاک دارای کمبود فسفر یک تا دو واحد کمتر از خاک غنی از فسفر بود. گاهونیا و نیلسن (۱۹۹۲) مشاهده کردند که کاهش pH خاک ناشی از ریشه کلزا از ۶/۷ به ۵/۵، تخلیه فسفر معدنی را افزایش داد ولی بر فسفر آلی اثر نداشت. جیانگو و شومن (۱۹۹۱) و یوان و هوآنگ (۱۹۹۵) مشاهده کردند که در شرایط فسفر کم، ریشه برنج مقدار بیشتری پروتون ترشح کرد که این عامل ممکن است یک مکانیسم سازگاری برنج به تنش کمبود فسفر باشد. سالک و کرک (۱۹۹۵) مشاهده کردند که با افزایش کمبود فسفر در خاک، نسبت ماده خشک ریشه به اندام های هوایی و نسبت مادهٔ خشک اندام های هوایی به فسفر کل، همچنین جذب اضافی کاتیون ها نسبت به آنیونها در واحد مادهٔ خشک گیاه افزایش و متقابلاً آزاد شدن H^+ به خاک نیز افزایش یافت و pH بیشتر کاهش یافت. تانج و همکاران (۲۰۰۴) گزارش دادند که pH خاک ریزوسفر لوپن در شرایط کمبود فسفر کمتر از شرایط با فسفر کافی بود. غلظت کلسیم و منیزیم در گیاهان مبتلا به کمبود فسفر بیشتر و غلظت گوگرد کمتر از گیاهان با فسفر کافی بود. آنان بین میزان کاهش pH خاک ریزوسفر و غلظت کاتیونها در گیاه همبستگی معنی داری به دست آوردند. بنابراین، کاهش pH خاک ریزوسفر به ترشح پروتون از ریشه‌ها نسبت داده شد. آکینریندە و همکاران (۲۰۰۴) با کشت ۷ رقم لوبیا چشم بلبلی در یک خاک اسیدی با pH ۳/۸ مشاهده کردند که pH ریزوسفر این رقم ها و میزان ترشح سیترات در نواحی نوک ریشه در شرایط کمبود فسفر افزایش یافت.

۲-۶- ترشحات ریشه

اهمیت ترشحات ریشه گیاه و ریزجانداران خاک در تغذیه گیاه به خوبی ثابت شده و ممکن است قسمتی از تفاوت های گونه های مختلف گیاهی و رقم های زراعی ناشی از این عامل باشد (کراولی و رنگل، ۲۰۰۲). ترشحات ریشه گیاه شامل مخلوط پیچیده‌ای از آنیونهای آلی،

فیتوسیدروفورها، قندها، ویتامینها، اسیدهای آمینه، پورینها، یونهای معدنی (مثل HCO_3^-، OH^- و H^+)، مولکولهای گازی (CO_2 و H_2)، آنزیم ها و سلولهای ریزان ریشه است که اثرهای مستقیم و غیرمستقیم بر جذب عناصر غذایی ضروری برای رشد گیاه دارند. آنزیم های برون سلولی فسفر را از ترکیبات آلی آزاد می‌کنند (کراولی و رنگل،۲۰۰۲). مقدار کربنی که به صورت ترکیبات آلی مختلف در ریزوسفر آزاد می‌شود بسته به گونه گیاه، سن گیاه و شرایط محیطی متفاوت است (لینچ و ویپ، ۱۹۹۰). سرعت آزاد شدن و نوع ترشحات ریشه تحت تأثیر تغییرات شدت نور، دمای خاک، سن گیاه و حضور و عدم حضور ریزجانداران خاصی قرار دارد (مارشنر، ۱۹۹۵).

۲-۶-۱- اثر ترشح اسیدهای آلی بر انحلال فسفر در خاک ریزوسفر

ترشح اسیدهای آلی توسط ریشه گیاه می‌تواند در تغذیه فسفر گیاه نقش مفیدی داشته باشد، بدین ترتیب که گیاه را قادر می‌سازد به شکلهایی از فسفر دسترسی پیدا کند که برای گیاهانی که این اسیدها را ترشح نمی‌کنند، غیر قابل استفاده باشد. انحلال و آزادسازی فسفر در خاک ها توسط اسیدهای آلی ترشح شده از ریشه‌ها، ممکن است ناشی از یک یا چند سازوکار زیر باشد (بار یوسف ۱۹۹۱؛ مارشنر ۱۹۹۵؛ کرک، ۱۹۹۹). ۱- جایگزین شدن آنیونهای آلی به جای فسفات بصورت جذب سطحی، ۲- تغییر خصوصیات سطح ذرات خاک، ۳- تشکیل کیلیت با یونهای فلزی که مانع از رسوب فسفات با فلز می‌شود، ۴- کاهش pH. داکورا و فیلیپس (۲۰۰۳) و کراولی و رنگل (۲۰۰۲) گزارش دادند که اسیدهای آلی ترشح شده از ریشه می‌توانند فسفاتهای آلومینیوم، آهن و کلسیم غیر قابل جذب خاک را محلول نمایند. ناقاراجا و همکاران (۱۹۷۰) گزارش دادند که اسیدهای آلی از نظر میزان تحرک بخشی فسفر خاک با یکدیگر تفاوت دارند، تحرک بخشی فسفر به وسیله اسیدسیتریک بیشتر از بقیه اسیدهای آلی بود. گاردنر و همکاران (۱۹۸۳) گزارش دادند که مقدار زیادی سیترات توسط ریشه گیاه لوپن ترشح می‌شود که با فسفات هیدروکسی فریک کمپلکس تشکیل داده و به سطح ریشه انتشار می‌یابد. بر اثر عمل عامل های احیا کننده در سطح ریشه، این کمپلکس تجزیه شده و آهن فرو

جذب می‌گردد و برای تعادل بار، پروتون به بیرون ریشه ترشح می‌شود. لس و همکاران (۱۹۹۳) گزارش دادندکه آزاد شدن پروتون به همراه اسیدهای آلی به خاک باعث اسیدی شدن ریزوسفر می‌شود. پیترسن و باتجر (۱۹۹۱) محاسبه کردند که ۰.۵ درصد اسیدی شدن ریزوسفر ذرت ناشی از ترشح اسیدهای آلی بود. لیپتون و همکاران (۱۹۸۷) و هوفلند و همکاران (۱۹۸۹) گزارش دادند که گیاهان مورد مطالعه در پاسخ به کمبود فسفر مقدار بیشتری اسیدهای آلی از جمله سیترات، مالات و سوکسینات به محیط اطراف ریشه ترشح کردند. دینکلاکر و همکاران (۱۹۸۹) لوپن سفید را در یک خاک آهکی کشت و پس از ۱۳ هفته رشد، pH و غلظت سیترات را در خاک ریزوسفر و توده خاک تعیین و مشاهده کردند که pH خاک ریزوسفر ۴/۸ و توده خاک ۷/۵ بود و غلظت سیترات در خاک ریزوسفر ۴۷/۷ میکرومول بر گرم خاک و در توده خاک ناچیز بود. گریرسون (۱۹۹۲) مشاهده کرد که بخش عمده‌ای از کل اسیدهای آلی را اسید سیتریک تشکیل می‌داد و اسیدمالیک و آکونیتیک به مقدار کمتری وجود داشتند. جونز و همکاران (۱۹۹۴) گزارش دادند که اسیدهای آمنیه ترشح شده به ریزوسفر در جذب عناصر غذایی نقش کمی دارند؛ چون قدرت کمپلکس کنندگی آنها خیلی کم است از طرفی ریشه‌ها قادرند بیش از ۹۰٪ اسیدهای آمینه ترشح شده را دوباره جذب نمایند (جونز و دارا، ۱۹۹۳). لیو و همکاران (۱۹۹۰) با جداسازی اسیدهای آلی از خاک ریزوسفر برنج، نشان دادند که ۳۷ تا ۶۱ درصد اسید سیتریک بیشتری در شرایط کمبود فسفر ترشح شده و این امر باعث افزایش حلالیت سنگ فسفات به میزان ۵۳ تا ۱۰۳ درصد گردیده بود. کرک و سانتوس (۱۹۹۹) گزارش دادند که غلظت آنیون های آلی با وزن مولکولی کم در خاک ریزوسفر گیاهان برنج بیشتر از توده خاک بود.

۲-۷- روش های مطالعه ریزوسفر

یک روش ساده برای مطالعه ریزوسفر، مقایسه خاک گرفته شده از درون سیستم ریشه با خاک گرفته شده از فواصل دورتر از سیسستم ریشه‌ای است. این روش برای مثال نشان داده است که جوامع میکروبی بین خاک متأثر از ریشه و خاک بدون ریشه متفاوت است (کوسکه و همکاران، ۲۰۰۲). به هر حال این روش خاک داخل سیستم ریشه را به عنوان یک توده یکنواخت مورد توجه

قرار می‌دهد در حالیکه آزمایشات نشان داده اند که خصوصیات خاک در طول محور ریشه‌ها و نیز به صورت شعاعی تفاوت می‌کند (بادوئین و همکاران، ۲۰۰۲). به علاوه به نظر می رسد عملی کردن این روش در اکوسیستم هایی با تنوع زیستی زیاد و یک پوشش گیاهی پیوسته که ریشه‌های انواع گونه ها درهم آمیخته اند بسیار مشکل باشد (هر چند که عملی است) (نونان و همکاران، ۲۰۰۵). یک روش عمومی دیگر خارج کردن گیاه به همراه ریشه‌های آن از خاک و تکان دادن سیستم ریشه با خاک اطراف آن است خاک چسبیده به ریشه به عنوان ریزوسفر و خاک جدا شده با تکان آرام و نرم به عنوان توده خاک در نظر گرفته می‌شود این روش تفاوتهایی را در خصوصیات بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی این دو نوع تیپ خاک نشان داده است (باتلر و همکاران، ۲۰۰۳). به هر حال این روش فقط این دو حجم مشخص را مجزا می‌کند در حالیکه ریزوسفر واقعی از شیب ها و گرادیان‌های پیوسته‌ای تشکیل شده است و خصوصیات اندازه گیری شده در این دو حجم خاک ممکن است که خصوصیات واقعی ریزوسفر و توده خاک را منعکس نکند. لذا این جداسازی، تنوع پروفیل‌ها یا نیمرخ‌های شیب املاح در اطراف ریشه‌ها را منعکس نمی‌کند و از طرفی جدا کردن کامل خاک و ریشه‌ها و به خصوص ریشه‌های موئین و ریز بسیار مشکل و وقت گیر است. روش‌های دقیق تر این توانایی را برای آنالیز و تجزیه و تحلیل شیب‌های ریزوسفری به وسیله رویاندن گیاه در گلخانه فراهم می‌کنند. با استفاده از سیستم های رایزوترون امکان تهیه خاک از محل ها و نقاط دقیق در طول و عرض محور ریشه‌ها فراهم می‌شود با استفاده از این سیستم ها نورتون و همکاران (۱۹۹۰) متوجه شدند که غلظت ترشحات کربن در خاک قرار گرفته در فواصل بیش از ۵ میلی متر از سطح ریشه در مقایسه باخاک نزدیک به سطح ریشه، به طور معنی داری کمتر است. از آنجائیکه این روش اجازه می‌دهد اثرات ریشه روی خاک را ترسیم و نقشه برداری کنیم بسیار جالب است ولی برای بدست آوردن و کسب معیار دقیق از آنچه که در فواصل دورتر از ریشه‌ها اتفاق می‌افتد نیاز به تهیه مقدار کافی نمونه خاک می‌باشد که لازم است نمونه های گرفته شده از اطراف ریشه‌های مختلف مخلوط شوند که باعث ایجاد خطای زیاد می‌شود. لازم به توضیح است که روش های غیر تخریبی، برای مطالعه خاک ریزوسفری

گیاهان کشت شده در شرایط طبیعی و آزمایشگاهی انجام شده است مثل روش های اتورادیوگرافی با عناصر رادیوایزوتوپ، این چنین روش ها ترجیح داده می شوند ولی اطلاعاتی در خصوص فرم و شکل عناصر (محلول، تبادلی،...) بدست نمی‌دهند. برای رسیدن به این هدف جمع کردن و گردآوری فیزیکی خاک ریزوسفری ضروری و اجتناب ناپذیر است (عدم وجود تفاوت ها در ظواهر مرفولوژیکی بین خاک ریزوسفری و توده خاک نیز جمع آوری خاک ریزوسفری را ضروری می‌کند). نهایتاً دقیق ترین روش‌ها احتمالاً، شامل گیاهان رویانده شده داخل ریشه دان (rhizobox) و نایلون مشبک که جدا کننده ریشه‌ها و توده خاک هستند می‌باشد و امکان برش خاک به قطعات و قسمت های نازکی که موازی شبکه ریشه هستند را فراهم می‌کند. این روش اجازه می‌دهد غلظت‌ها یا فعالیت بیولوژیکی در تمام قطعات یا تکه‌های خاک بریده شده را اندازه بگیریم و بنابراین می‌توانیم نیم رخ ها یا پروفایل-هایی از غلظت ترکیبات مختلف را به عنوان تابعی از فاصله از شبکه ریشه بدست آوریم (کوچنباخ و جونگ، ۱۹۸۲). اگرچه این تکنیک برای کسب اطلاعات کیفی از ریزوسفر بسیار خوب است ولی مشخص است که یک ریزوسفر واقعی نیست، توسعه و فعالیت مقدار زیادی از ریشه‌ها در نایلون مشبک یک شبه ریزوسفر را بوجود می آورد. این روش اخیر هم تحت شرایط آزمایشگاهی و گلخانه انجام می‌شود، ممکن است بعضی خواص و خصوصیات مهم مانند تغییرات ریزوسفر در اثر تغییرات محیطی (مثل ظرفیت و مقدار آب خاک) را نادیده بگیرد. تمام این روش‌ها و تکنیک های متفاوت اطلاعات ارزشمندی را در مورد خصوصیات مکانی (فضائی) ریزوسفر فراهم می‌کند و تحقیقات کمی روی تغییرات زمانی ریزوسفر تمرکز کرده اند (تائو و همکاران،۲۰۰۳). مک گرات وهمکاران (۱۹۹۷) برای تهیه خاک ریزوسفری از ریزوباکس استفاده کردند. آنها خاک را داخل یک کیسه تشکیل شده از نایلون مشبک که قادر بود مانع از نفوذ و عبور ریشه شود قرار دادند (ریزوبگ) این کیسه سپس در مرکز یک گلدان پلاستیکی بزرگتر که با خاک مشابه پر شده بود قرار داده شد. پس از رشد و رویش گیاه و سپس برداشت گیاه، خاک داخل ریزوبگ به عنوان ریزوسفر و خاک خارج از آن به عنوان توده خاک در نظر گرفته شد.

۲-۸- نقش فسفر در افزایش رشد گیاه کلزا

فسفر در مراحل اولیه رشد کلزا در ایجاد یک سیستم ریشه ای قوی و سالم و توسعه ریشه‌های ثانویه نقش بسزایی دارد. پتاسیم تحمل گیاه را نسبت به امراض، سرما و خشکی بیشتر و تولید نشاسته و کربوهیدراتها را افزایش می‌دهد. همچنین سبب افزایش استحکام گیاه می گردد (خادمی و همکاران، ۱۳۷۹). فسفر نقش مهمی در بهبود کیفیت و کمیت دانه های روغنی از جمله کلزا دارد (سیلسپور و بانیانی ۱۳۷۹). این در حالی است که زراعت کلزا باید از منابع کافی فسفات برای توسعه و ریشه دهی زودتر و تولید شاخ و برگ بیشتر در مدت زمان کوتاه برخوردار باشد (ملکوتی و سپهر ۱۳۸۲).

تامین فسفر در کشت کلزا یکی از مهمترین عوامل تولید محصول با کیفیت و کمیت بالا می‌باشد. کلزا نیز مانند دیگر گیاهان خانواده چلیپائیان نیاز زیادی به فسفر دارد. مصرف فسفر غیر از تاثیر در مراحل توسعه ریشه و شاخه زایی در مراحل زایشی و پر شدن دانه نیز بسیار موثر است. مصرف بیش از حد فسفر نه تنها باعث افزایش محصول نمی‌گردد بلکه به تدریج در خاک نیز تثبیت می‌شود. علاوه بر آن مصرف بیش از حد این عنصر در شرایط کمبود آب و خشکسالی موجب تشدید تنش خشکی و اسمزی و کاهش محصول می‌گردد. کمبود آن علاوه بر کاهش تشکیل شاخه‌های جدید و از بین رفتن گلها موجب ضعف عمومی قسمتهای زایشی گیاه و بروز سایر کمبودها در کلزا را موجب میگردد. فسفر مورد نیاز کلزا بستگی به مقدار آن در خاک و میزان معدنی شدن آن درخاک دارد (آستارایی و کوچکی، ۱۳۷۵ و ملکوتی و سپهر، ۱۳۸۲).

۲-۹- تأثیر عوامل خاکی در مقدار فسفر قابل جذب گیاه

جذب فسفر و قابلیت جذب آن توسط گیاه تابع عوامل متعددی است. اثرات این عوامل همیشه توام می‌باشد به طوریکه امکان مطالعه جداگانه آنها از نظر تئوری بسیار ضعیف است. در اینجا عوامل عمده‌ای که در قابلیت جذب فسفر مؤثرند تشریح می شود (کوچکی، ۱۳۶۱).

۲-۹-۱- اثر pH در قابلیت جذب فسفر

یون‌های محلول در خاک تابع pH می‌باشند. هنگامی که pH خاک به کمتر از ۵/۵ تنزل پیدا کند آهن و آلومینیم محلول به مقدار قابل توجهی افزایش یافته و فسفر را به صورت فسفات آهن و آلومینیم تثبیت می‌نمایند (محمودی، ۱۳۷۷). آهن و آلومینیم کلوئیدهایی تشکیل می‌دهند که این کلوئیدها تدریجاً طی چندین ماه تا چندین سال به کریستال های مربوط یعنی واریسایت و استرنگیت تبدیل می‌شود (محمودی، ۱۳۷۸). با تبدیل فسفات‌های کلوئیدی به فسفات‌های کریستالیزه قابلیت استفاده از فسفر یا قابلیت جذب فسفر به وسیله گیاه شدیداً کاهش یافته و از رشد گیاه نیزکاسته می‌گردد. بهترین pH از نظر جذب فسفر ۶ تا ۷ می‌باشد. در pH بالای ۷ مقداری یون OH^- وجود دارد که باعث تبدیل $H_2PO_4^-$ به یون HPO_4^{-2} و آب می‌گردد و از آنجا که یون HPO_4^{-2} نسبت به یون $H_2PO_4^-$ با سهولت کمتری به وسیله گیاه جذب می‌شود در نتیجه یون HPO_4^{-2} بیشترین یون محلول در خاک را به وجود می آورد با توجه به این نکته که قابلیت استفاده HPO_4^{-2} نسبت به $H_2PO_4^-$ کمتر است، علت کاهش قابلیت استفاده فسفر در خاکهای قلیایی تا حدودی ناشی از تبدیل $H_2PO_4^-$ به HPO_4^{-2} در اثر یون های هیدروکسیل می‌باشد (محمودی، ۱۳۷۷).

۲-۹-۲- اثر یون کلسیم بر فسفر قابل جذب درخاک

در خاک‌های قلیایی و آهکی فعالیت یون کلسیم زیاد است، یون کلسیم در واکنش با فسفر محلول در خاک باعث کاهش فسفر قابل جذب در خاک می‌گردد. یون یک ظرفیتی ارتوفسفات ($H_2PO_4^-$) قابل جذب در گیاه در واکنش با یون کلسیم خاک تبدیل به فرم کم محلول‌تر خود یعنی دی کلسیم فسفات می‌گردد. بالا بودن غلظت یون کلسیم و فعالیت این یون در خاک‌های آهکی و قلیایی باعث کاهش بیشتر یون فسفر قابل جذب در خاک شده و با تبدیل فسفر کم محلول به فسفر نامحلول نهایتا در خاک تثبیت می‌گردد. یون کلسیم به هر حال مطابق رابطه زیر باعث تشکیل تری کلسیم فسفات و

یا دیگر فسفات‌های قلیایی مانند هیدروکسی، کربنات و یا حتی فلور آپاتیت می‌شود (سالاردینی، ۱۳۷۱).

$$Ca(H_2PO_4)_2 + 2Ca^{2+} \longrightarrow Ca_3(PO_4)_2 + 4H^+ \qquad (۱-۲)$$

۲-۹-۳- اثر آهک بر فسفر قابل جذب خاک

در خاک‌های آهکی و قلیایی، آهک خاک در تثبیت فسفر دخالت دارد. یون فسفر محلول خاک وقتی با کلسیم سطحی کربنات کلسیم ($CaCO_3$) که در فاز جامد است تماسی حاصل کند مطابق رابطه زیر بر روی سطح ذرات کربنات کلسیم رسوب می‌کند.

$$Ca(H_2PO_4)_2 + 2\,CaCO_3 \longrightarrow Ca_3(PO_4)_2 + 2CO_2 + 2H_2O \qquad (۲-۲)$$

مقدار رسوب بستگی به سطح ویژه ذرات آهک و غلظت یون فسفات در محلول دارد هر چقدر ذرات کربنات کلسیم (آهک) ریزتر باشد و در نتیجه سطح ویژه آن زیادتر باشد مقدار کلسیم فعال آن بیشتر و تثبیت فسفر بیشتر خواهد بود (سالاردینی، ۱۳۶۲).

۲-۹-۴- اثر یون آهن و آلومینیم بر فسفر قابل جذب خاک

در خاک‌های اسیدی، مقدار قابل توجهی یون های آهن، آلومینیم و منگنز در محلول خاک وجود دارد تماس این یون ها با فسفات باعث تشکیل رسوب شده و بنابراین قابلیت جذب فسفر خاک کاهش می‌یابد. واکنش شیمیایی که بین آهن و آلومینیم با فسفات صورت می‌گیرد کاملاً روشن نیست ولی تشکیل ترکیبات هیدروکسی فسفات‌ها مطابق رابطه زیر مورد تأیید اکثر دانشمندان است (سالاردینی، ۱۳۶۲).

$$Al^{3+} + H_2PO_4^- + 2H_2O \longrightarrow Al(OH)_2.H_2PO_4 \qquad (۳-۲)$$

در خاک‌های خیلی اسیدی غلظت یون های آهن و آلومینیم به مقدار زیادی از یون فسفات بیشتر است. بنابراین واکنش بیشتر در جهت راست یعنی تشکیل ترکیبات غیر محلول سوق داده

می‌شود. در نتیجه فقط مقدار ناچیزی یون ($H_2PO_4^-$) که بتواند فوراً مورد استفاده گیاه قرار گیرد در محلول خاک باقی می ماند. وقتی توده فسفری محتوی مونوکلسیم فسفات به خاک افزوده شود در خاک‌های اسیدی و حتی قلیایی این ترکیب از اطراف خود آب جذب می‌کند و طبق رابطه زیر اسید فسفریک آزاد می‌نماید.

$$Ca(H_2PO_4)_2 + 2H_2O \longrightarrow CaHPO_4.2H_2O + H_3PO_4 \qquad (۴-۲)$$

اسید فسفریک حاصله قادر است مقدار قابل توجهی کلسیم، آهن، آلومینیم و منگنز خاک را حل کرده و با آنها ترکیبات کمپلکس فلزی تشکیل دهد که بعداً به هیدروکسی فسفات‌های آهن، آلومینیم و منگنز در خاک‌های اسیدی و هیدروکسی فسفات کلسیم در خاک‌های آهکی تبدیل خواهد شد. از این جهت با افزودن آهک به خاک‌های اسیدی و افزایش pH خاک به حالت مطلوب تر برای کاهش تثبیت فسفر می‌توان اقدام نمود. قدرت تثبیت کنندگی فسفر در سه نوع از خاک‌های اسیدی نیوجرسی آمریکا با به کار بردن آهک و رساندن pH خاک به حالت خنثی از تثبیت فسفر توسط خاک کاسته می‌شود (سالاردینی، ۱۳۷۱).

۲-۱۰- باکتری‌های حل کننده فسفات

باکتری‌ها نسبت به قارچ‌ها در انحلال فسفر مؤثرترند (علم و همکاران، ۲۰۰۲). در بین جوامع میکروبی خاک، باکتری‌های حل کننده فسفات ۱ تا ۵۰ درصد و قارچ‌ها ۰/۱ تا ۰/۵ درصد توانایی انحلال دارند (چن و همکاران، ۲۰۰۶). سویه‌هایی از جنس *Pseudomonas*، *Bacillus* و *Rhizobium* به عنوان توانمندترین حل کننده‌های فسفر هستند (وایتلو، ۲۰۰۰). تعداد باکتری‌های حل کننده فسفات به شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک، ماده آلی، مقدار فسفر موجود درخاک و فعالیت‌های زراعی بستگی دارد (کیم و همکاران، ۱۹۹۸). در شمال ایران، جمعیت باکتری‌های حل کننده فسفات در حدود ۰ تا ۱۰۷ سلول در هر گرم خاک می‌باشد که ۳/۹۸ درصد از جمعیت کل باکتری‌هاست (فلاح، ۲۰۰۶). روابط همزیستی بین باکتری‌های حل کننده فسفات و گیاهان یک رابطه سینرژیستی

است. همانگونه که باکتری فسفر محلول را در اختیار گیاه قرار می‌دهد گیاهان هم، ترکیبات کربنه را برای باکتری فراهم می‌کنند که برای رشد باکتری استفاده می‌شود (پرز و همکاران، ۲۰۰۷).

میکروارگانیسم‌های ریزوسفر توانایی گیاهان را برای جذب عناصر غذایی از خاک، از طریق افزایش سامانه ریشه‌ای (به عنوان مثال با افزایش هیف قارچ) یا حلالیت عناصر ضروری پرمصرف نظیر فسفر یا سولفور افزایش می‌دهند (باکیو و همکاران، ۲۰۰۷).

میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات و سایر میکروارگانیسم‌هایی که به طرق مختلف باعث حل شدن فسفات می‌شوند، می‌توانند به عنوان عوامل مؤثر در بهبود تأثیر خاک فسفات، در خاک به کار روند. مکانیسم اثر میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات در انحلال فسفات‌های نامحلول پیچیده است، ولی براساس نظر محققان، این میکروارگانیسم‌ها با اکسیداسیون ناقص قندها، اسیدهای آلی تولید می‌کنند که باعث کاهش pH محیط می‌شود (کیانی راد، ۱۳۷۴). با ترشح ترکیبات قندی در منطقه ریشه، توسط گیاهان میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات فعالیت خود را تشدید کرده و با تولید اسیدهای آلی موجب کاهش pH در محدوده اطراف خود شده و اسید تولید می‌کنند. اسید حاصل طی انجام واکنش با یون کلسیم اثر آن را در غیر فعال کردن فسفر خنثی می‌کند (کیانی راد، ۱۳۷۴). به غیر از تأثیر اسیدهای آلی در انحلال فسفات‌های نامحلول نمی‌توان اثر واکنش آنزیمی به ویژه آنزیم‌های گروه فسفاتاز تولید شده توسط برخی از این میکروارگانیسم‌ها را از نظر دور داشت. این آنزیم‌ها نقش اصلی را در معدنی شدن فسفر آلی در خاک بازی می‌کنند.

۲-۱۱- استفاده از خاک فسفات، گوگرد و باکتری تیوباسیلوس به جای کودهای شیمیایی:

در شرایط مناسب از نظر درجه حرارت، رطوبت و تهویه گوگرد توسط باکتریهای تیوباسیلوس (و سایر ریزجانداران) به سولفات تبدیل می‌شود و از اکسیداسیون گوگرد توسط باکتریهای اکسید کنندهٔ آن اسید سولفوریک تولید می‌شود که با خاک فسفات واکنش داده و تولید مواد محلول تری مانند دی و مونوکلسیم فسفات می‌کند (استیونسون و کول، ۱۹۹۹).

نتایج استفاده از خاک فسفات در خاک‌های اسیدی نشان داده است که خاک فسفات در این خاکها می‌تواند فسفر مورد نیاز گیاه را تأمین نماید (زویسا و همکاران، ۲۰۰۱). اما در خاک‌های آهکی و قلیایی که قسمت اعظم خاک‌های ایران را تشکیل می‌دهند، به علت pH بالا و وجود یون کلسیم، حلالیت فسفر همانند عناصر غذایی کم مصرف پایین است (خاوازی و ملکوتی، ۱۳۸۰). بنابراین برای استفاده مستقیم از خاک فسفات در این خاکها اعمال برخی تیمارها ضروری است (ناراماسامی و بوسواس، ۲۰۰۲). در pH بالاتر از ۷/۵ (خاک‌های آهکی) که عموماً یون کلسیم فعال فراوانی حضور دارد، ترکیبات نامحلول عمدتاً به صورت فسفات‌های کلسیم می‌باشند.

بهترین pH برای جذب فسفر به وسیله گیاه ۶/۵ می‌باشد (ملکوتی و همایی، ۱۳۷۲). کاربرد خاک فسفات به تنهایی در خاک‌های آهکی مناسب نیست، چون به طور طبیعی و بدلیل فراوانی یون کلسیم واکنش به سمت تشکیل آپاتیت خواهد بود. در این راستا محققین زیادی تلاش کرده اند با استفاده از گوگرد و باکتری های اکسید کنندهٔ گوگرد، میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات، مواد آلی و بالاخص جنس تیوباسیلوس کارایی استفادهٔ مستقیم از خاک فسفات را در خاکهای آهکی افزایش دهند (کیتامس و آتویه، ۱۹۸۷ و نورقلی پور و همکاران، ۱۳۷۹).

به علت نقش مواد آلی در افزایش توده زنده میکروبی، ارتباط مستقیمی بین میزان حلالیت خاک فسفات و مواد آلی وجود دارد (هی و همکاران، ۱۹۹۶).

میزان فسفر قابل استفاده در خاک فسفات در نتیجهٔ مخلوط کردن آن با گوگرد افزایش می‌یابد. بنابراین مخلوط کردن آن با خاک فسفات جهت کاهش pH خاک و فراهم نمودن یک منبع فسفر قابل جذب در خاک توصیه می‌گردد (پنکین، ۱۹۷۷). لطف اللهی و همکاران (۱۳۷۹) بیان کردند، استفاده از خاک فسفات همراه با گوگرد وتیوباسیلوس باعث افزایش معنی دار عملکرد ذرت نسبت به شاهد گردید و با سوپر فسفات تفاوت معنی داری نشان نداد.

روزا و همکاران (۱۹۸۹) گزارش دادند که تلقیح مخلوط گوگرد و خاک فسفات با باکتری تیوباسیلوس موجب کاهش سریع pH خاک شد و فسفر قابل دسترس موجود در خاک را به اندازهٔ کافی برای رشد سورگوم افزایش داد، بطوریکه عملکرد سورگوم در این تیمار برابر با تیمار سوپر فسفات تریپل بود.

ملکوتی و همکاران (۲۰۰۱) گزارش دادند استفاده از خاک فسفات به همراه مواد آلی حتی نتیجه بهتری از سوپر فسفات تریپل خواهد داشت.

کود بیوفسفات طلایی با فرمول خاک فسفات ۶۰٪، گوگرد ۲۰٪، مواد آلی ۱۶٪ و سولفات روی ۴٪ همراه با یک بسته ۳۰۰ گرمی از مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس به‌ازای هر کیسه ۲۵ کیلوگرمی کود به منظور جایگزینی با سوپر فسفات تریپل توصیه شده است. در یک بررسی اثر بخشی آن در افزایش غلظت فسفر برگ درختان سیب مثبت و معنی دار ارزیابی گردید(بختیاری و همکاران ۱۳۸۴).

بوسواس و ناریامی (۲۰۰۲) در طی تحقیقی گزارش کردند که کاربرد مستقیم خاک فسفات در هندوستان به دلیل پایین بودن حلالیت آن توصیه نمی‌شود و بایستی تغییراتی در آن اعمال گردد. نتایج این تحقیق نشان داد که با اسیدی نمودن و در نتیجه افزایش کارایی خاک فسفات می‌توان نیاز گیاه گندم به فسفر را برطرف نمود.

کیتامس و آتویه (۱۹۸۷) در یک آزمایش گلخانه‌ای امکان استفاده از خاک فسفات و گوگرد را بعنوان کود فسفری مورد بررسی قرار دادند. در این آزمایش گوگرد و سنگ فسفات با نسبت های مختلف با یکدیگر مخلوط شده و بصورت پودر و گرانول به خاک اضافه شدند. پس از اعمال تیمارها تعداد ۵۰ عدد بذر ری گراس در هر گلدان کاشته شد، پس از ۸ هفته گیاهان برداشت شده و میزان عملکرد و فسفر جذب شده در تیمارهای مختلف اندازه گیری شدند. نتایج نشان داد که مخلوط خاک فسفات و گوگرد بطور معنی داری عملکرد و میزان فسفر جذب شده را در مقایسه با خاک فسفات

تنها، افزایش داد. میزان این افزایش در خاکهایی که آهک بیشتری داشتند کمتر ولی معنی دار بود. حداقل مقدار گوگرد اکسید شده (۱۰٪) مربوط به گوگرد گرانوله و حداکثر آن مربوط به گوگرد پودری (۸۲٪) بود. میزان عملکرد و فسفر جذب شده با نسبت خاک فسفات به گوگرد رابطهٔ عکس نشان داد. مصرف گوگرد و خاک فسفات نسبت به شاهد عملکرد را ۴/۸ برابر افزایش داد در حالیکه مصرف خاک فسفات فقط ۲/۵ برابر و کود سوپر فسفات ۴/۹ برابر نسبت به شاهد عملکرد را افزایش دادند.

۲-۱۲- گوگرد

گوگرد از مواد آلی خاک و همچنین از نمک های غیر آلی (معدنی) نظیر سولفات کلسیم و منیزیم بدست می‌آید. باران های اسیدی حاوی مقادیر قابل توجهی گوگرد هستند. اتمسفر مناطق دور از شهرهای صنعتی یا دریاها (برخی از مناطق آفریقا، ایالات متحده، استرالیا و نیوزیلند) گوگرد کمی دارند، به طوری که کمبود گوگرد در محصولات زراعی امری عادی است. معدنی شدن گوگرد و تشکیل یونهای سولفات از مواد آلی، شبیه به تغییرات نیتروژن موجود در مواد آلی است. در شرایط بی هوازی ممکن است گوگرد احیا شده و در غلظت های سمی تجمع گردد. در خاکهایی که تهویهٔ خوبی ندارند توسط باکتری های هتروتروف در ابتدا به SH_2 تبدیل می‌شود، این ترکیب گوگردی اکسید شده و در نهایت اسید سولفوریک تولید می‌شود که خاک را اسیدی می‌نماید. همانند نیتروژن فرمهای اکسید شدهٔ گوگرد (شکل یون SO_4^{2-}) توسط گیاهان جذب می شوند. این ترکیب گوگردی قبل از تبدیل به ترکیبات دیگر گیاهی به وسیله آنزیم ها احیاء می َشوند. گوگرد همانند نیتروژن در تشکیل پروتئین ها دخالت دارد. گوگرد پیوندهای تیول را که از نظر سطح انرژی مشابه پپتیدهای دارای ازت می‌باشند، تشکیل می‌دهد. (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۷۸). گوگرد جزء ساختمانی اسیدهای آمینهٔ سیستئین و متیونین است. گوگرد همچنین آنزیم های اصلی پروتولیکی را فعال نموده و جزء ساختمانی کوآنزیم A، گلوتاتیون و بعضی از ویتامین ها محسوب می‌شود. گیاهان خانوادهٔ شب بو ممکن است دارای بیش از یک درصد گوگرد باشند و بقولات نیز نسبتاً غنی از گوگرد هستند.

بیشترین عملکرد علوفهٔ خشک یونجه هنگامی بدست می‌آید که محتوی گوگرد برگها ۱۵ تا ۲۰ درصد باشند (وسترمان، ۱۹۷۵). برای تولید بیشترین عملکرد در نیشکر، مناسبترین نسبت نیتروژن به گوگرد ۱۰ تا ۱۵ می‌باشد (فوکس، ۱۹۷۶). روغن بعضی از گیاهان، به ویژه خانوادهٔ شب بو و پیاز، غنی از گوگرد است. مشاهده شده که کاربرد کود گوگردی، محتوی روغن دانه گیاهانی نظیر کتان و سویا را افزایش می‌دهد. (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۷۸).

۲-۱۲-۱- نقش گوگرد در کاهش pH خاک و افزایش قابلیت جذب عناصر در خاکهای آهکی

در خاکهای آهکی و قلیایی که دارای pH بالا و مقدار زیاد یون کلسیم می‌باشند، با وجود مقادیر زیاد عناصری مانند: فسفر، آهن و روی این عناصر تثبیت شده و از حالت قابل جذب برای گیاه خارج می گردند که این موضوع سبب کاهش رشد گیاه می‌گردد (تیسدل و همکاران، ۱۹۹۳؛ مداهیش و همکاران، ۱۹۸۹).

در تحقیقی دیگر نتایج نشان داد که گوگرد به عنوان ماده اسیدزا با کاهش میزان پ‌هاش خاک در اطراف ریشه‌ها و افزایش جذب عناصر غذایی، باعث بهبود رشد و عملکرد دو رقم سویا شد و هم چنین بر اساس نتایج این تحقیق افزایش گوگرد باعث کاهش پ هاش خاک و افزایش هدایت الکتریکی خاک شد (امانی و رئیسی، ۱۳۸۶). میزان اثر گوگرد و سرعت تبدیل آن به اسید سولفوریک به مقدار رطوبت، جمعیت و قدرت اکسید کنندگی ریز جانداران موجود در خاک و دما بستگی دارد، سرعت این واکنش کند است به طوری که گوگرد عنصری حداقل دو سال زمان نیاز دارد تا کاملاً به اسید سولفوریک تبدیل شود در این واکنش در نهایت حلالیت آهن، روی و منگنز افزایش یافته و رنگ زرد برگ ها کاهش می‌یابد (شهابی و ملکوتی، ۱۳۸۰). نتایج تحقیقی دیگر نشان داد که در اثر مصرف گوگرد و با گذشت زمان، پ هاش خاک کاهش و میزان کلسیم، منیزیم و هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد که این روند وابسته به سطوح گوگرد می‌باشد به طوری که در بالاترین سطح گوگرد بیشترین میزان کاهش پ هاش و بیشترین میزان افزایش کلسیم، منیزیم و هدایت الکتریکی مشاهده می‌گردد

(شیرین فکر و قربانی، ۱۳۸۲). اثرات مثبت گوگرد بـر کـاهش پ هـاش خـاک‌هـای آهکـی، افـزایش حلالیت عناصر کم مصرف و همچنین عناصر پرمصرف به ویژه فسفر و نقش آن در اصلاح خـاک‌هـای شور و سدیمی و خاصیت اصلاح کنندگی آب های نامناسب ثابت شده است (صـالح راسـتین، ۱۳۷۰). در تحقیقی دیگر با افزایش سطوح گوگرد هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک نیز از ۱/۳ بـه ۵ دسـی زیمنس بر متر افزایش یافته به طوری که هدایت الکتریکی از حد بحرانی شوری برای اغلب محصولات زراعی کمتر بود و افزایش گوگرد موجب افزایش غلظت عناصر کم مصرف به جز آهن در خاک و گیـاه شد به طوری که کاهش آهن در خاک و گیاه و نیز افزایش قابـل ملاحظـه منگنـز احتمـالاً بـه دلیـل تضادی است که بین آهن و منگنز وجود دارد (رشیدی، ۱۳۸۲).

خاکهای ایران، اکثراً بدلیل شرایط اقلیمی و مواد مادری از نوع آهکی دارای pH بالا بوده و بسیاری از عناصر مانند فسفر، آهن و روی تثبیت شده و از دسترس گیاه خارج می شوند، لذا با وجود مقادیر زیاد این عناصر در خاک کمبود آنها در گیاه مشاهده می‌گردد و رشد طبیعی گیاه با اختلال مواجه می‌گردد (کوپلن وارامان، ۱۹۹۸؛ مداهیش و همکاران، ۱۹۸۹؛ تیسدیل و همکاران، ۱۹۹۳). استفاده از کودهای شیمیایی در خاکهای قلیایی و آهکی چندان کارآمد نمی‌باشد، زیرا عناصری مانند فسفر یا عناصر کم مصرف به سرعت تثبیت شده و مقادیر زیادی از آن برای گیاه قابل دسترس نخواهد بود. بازده کودهای فسفری در خاکهای قلیایی از ۱۰ تا ۲۰ درصد تجاوز نمی‌نماید (توماس وهمکاران، ۱۹۸۶؛ اسپنکس و باربر، ۱۹۴۷). کاهش pH خاک یکی از روشهای مؤثر مقابله با کمبود عناصر غذایی در خاکهای آهکی و قلیایی است. بسیاری از محققین تلاشهای بسیاری را جهت کاهش pH خاک و متعاقباً افزایش قابلیت جذب برخی عناصر غذایی نموده‌اند. بنابراین مصرف آن در صورتی نتیجه بخش خواهد بود که به مقدار کافی اکسیده شده باشد (بردیا و همکاران، ۱۹۸۲). فرسایش خاک، آبشویی و کاهش مواد آلی خاک باعث کاهش ذخیره سولفات خاک می شوند. طی چند دهۀ اخیر استفاده از ارقام پر محصول، کشت و کار مداوم و مصرف کودهای بدون گوگرد سبب شده تا گوگرد در بسیاری از خاک ها به عامل محدود کنندۀ تغذیه گیاه تبدیل گردد (سینگ و چادوری،

۱۹۹۷؛ سینگ و همکاران، ۱۹۹۱). بنابراین استفاده از گوگرد و اکسایش آن توسط ریزجانداران با تأمین سولفات مورد نیاز گیاه باعث افزایش عملکرد می‌شود (سینگ و همکاران، ۱۹۹۱).

۲-۱۳- اکسایش گوگرد

چرخهٔ بیوژئوشیمیایی گوگرد در طبیعت شامل چهار مرحله معدنی شدن، آلی شدن، احیا و اکسید شدن است که اکسیداسیون مهمترین مرحلهٔ چرخه گوگرد بشمار می‌رود. زیرا گوگرد موجود در اکثر کودها بحالت احیا بوده و کانیهای خاک نیز دارای گوگرد احیا شده می‌باشند، در حالیکه گوگرد قابل جذب در گیاهان بصورت سولفات می‌باشد. به علاوه اکسایش ترکیبات گوگردی در خاک منبع کسب انرژی برای برخی ریزجانداران می‌باشد (کیلهام، ۱۹۹۴؛ طباطبایی، ۱۹۸۶). اکسایش گوگرد به دو طریق شیمیایی و بیولوژیک صورت می‌گیرد (طباطبایی، ۱۹۸۶).

اکسایش شیمیایی شامل واکنش با اکسیژن موجود در هوای خاک است که در نتیجه آن اسید سولفوریک ایجاد می‌گردد. سرعت این واکنش بسیار کند می‌باشد. اکسایش بیولوژیک که بوسیله ریزجانداران خاک انجام می پذیرد، فرآیند غیر اختصاصی می‌باشد، بنابراین توسط انواع زیادی از ریزجانداران قابل انجام می‌باشد (طباطبایی،۱۹۸۶).

گوگرد عنصری، سولفیدها و تعدادی از ترکیبات معدنی گوگرد در خاک بوسیله فرآیندهای شیمیایی به مقدار جزئی اکسیده می شوند (طباطبایی و نور،۱۹۷۷).

اکسیداسیون گوگرد و آزاد شدن سولفات در خاک از بسیاری جهات شبیه معدنی شدن نیتروژن است و سرعت آزاد شدن این دو عنصر در نتیجه معدنی شدن تقریباً یکسان است، عوامل متعددی در اکسیداسیون گوگرد خاک مؤثرند که مهم ترین آنها مقدار گوگرد در مواد آلی، نوع و تعداد ریزجانداران، پ‌هاش محیط، تهویه خاک هستند (سالاردینی، ۱۳۷۴). اکسیداسیون گوگرد در خاک ها اصولاً یک فرایند زیستی است و مقدار آن در یک زمان معین به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بستگی دارد. مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که علاوه بر دما، رطوبت، پ هاش و فراهمی

عناصر، اکسیداسیون گوگرد در خاک ها تحت تأثیر میزان مواد آلی اضافه شده و مرحله رشـدی گیـاه نیز قرار می‌گیرد (دانا و همکاران، ۱۹۹۲).

میزان اکسیداسیون گوگرد درخاک بسته به نوع بقایای گیاهی اضافه شده به خاک متفاوت است زیرا ارتباط زیادی بین اکسیداسیون گوگرد با نسـبت C/S بقایـای گیـاهی وجـود دارد، اکسیداسـیون تجمعی گوگرد در خاک‌های تیمار شده با کودهای آلی و سبز دارای یک فاز سریع طی ۱۰ هفتـه اول خوابانیدن بوده و پس از آن در هفته ۱۰ تا ۱۶ دارای سرعت کمی است (طباطبایی، ۱۹۸۴).

با وجود شرایط غرقاب، اکسایش گوگرد به دلیل کاهش منافذ هوا (تهویه) در خاک هـا محـدود می‌گردد زیرا میزان انتشار اکسیژن در آب تقریبا ۱/۱۰۰۰۰ مقدار انتشـار آن در هـوا اسـت، بنـابراین میزان آب در خاک می‌تواند در کاهش اکسیژن و در نهایت اکسیداسیون گوگرد مؤثر باشـد (جـانزن و بتانی، ۱۹۸۷).

به طور کلی به نظر می رسد که در مناطق با آب و هوای گرمسیری معدنی شدن گوگرد افزایش می‌یابد، این شاید به این دلیل باشد که در خاک‌های این مناطق معمولاً میزان گوگرد کل نسـبت بـه خاک‌های مناطق غیر گرمسیری پایین تر است (نور و طباطبایی، ۱۹۷۷).

۲-۱۳-۱- اکسایش بیولوژیکی

ریزجانداران اکسید کنندهٔ گوگرد از نظر فیزیولوژیک دارای طیف وسیعی بوده و انواع هتروتروف، فتولیتوتروف، شیمیولیتوتروف اختیاری و میکسوتروف را شامل می شوند (بشارتی، ۱۳۷۷).

باکتریهای هتروتروف: اکسید کننده گوگرد، کربن و انرژی مورد نیاز خود را از مواد آلـی تـأمین می‌کنند و به عنوان یک واکنش ضمنی گوگرد را نیز اکسید می‌کنند. واکنش اکسیداسیون تیوسولفات توسط هتروتروفها بصورت زیر است: (خاوازی و همکاران ۱۳۸۴):

$$4Na_2S_2O_3 + 2H_2O + O_2 \longrightarrow 2\,Na_2S_4O_6 + 4NaOH \qquad (۵-۲)$$

اصولاً ریزجانداران اکسید کنندهٔ گوگرد به یک منبـع انـرژی و یـک منبـع تـأمین کـربن نیـاز دارنـد. هتروتروفهای اکسید کنندهٔ گوگرد عمدتاً از ترکیبات آلی (گلوکز، اسیدهای آلی و ...) به عنـوان منبـع

کربن و انرژی بهره می‌گیرند و درشرایط هوازی از اکسیژن و در شرایط بی هـوازی از ترکیبـاتی مثـل نیترات بعنوان گیرنده الکترون استفاده می‌کنند. سرعت اکسیداسیون گوگرد توسط هتروتروفهـا کنـد بوده و نسبت به اتوتروفها از نظر اکسایش گوگرد اهمیت کمتری دارند (بشارتی، ۱۳۷۷).

اکسید کننده های هتروتروف گوگرد از نظر جمعیتی اکسید کننده هـای غالـب خـاک هسـتند (خاوازی و همکاران، ۱۳۸۴). تعداد زیادی از ریزجانداران هترتروف در اکسـایش گـوگرد نقـش دارنـد (کوینن، ۱۹۸۹). آسپژریلوس نیژر، موکورفلاووس، تریکو درما هارزیانوم از جمله قارچهایی هستند که توان اکسیداسیون گوگرد را دارا می‌باشند (واینرایت، ۱۹۸۴).

باکتریهای فتولیتوتروف دارای نوع خاصی کلروفیل بنام باکتریو کلروفیل بوده و فتوسنتز غیر اکسیژنی انجام می‌دهند (بشارتی، ۱۳۷۷). به منظور فتوسنتز و تثبیت CO_2از نور خورشید بعنوان منبع انرژی و از سولفیدها و سایر ترکیبات گوگردی به عنوان دهندهٔ الکترون و هیدروژن استفاده می‌کنند (ملکوتی و ریاضی همدان، ۱۳۷۰).

باکتریهای شیمیولیتوتروف از نظر تغذیه ای به سه گروه اجباری، اختیاری و میکسوتروف تقسیم می گردند. انواع اجباری فقط از CO_2 بعنوان منبع کربن استفاده می‌کنند. درحالیکه انواع اختیاری هم از CO_2و هم از ترکیبات آلی دیگر بعنوان منبع کربن استفاده می‌نمایند. انواع میکسوتروف از این دو منبع بطور همزمان استفاده می‌نمایند. انواع هوازی از اکسیژن بعنوان گیرنده الکترون استفاده می‌کنند و انواع بی‌هوازی اختیاری در شرایط هوازی از اکسیژن و در شرایط بی هوازی از نیترات بعنوان پذیرنده الکترون استفاده می‌نمایند. مهمترین باکتری های شیمیولیتوتروف اکسید کننده گوگرد در اکثر خاکها از جنس تیوباسیلوس می‌باشند. این باکتری ها از ترکیبات احیا شده گوگرد (سولفید هیدروژن، پلی سولفیدها، گوگرد عنصری، تیوسولفات، تتراتیونات و ...) بعنوان منبع انرژی استفاده کرده و با اکسیداسیون این ترکیبات انرژی کسب می‌کنند (بشارتی،۱۳۷۷). اکسید کننده‌های هتروتروف گوگرد از نظر جمعیتی اکسید کننده های غالب خاک هستند (خاوازی و همکاران، ۱۳۸۴). تعداد زیادی از ریزجانداران هتروتروف در اکسایش گوگرد نقش دارند (کوینن، ۱۹۸۹). مهمترین

باکتری های شیمیولیتوتروف اکسید کننده گوگرد در اکثر خاکها از جنس تیوباسیلوس می‌باشند. این باکتریها از ترکیبات احیا شده گوگرد (سولفید هیدروژن، پلی سولفیدها، گوگرد عنصری و ...) بعنوان منبع انرژی استفاده کرده و با اکسیداسیون این ترکیبات انرژی کسب می‌کنند (بشارتی، ۱۳۷۷).

۲-۱۴- اثرات کاربرد گوگرد در خاکهای آهکی

هر مول گوگرد پس از اکسید شدن دو مول یون هیدروژن تولید کرده و سبب کاهش pH خاک (بطور موضعی) و افزایش انحلال عناصر غذایی در خاک می‌گردد (کوپلن و ارمان، ۱۹۹۸؛مداهیش و همکاران، ۱۹۸۹).

در یک بررسی گلخانه ای که در خاک آهکی و بر روی ذرت انجام شد، استفاده از ۰/۵٪ (وزنی) گوگرد عنصری در مقایسه با شاهد pH خاک را ۱/۳ واحد کاهش داد. مقدار فسفر قابل جذب خاک از ۴/۹۹ به ۱۲/۸۷ و آهن قابل جذب خاک نیز از ۲/۷ به ۳/۸۲ میلی گرم در کیلوگرم افزایش یافت. در این بررسی در دو تیمار شاهد و ۰.۵ درصد گوگرد وزن خشک بخش هوایی ذرت به ترتیب ۱۰/۸۹ و ۲۷/۹۵ گرم در گلدان، فسفر جذب شده توسط گیاه ۱۰/۶۴ و ۳۱/۲۵ و آهن جذب شده ۰/۴و ۰/۶۲ میلی گرم در گلدان بودند (بشارتی، ۱۳۷۷).

کوپلن و اورمان (۱۹۹۸) در یک خاک آهکی دارای ۳۷٪ آهک و pH ۷/۸۸ پس از افزودن مقادیر ۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار در گلدان های پنج کیلوگرمی ذرت خوشه ای کشت نمودند. نتایج آزمایش آنها نشان داد که گوگرد تأثیر معنی داری در افزایش جذب فسفر دارد.

در آزمایشی دیگر در خاک آهکی با ۴۰٪ درصد آهک و pH برابر ۸ مقادیر ۰ و ۱۰۰ و ۲۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به خاک مزرعه ای اضافه و سه گیاه ذرت خوشه ای، سویا و سورگوم کشت گردیدند. مصرف گوگرد pH و بیکربنات خاک را بطور معنی داری کاهش و آهن، روی و منگنز قابل جذب خاک را افزایش داد به طوری که کاهش pH و افزایش جذب عناصر کم مصرف ضمن رفع

کلروز در گیاهان باعث افزایش جذب عناصر غذایی و در نتیجه افزایش وزن خشک گیاهان گردید. در این آزمایش در هر سه محصول جذب آهن و روی در اثر مصرف گوگرد در مقایسه با شاهد افزایش معنی داری نشان داد در حالیکه جذب منگنز کاهش پیدا نمود. با توجه به نتایج بدست آمده استفاده گوگرد یک روش ارزان برای رفع کلروز، افزایش جذب عناصر غذایی و افزایش عملکرد در خاکهای آهکی معرفی گردید (کلباسی و همکاران، ۱۹۸۸).

رازتو (۱۹۸۲) با مصرف ۲۰ کیلوگرم گوگرد به ازاء هر درخت هلو pH خاک را از ۸/۲ به ۶/۴ کاهش داد و کلروز ناشی از کمبود آهن را در باغات هلو مرتفع ساخت.

در یک آزمایش مقادیر ۰، ۰.۵ ، ۱.۵ و ۳ درصد گوگرد عنصری به سه خاک آهکی که از نظر بافت، مقدار آهک، میزان فسفر و عناصر کم مصرف متفاوت بودند، اضافه شدند تا تأثیر گوگرد بر خواص شیمیایی و قابلیت دسترسی عناصر غذایی ارزیابی گردد. مصرف گوگرد در هر سه خاک pH خاک را در مقایسه با شاهد بدون گوگرد بطور معنی داری کاهش داد ولی بین سطوح گوگرد تفاوت معنی داری مشاهده نگردید. مصرف گوگرد ضمن کاهش pH خاک قابلیت جذب آهن، مس، منگنز، فسفر و سولفات را در مقایسه با شاهد افزایش داد در حالیکه در مورد روی تفاوت معنی داری مشاهده نگردید. افزایش معنی دار آهن و مس، فقط در مقادیر بالای گوگرد مشاهده گردید(مدا هیش و همکاران، ۱۹۸۹).

والاس و همکاران (۱۹۸۲) به ۵۰۰ گرم خاک آهکی مقادیر مختلف گوگرد و ضایعات آهن افزوده، تأثیر آنها بر عملکرد و جذب آهن در سویا را بررسی نموده و دریافتند که تیمارهای ۰/۲۵ گرم آهن + ۰/۷۵ گرم گوگرد و ۰/۵گرم آهن + ۰/۵گرم گوگرد ضمن برطرف کردن کلروز در گیاه به ترتیب بیشترین وزن خشک و آهن جذب شده توسط گیاه را به خود اختصاص داده و بعنوان بهترین تیمارها انتخاب شدند.

در خاکهای آهکی و قلیایی با وجود مقادیر فراوان برخی از عناصر غذایی مانند فسفر، آهن و روی فرم قابل جذب آنها کمتر از مقدار لازم برای رشد و نمو مناسب گیاهان می‌باشد. به منظور رفع این مشکل تحقیقات زیادی در دنیا انجام شده است. استفاده از گوگرد به عنوان مادۀ اصلاح کننده در این نوع خاکها بعنوان روشی برای بهبود تغذیه گیاهان معرفی شده است. بدلیل کند بودن سرعت اکسایش گوگرد در خاک و با توجه به مسائل اکولوژیک و جنبه های کشاورزی پایدار سعی شده تا برای تشدید اکسایش گوگرد از باکتری های اکسید کنندۀ گوگرد استفاده شود. استفاده از گوگرد همراه با باکتری های تیوباسیلوس در بسیاری موارد نتایج سودمندی را در اصلاح خاک و بهبود وضعیت تغذیه گیاه بدنبال داشته است (بشارتی و صالح راستین، ۱۳۷۹؛ بردیا و همکاران ۱۹۸۲).

۲-۱۵- اهمیت گوگرد در کلزا

با توجه به بالا بودن درصد روغن کلزا می‌توان با افزایش سطح زیر کشت آن مقدار قابل توجهی از روغن مصرفی کشور را تولید نمود، از طرفی کلزا از گیاهانی است که عملکرد پروتئین بالایی دارد و پروتئین های آن دارای مقادیر زیادی اسیدهای آمینه گوگرد دار نظیر متیونین، سیستئین و سیستین هستند (مطلبی فرد و بشارتی، ۱۳۸۶). سینگ و ساهو (۱۹۸۶) بیان کردند که مصرف گوگرد باعث افزایش مقدار روغن و کیفیت آن در گیاهان کلزا، سویا و آفتابگردان شده و محلول پاشی این عنصر نیز علائم کلروز را در این گیاهان برطرف نمود. گرچه میزان گوگرد گیاهان به اندازه فسفر و اهمیت آن در تشکیل پروتئین به اندازه نیتروژن است، اما به عنوان عنصری درجه دوم اهمیت بعد از نیتروژن، فسفر و پتاسیم در اغلب سیستم های خاک و گیاه در نظر گرفته می‌شود (کیلهام، ۱۹۹۴). این عنصر همچنین نقش مهمی را در سنتز ویتامین ها و کلروفیل در سلول دارد. در نتیجه کمبود گوگرد، رشد گیاه کند شده و کیفیت و کمیت محصول تولیدی پایین می آید (کایا و همکاران، ۲۰۰۹). افضلی در سال ۱۳۸۰-۱۳۸۱ با آزمایش مقادیر مختلف گوگرد با و بدون تیوباسیلوس در

دشت ناز ساری، افزایش عملکرد کلزا را نسبت به افزودن گوگرد نسبت به تیمار شاهد برای کلیه تیمارهای حاوی گوگرد گزارش نمود.

فصل سوم

مواد و روش‌ها

۳- ۱- موقعیت محل و زمان اجرای آزمایش

این آزمایش در سال زراعی ۹۰ – ۹۱ در مزرعه‌ای در شهرستان گنبد اجرا شد. ارتفاع منطقه مورد آزمایش از سطح دریا ۴۵ متر و بر طبق تقسیم بندی آب و هوایی کوپن دارای اقلیم مدیترانه ای گرم و نیمه خشک می‌باشد و مشخصات جغرافیایی آن به ترتیب ۵۵ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی است. زمین آزمایش در سال قبل زیر کشت گندم بود.

۳ - ۲ - خصوصیات خاک محل آزمایش

قبل از انجام عملیات آماده‌سازی و اجرای نقشه آزمایش به منظور تعیین بافت خاک و وضعیت عناصر غذایی به خصوص N-P-K از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری در ۸ نقطه از خاک محل کشت نمونه‌گیری شد. بدین منظور محل مورد نظر به ۸ قسمت فرضی تقسیم و از هر نقطه حدود یک کیلوگرم خاک برداشته شد. سپس خاک‌ها با هم مخلوط شده و نهایتاً یک نمونه یک کیلوگرمی که گویای تمام سطح مزرعه بود به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۳- ۱ آمده است. با توجه به نتایج بدست آمده، خاک دارای بافت سیلتی لوم با pH = ۸/۱ و EC = ۰/۷۳ دسی زیمنس بر متر بود.

جدول۳-۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیائی خاک مورد آزمایش

pH	EC (عصاره اشباع)	آهک	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر	پتاسیم	آهن	روی	بر	بافت
	(dS/m)	(٪)			(قابل دسترس) (mg/kg)					
۸/۱	۰/۷۳	۲۰	۱/۴۶	۰/۱۵	۸	۳۵۰	۲/۶	۰/۶	۲	سیلتی لوم

۳ – ۳ - مطالعات مزرعه‌ای

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار به اجرا درآمد (نقشه کاشت در جدول ۳-۲ آورده شده است). عامل اول شامل کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل در سه

سطح (۰، ۸۵ و ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار) و عامل دوم شامل کود گوگرد توام با باکتری در چهار سطح

۱.عدم مصرف گوگرد و باکتری (S_0).

۲.مصرف گوکرد به میزان پانصد کیلو گرم در هکتار توام با مصرف باکتری تیوباسیلوس به میزان ده کیلوگرم در هکتار (S_1).

۳.مصرف گوکرد به میزان هزارکیلو گرم در هکتار توام با مصرف باکتری تیوباسیلوس به میزان بیست کیلوگرم در هکتار (S_2).

۴.مصرف گوکرد به میزان دو هزارکیلو گرم در هکتار توام با مصرف باکتری تیوباسیلوس به میزان چهل کیلو گرم در هکتار (S_3) .

کود پتاسه به شکل سولفات‌پتاسیم (۱۸۰ کیلوگرم در هکتار) در زمان کشت و کود نیتروژنه به شکل اوره (به میزان ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار)، یک سوم قبل از کاشت، یک سوم در شروع ساقه دهی و یک سوم در مرحله شروع گلدهی به زمین اضافه شد. عملیات کاشت به صورت خطی و با دست انجام شد. فاصله ردیف‌های کشت ۲۴ سانتیمتر و فاصله بوته در هر ردیف ۵ سانتیمتر(تراکم ۸۳۰ هزار بوته در هکتار) بود. برای اطمینان از دست‌یابی به تراکم بوته موردنظر در موقع کاشت بیش از میزان لازم بذر مصرف کرده و بعد از استقرار بوته‌ها، در موقع تنک کردن فاصله بوته‌ها در هر ردیف تنظیم گردید. هر کرت شامل ۶ خط کاشت به طول ۵ و عرض ۱/۴۴ متر بود. باکتری تیوباسیلوس مورد استفاده به میزان ۱/۵۰ گوگرد تعیین شده برای هر تیمار بصورت توام با گوگرد مورد استفاده قرار گرفت.

برای تعیین میزان عناصر موجود در برگ گیاه در مرحله گلدهی از هر کرت ۱۰ بوته بطور تصادفی انتخاب و پس از جدا کردن برگ‌ها میزان عناصر نیتروژن و فسفر در آنها اندازه‌گیری شد. در پایان برداشت محصول نمونه‌های از دانه های گیاه تهیه و میزان عناصر فسفر و روی در آنها تعیین شد. برای تعیین میزان عناصر خاک ریزوسفری در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک نمونه‌ها بطور تصادفی از کرت

های میانی با رعایت اثر حاشیه برداشت شد. جوی‌های آبیاری به نحـوی تعبیـه شـد کـه آب آبیـاری اضافی هر کرت توسط یک جوی خروجی در انتهای کرت‌ها از مزرعه خارج شود.

جدول ۳-۲ نقشه کشت

S2 P2	S2 P1	S3 P0	S2 P0	S3 P1	S0 P0	S1 P2	S0 P2	S1 P0	S1 P1	S0 P1	S3 P2
S0P0	S0 P1	S0 P2	S1 P0	S1 P1	S1 P2	S2 P0	S2 P1	S2 P2	S3 P0	S3 P1	S3 P2
S0 P1	S0 P2	S1 P1	S2 P2	S1 P0	S3 P1	S3 P0	S3 P2	S2 P0	S1 P2	S0 P0	S2 P1

۳ – ۴ - اعمال کود گوگردی و باکتری تیوباسیلوس

کود گوگردی مورد استفاده به صورت پودری بود که یک ماه پیش از کاشت به شکل ردیفی طبق مقادیر تعیین شده برای هر تیمار به خاک کرتهای مورد نظر اضافه و به طور کامل با خاک سطحی (عمق ۱۰ الی ۱۵ سانتی متری) مخلوط شدند. باکتری تیوباسیلوس مورد استفاده به صورت پودری به خاک‌های تمام کرت‌های مورد نظر اضافه شد، این باکتری محصول شرکت شایانکار که دارای $۱۰^{۸}$ CFU/mg باکتری بود.

۳- ۵ - داشت

در طی فصل رشد برای تأمین شرایط مناسب برای رشد گیاه در مزرعه عملیات داشت شامل واکـاری، وجین و کنترل علف‌های هرز انجام شد.

۳ – ۶- نمونه برداری خاک ریزوسفری

برای تعیین میزان عناصر خاک ریزوسفری در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک نمونه‌ها بطور تصادفی از ردیفهای میانی با رعایت اثر حاشیه برداشت شد پس از یک تکان دادن آرام و نرم و جدا شدن خاک‌های با فاصله بیشتر از ریشه (به عنوان توده خاک در نظر گرفته می‌شود)، خاکهایی که به ریشه

نزدیک تر و یا چسبیده به آن بودند (به عنوان خاک ریزوسفری) با دست جدا شد. (باتلر و همکاران ۲۰۰۳).

۳ – ۷- اندازه‌گیری فسفر و pH خاک

pH خاک و فسفر قابل جذب خاک به روش السن و سامرز (۱۹۸۲) تعیین شد.

۳ – ۸ - اندازه‌گیری عناصر فسفر، نیتروژن و روی در نمونه گیاه

برای اندازه‌گیری عناصر فسفر و روی در نمونه‌های گیاه از روش سوزاندن خشک (Dry ashing) استفاده شد. عصاره تهیه شده به این روش جهت اندازه‌گیری عناصر غذایی کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، مس، فسفر و روی بکار می‌رود.

روش کار به این ترتیب است که ابتدا ۲ گرم پودر نمونه گیاه خشک شده را با دقت ۰.۰۰۱ گرم توزین و در بوته چینی ریخته و در کوره قرار داده شد. درجه حرارت کوره را در مدت ۲ ساعت به ۵۵۰ درجه سانتی گراد رسانده و گیاهان به مدت ۱۲ ساعت در این حرارت نگه داشته شدند. نمونه های گیاهی برداشت شده از کوره بعد از خنک شدن به آرامی مقدار ۱۰ میلی لیتر اسید هیدروکلریک اضافه گردید و بوته‌ها روی اجاق برقی با دمای ۸۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند تا اولین بخارات سفید خارج گردد. سپس محتویات بوته، با کاغذ صافی واتمن ۴۳ صاف شده و عصاره در بالن ژوژه ۱۰۰ میلی لیتری جمع آوری گردید. بوته و کاغذ صافی را چند بار با آب مقطر شسته و بالن به حجم رسانده شد. اندازه‌گیری روی عصاره گیاه و استانداردها بوسیله دستگاه اتمیک ابسربشن انجام گرفت و میزان جذب را در طول موج ۲۱۳/۹ نانومتر قرائت و با رسم منحنی کالیبراسیون غلظت روی نمونه بدست آمد همچنین میزان فسفر عصاره گیاه بوسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر قرائت گردید.

۳ – ۹- اندازه‌گیری سولفات قابل جذب به روش توربیدیمتری

سولفات قابل جذب خاک به روش چاپمن و همکاران (۱۹۶۱) اندازه گیری شد.

۳- ۱۰- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) و در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد انجام گرفت.

فصل چهارم

نتایج و بحث

۴-۱- اسیدیته خاک

مطابق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) pH خاک متاثر از کاربرد گوگرد در سطح ۱٪ بود. مقایسه میانگین pH خاک (شکل ۴-۱) نشان داد که کاربرد گوگرد سبب افزایش اسیدیته خاک نسبت به عدم کاربرد آن شد. بطوریکه بیشترین میزان اسیدیته مربوط به سطح چهارم گوگرد (۲ تن در هکتار) بود و نسبت به عدم کاربرد گوگرد ۰/۶ واحد افزایش یافت، با توجه به نتایج بدست آمده اینگونه می‌توان استنباط کرد که کاربرد گوگرد توام با تیوباسیلوس در خاک از طریق اکسیداسیون آن سبب کاهش pH خاک می‌گردد. اکسیداسیون گوگرد و تبدیل آن به اسید سولفوریک باعث کاهش pH خاک می‌گردد (جانزن و بتانی،۱۹۸۷). کاهش pH خاک در اثر اکسیداسیون گوگرد در خاکهای بازی مشهودتر است (ویتولینس و سوی، ۱۹۶۹).

نتایج جدول تجزیه واریانس (۴-۱) نشان داد کاربرد فسفر و اثر متقابل گوگرد، فسفر بر روی pH خاک معنی دار نبود.

۴-۲- اسیدیته خاک ریزوسفری

مطابق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) pH خاک ریزوسفری متاثر از کاربرد گوگرد در سطح ۱٪ بود. مقایسه میانگین pH خاک (شکل ۴-۲) نشان داد که کاربرد گوگرد سبب افزایش اسیدیته خاک نسبت به عدم کاربرد آن شد. بطوریکه بیشترین میزان اسیدیته مربوط به سطح چهارم گوگرد بود و نسبت به عدم کاربرد گوگرد ۰/۸واحد افزایش یافت، با توجه به نتایج بدست آمده اینگونه می‌توان استنباط کرد که کاربرد گوگرد توام با تیوباسیلوس در خاک از طریق اکسیداسیون آن سبب کاهش pH خاک ریزوسفری می‌گردد.

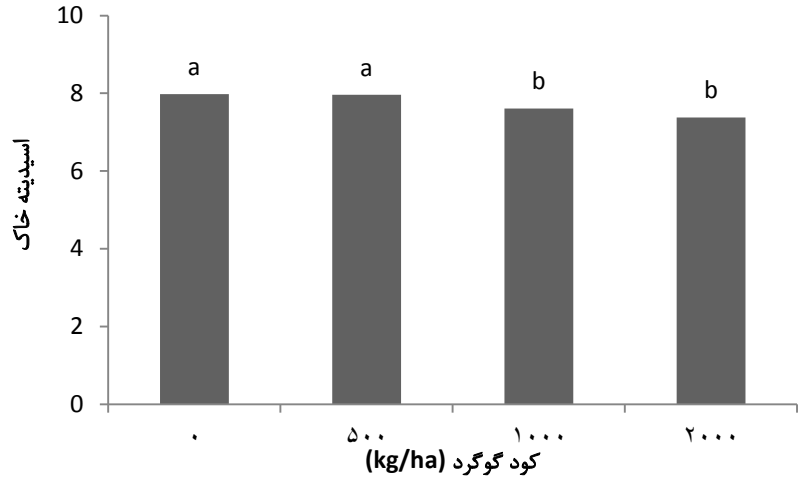
نتایج امانی و رئیسی (۱۳۸۶) نیز نشان دادند که گوگرد به عنوان ماده اسیدزا باعث کاهش میزان pH خاک در اطراف ریشه‌ها و خاک و افزایش هدایت الکتریکی خاک شد.

مطابق نتایج تجزیه واریانس (جدول۴-۱) pH خاک ریزوسفری متاثر از کاربرد کود سوپر فسفات تریپل و اثرات متقابل تیمارها نبود.

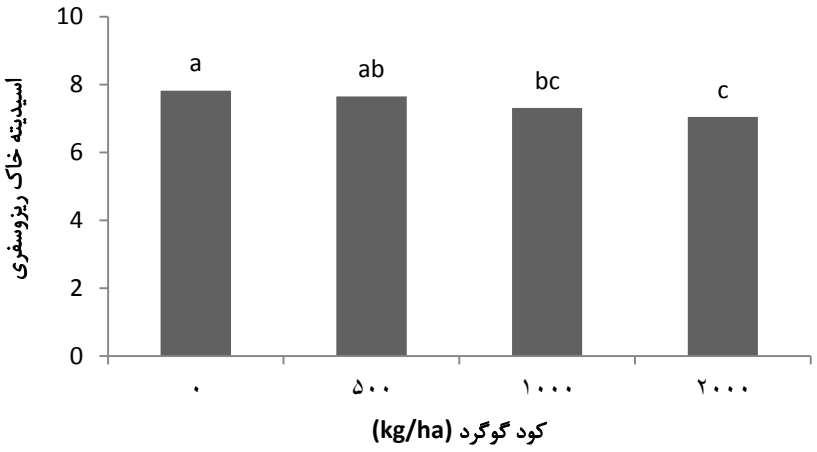
اما با مقایسه دو شکل ۴-۱ و ۴-۲ می‌توان به این نکته پی برد که کاربرد گوگرد باعث کاهش بیشتر pH در خاک ریزوسفری نسبت به خاک غیرریزوسفری شده است، بطوریکه pH در خاک ریزوسفری از ۷/۸۲ به ۷/۰۴ تنزل یافته اما این در حالی است که pH خاک غیر ریزوسفری از ۷/۹ به ۷/۳ کاهش یافته که دلیل آن را می‌توان به این صورت بیان کرد:

جهت و میزان تغییر pH خاک ریزوسفر از عاملهای زیر ناشی می‌شود:

۱– CO_2 حاصل از تنفس ریشه‌ها و ریزجانداران، ۲ – ترشح پروتون یا یون هیدروکسیل یا بیکربنات برای خنثی نمودن بار حاصل از جذب اضافی کاتیونها یا آنیونها (باربر،۱۹۹۵؛مارشنر، ۱۹۹۵؛ جیلارد و همکاران، ۲۰۰۳)، ۳– ترشح اسیدهای آلی و اسیدهای آمینه به وسیله ریشه‌ها و ریزجانداران (مارشنر، ۱۹۹۵؛ هینسینجر و همکاران، ۲۰۰۳).



شکل ۴-۱ تاثیر کاربرد سطوح مختلف گوگرد بر pH خاک



شکل ۴-۲ اثرکاربرد سطوح مختلف کود گوگرد بر pH خاک ریزوسفری

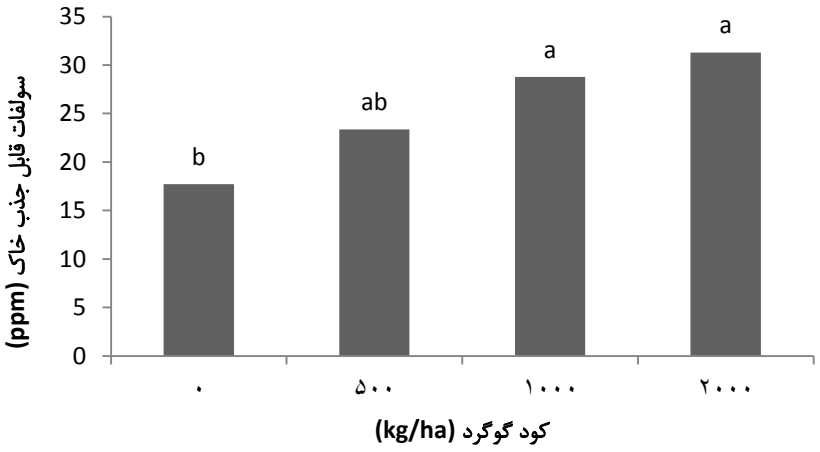
۴-۳- سولفات قابل جذب خاک

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) اثر ساده کود گوگرد بر میزان سولفات خاک در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین سولفات خاک (شکل۴-۳) نشان داد که کاربرد گوگرد توام با تیوباسیلوس سبب افزایش سولفات خاک شد، بطوریکه بیشترین میزان سولفات قابل جذب خاک (۳۱/۳۰mg/kg) ازسطح چهارم گوگرد توام با تیوباسیلوس (۲ تن در هکتار) بدست آمد که نسبت به عدم کاربرد گوگرد (۱۷/۷ mg/kg)، باعث افزایش ۷۶ درصدی سولفات خاک شد. در این خصوص می‌توان گفت اکسیداسیون گوگرد توسط باکتریهای اکسید کننده گوگرد (تیوباسیلوس) باعث افزایش سولفات خاک شده است، بنابراین با افزایش سطوح گوگرد مقدار بیشتری از آن اکسید شده و به سولفات تبدیل می‌گردد. باکتری تیوباسیلوس مهم ترین اکسید کننده گوگرد در خاک بشمار می‌رود، تلقیح کردن خاک با این باکتری باعث افزایش سرعت اکسیداسیون گوگرد می‌شود، در صورتی که جمعیت این باکتری در خاک پایین باشد، مصرف گوگرد همراه با تیوباسیلوس در خاک‌های آهکی و قلیایی اثرات سودمندی به دنبال خواهد داشت (وین رایت، ۱۹۸۴). اما با توجه به سرعت کند اکسیداسیون گوگرد، مدت زمان بیشتری برای اکسیداسیون کامل گوگرد اضافه شده به خاک لازم است. خان و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که کوددهی گوگردی، میزان سولفات خاک را در مقایسه با کرت کود نخورده، بعد از برداشت ذرت افزایش داد. با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول

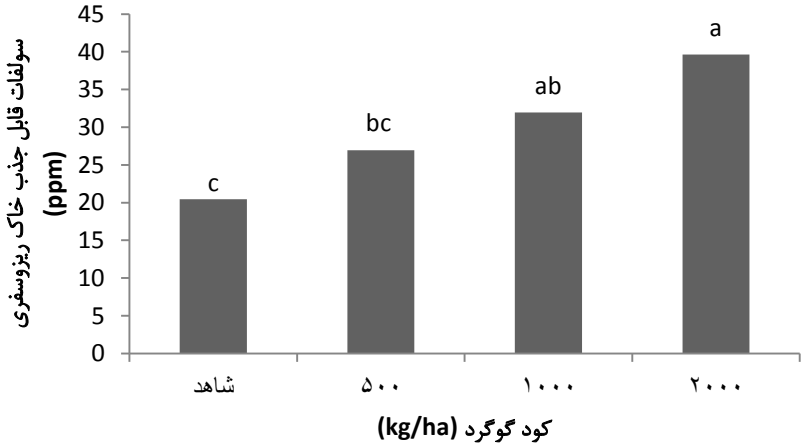
۴-۱) اثر ساده کود سوپر فسفات تریپل و اثر متقابل گوگرد و کود سوپر فسفات تریپل بر میزان سولفات خاک معنی دار نبود.

۴-۴- سولفات قابل جذب خاک ریزوسفری

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) اثر ساده کود گوگرد بر سولفات خاک ریزوسفری در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین سولفات خاک (شکل۴-۴) نشان داد که کاربرد گوگرد توام با تیوباسیلوس سبب افزایش سولفات خاک ریزوسفری شد، بطوریکه سطح چهارم گوگرد توام با تیوباسیلوس (۳۹/۰۶ mg/kg) نسبت به سطح اول (۲۰/۴۵ mg/kg) باعث افزایش ۹۱ درصدی سولفات خاک شد. اما نکته قابل توجه افزایش بیشتر سولفات در خاک ریزوسفری نسبت به خاک غیر ریزوسفری می‌باشد. بیشترین میزان سولفات در خاک ریزوسفری از کاربرد ۲۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به میزان ۳۹/۰۶ میلی گرم بر کیلوگرم بدست آمد و بیشترین میزان سولفات در خاک غیر ریزوسفری هم از کاربرد ۲۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به میزان ۳۱/۳میلی گرم بر کیلوگرم بدست آمد. در این خصوص می‌توان گفت وجود ترشحات ریشه‌ای در خاک ریزوسفری باعث افزایش جمعیت میکروبی و در نتیجه افزایش اکسیداسیون گوگرد شده است. ریزوسفر تا فاصله چند میلی متری از سطح ریشه و به طرف خاک گسترش دارد و با غلظت زیاد مواد ساده تجزیه پذیر موجود در تراوش-های ریشه‌ای مشخص می‌شود (لینچ و وایپس، ۱۹۹۰) که وجود این مواد موجب تکثیر میکروارگانسیم ها می‌گردد (فوستر،۱۹۸۶). با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) اثر ساده کود سوپر فسفات تریپل و اثر متقابل گوگرد و کود سوپر فسفات تریپل بر میزان سولفات خاک ریزوسفری معنی دار نبود.



شکل ۴-۳ اثر کاربرد مقادیر مختلف گوگرد بر غلظت سولفات خاک



شکل ۴-۴ اثر کاربرد مقادیر مختلف گوگرد بر غلظت سولفات خاک ریزوسفری

۴-۵- فسفر قابل جذب خاک

مطابق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) فسفر خاک متاثر از کاربرد گوگرد در سطح ۱٪ بود. مقایسه میانگین فسفر خاک (شکل ۴-۵) نشان داد که کاربرد گوگرد سبب افزایش فسفر خاک شد. بیشترین مقدار فسفر خاک از کاربرد ۲۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به میزان ۱۲/۱۸ میلی گرم بر کیلوگرم بدست آمد، که نسبت به عدم کاربرد گوگرد (۹/۳۴ میلی گرم بر کیلوگرم) ۲۳/۳ درصد افزایش یافت. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان اینگونه استنباط کرد که کاربرد گوگرد در صورت

مناسب بودن سایر شرایط (وجود باکتری های اکسید کننده، دمای مناسب و رطوبت کافی و ...) با کاهش pH خاک هر چند بصورت موضعی باعث افزایش حلالیت فسفر خاک می‌گردد. اما شرط بهره گیری از توان بالقوه گوگرد، حضور باکتریهای اکسیدکننده این ماده به ویژه باکتریهای تیوباسیلوس در خاک می‌باشد. امکان بهره برداری از اثرات مفید گوگرد، بستگی به حضور باکتری های اکسید کننده گوگرد، به تعداد کافی در خاک می باشد، زیرا تنها در اثر اکسایش بیولوژیکی گوگرد است که با تولید اسید سولفوریک، موجب کاهش pH خاک، آزاد شدن عناصر غذایی برای گیاه و بهبود وضعیت تغذیه گیاه می گردد (بشارتی و همکاران، ۱۳۷۹؛ صلحی و درخشنده، ۱۳۷۸). نتایج این تحقیق با یافته های بشارتی و راستین (۱۳۸۰) تطابق دارد. کاپلان و ارمان (۱۹۹۸) دریافتند که مصرف گوگرد تأثیر معنی‌داری در کاهش pH خاک و افزایش قابلیت جذب فسفر دارد. در رابطه با اثرات pH خاک بر اکسیداسیون گوگرد و افزایش فسفر قابل جذب در خاکهایی با pH های مختلف (اسیدی تا آهکی) مطالعات زیادی انجام گرفته و نتایج نشان داده که افزودن گوگرد، باعث افزایش فسفر خاک می‌شود (بشارتی، کلایه ۱۳۷۷).

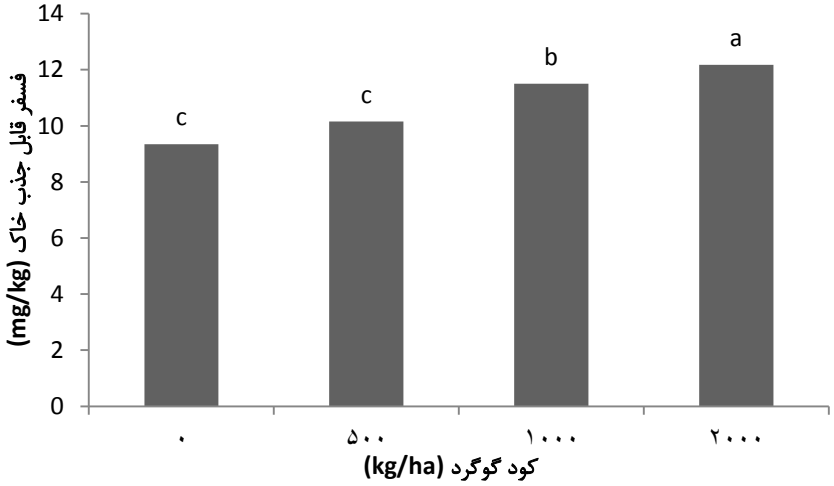
مطابق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) فسفر خاک متاثر از کاربرد کود سوپرفسفات تریپل در سطح ۱٪ بود. مقایسه میانگین فسفرخاک (شکل ۴-۶) نشان داد که کاربرد کود سوپرفسفات تریپل سبب افزایش فسفر خاک شد. بر این اساس بیشترین میزان فسفر خاک (۱۲/۵۷میلی گرم بر کیلوگرم) از کاربرد کود سوپر فسفات به میزان توصیه کودی (۱۳۰ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد و کمترین میزان فسفر خاک (۸/۰۳ میلی گرم بر کیلوگرم) از تیمار عدم کاربرد کود سوپر فسفات بدست آمد، به عبارت دیگر فسفر خاک درسطح دوم کاربرد کود سوپر فسفات نسبت به عدم کاربرد، ۳۶ درصد افزایش یافت. قول لرعطا (۱۳۸۴) نیز در پژوهش خود مشاهده کرد، افزودن کود فسفر به خاک طور به معنی‌داری فسفر قابل جذب خاک را افزایش داد. نتایج جدول تجزیه واریانس (شکل۴-۱) نشان داد اثر متقابل گوگرد و کود سوپرفسفات تریپل بر میزان فسفر خاک معنی دار نبود.

۴-۶- فسفر قابل جذب خاک ریزوسفری

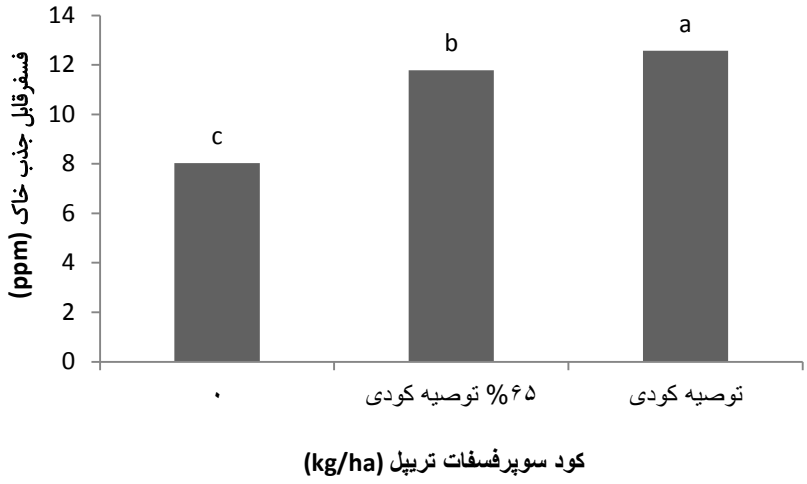
با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول۴-۱) تاثیر کاربرد گوگرد بر افزایش فسفر خاک ریزوسفری در سطح ۱٪ معنی دار بود. مقایسه میانگین فسفرخاک (شکل ۴-۷) نشان داد که افزایش سطوح گوگرد سبب افزایش فسفر خاک ریزوسفری شد، بدین ترتیب که از کاربرد ۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ کیلوگرم گوگرد توام با تیوباسیلوس به ترتیب ۸/۹، ۱۰.۱۴، ۱۱/۷۱ و ۱۳/۶۵ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر در خاک بدست آمد، بنابراین بیشترین مقدار فسفر خاک از کاربرد ۲۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار (۱۳.۶۵ میلی گرم بر کیلوگرم) بدست آمد، که نسبت به عدم کاربرد گوگرد (۸/۹ میلی گرم بر کیلوگرم) ۳۴/۷ درصد افزایش یافت. با توجه به نتایج بالا اینگونه می‌توان استنباط کرد که مانند نتایج بدست آمده حاصل از اندازه‌گیری فسفر در خاک غیر ریزوسفری در این جا هم با افزایش سطوح گوگرد مقدار بیشتری از آن اکسید و در نتیجه با کاهش موضعی pH فسفر بیشتری حل می‌گردد ولی در خاک ریزوسفری به علت وجود شرایطی که در ادامه بحث به آن پرداخته خواهد شد حلالیت فسفر بیشتر بود.

بشارتی و همکاران (۱۳۷۷) و کوپلن و ارمان (۱۹۹۸) گزارش کردند که استفاده ازگوگرد باعث افزایش انحلال عناصر غذایی در ریزوسفر می‌گردد. احد و دبنات (۱۹۸۹) گزارش دادند که خاک ریزوسفر گیاهان برنج، ذرت، و سویا، فسفر قابل جذب بیشتری از توده خاک داشت.

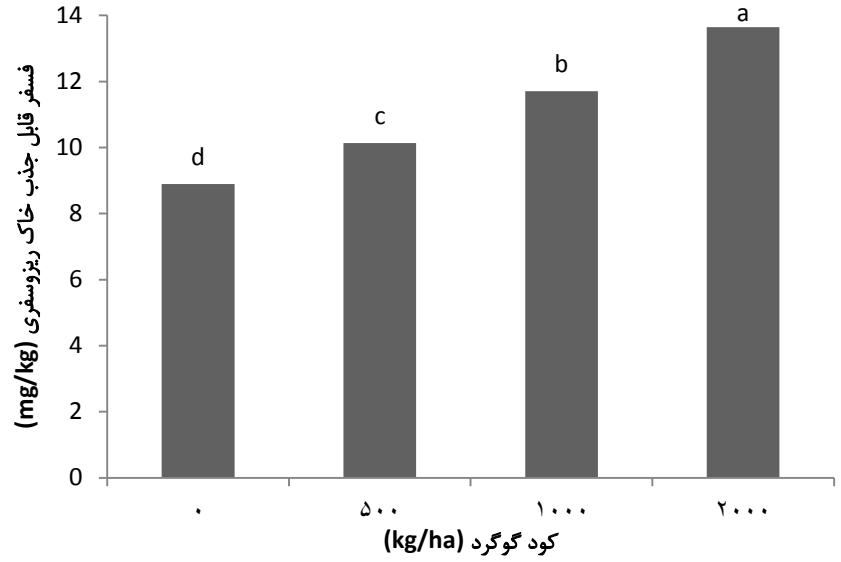
با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول۴-۱) تاثیر کاربرد کود فسفر بر افزایش فسفر خاک ریزوسفری در سطح ۱٪ معنی دار بود. مقایسه میانگین فسفر خاک ریزوسفری (شکل ۴-۸) نشان داد که کاربرد کود سوپر فسفات تریپل سبب افزایش فسفر خاک ریزوسفری شد. بر این اساس بیشترین میزان فسفر خاک (۱۱/۴۸میلی گرم بر کیلوگرم) از کاربرد کود سوپر فسفات به میزان توصیه کودی (۱۳۰ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد و کمترین میزان فسفر خاک (۸/۴۶ میلی گرم بر کیلوگرم) از تیمار عدم کاربرد کود سوپر فسفات بدست آمد. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) نشان داد که اثر متقابل گوگرد و کود سوپرفسفات تریپل بر میزان فسفر خاک ریزوسفری معنی دار نبود.



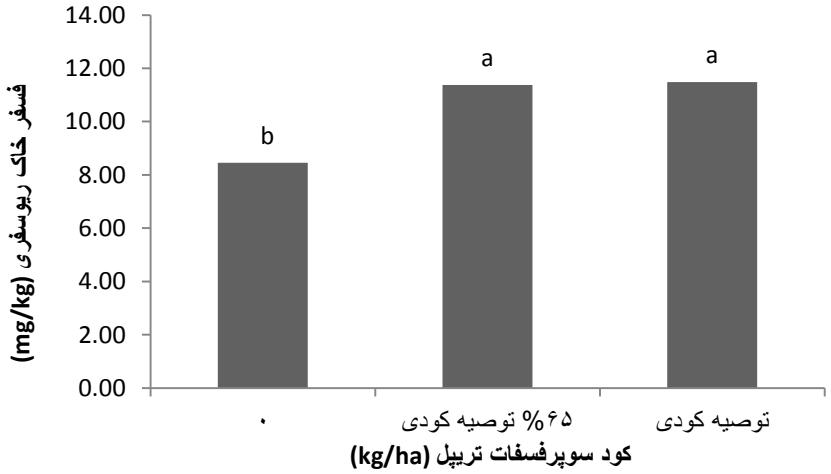
شکل ۴-۵ اثر کاربرد سطوح مختلف کود گوگرد بر غلظت فسفر خاک



شکل ۴-۶ اثر کود سوپر فسفات تریپل بر غلظت فسفر خاک



شکل ۴-۷ اثر کاربرد سطوح مختلف گوگرد بر غلظت فسفر خاک ریزوسفری



شکل ۴-۸ اثر کود سوپرفسفات تریپل بر غلظت فسفر خاک ریزوسفری

مقایسه میانگین مقدار فسفر خاک ریزوسفری و غیر ریزوسفری نشان می‌دهد که در اثر کاربرد گوگرد فسفر در خاک ریزوسفری به میزان بیشتری نسبت به خاک غیر ریزوسفری افزایش یافت. که در این رابطه می‌توان گفت، ریشه گیاه به چند طریق بصورت مستقیم و غیر مستقیم می‌تواند برروی حلالیت فسفر در ریزوسفر تاثیر بگذارد:

۱- تراوش های ریشه‌ای در مقایسه با مواد آلی خاک منبع غذایی آسان تجزیه پذیری برای ریزجانداران هستند در نتیجه ریزجانداران با سرعت بیشتری در خاک ریزوسفری رشد و

تکثیر می یابند. زیست توده میکروبی می‌تواند تا بیش از ۳۶٪ وزن خشک ریشه را شامل شود (لینچ و وایپس،۱۹۸۳)، بنابراین گوگرد با سرعت بیشتری و به میزان بیشتری اکسید می‌یابد که در نهایت باعث کاهش موضعی pH و افزایش حلالیت فسفر می‌گردد.

۲- تراوش های ریشه‌ای علاوه بر تامین کربن مورد نیاز گیاهان از طریق کلاته کردن کربن و واجذبی عناصر کم محلولی مانند فسفر و آهن، به آزاد شدن عناصر غذایی کمک می‌کنند (دینکلاکر و مارشنر، ۱۹۹۲؛گرک، ۱۹۹۴).

۳- گیاه کلزا اگر چه دارای سیستم میکوریزی نیست ولی دارای ریشه های ریز و ریشه های مویین فراوانی، می باشد. در شرایط کمبود فسفر، ریشه هایی مویین در طول و حجم افزایش می‌یابد و ریشه های کلزا را قادر می سازد تا از حجم بیشتری از خاک، بتواند فسفر را جذب نماید. علاوه بر آن ریشه های کلزا محیط ریزوسفر را در نزدیک انتهای ریشه، اسیدی می نمایند و باعث افزایش فرمهای قابل حل فسفر شده (موربی و همکاران، ۱۹۸۸).

۴-۷- فسفر برگ

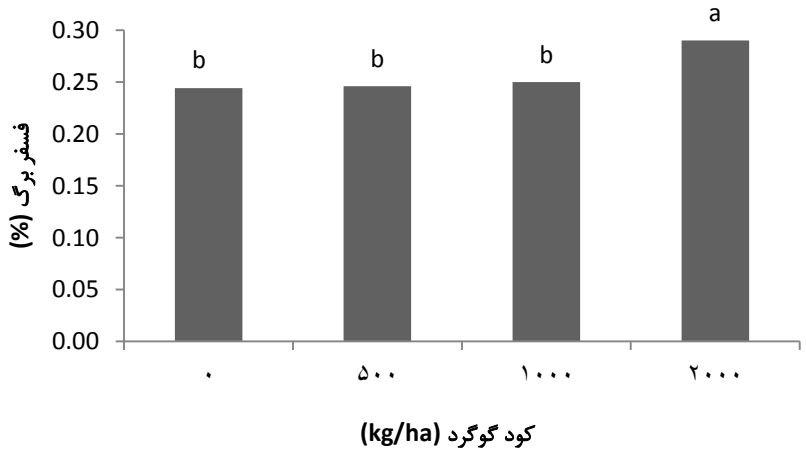
مطابق نتایج بدست آمده از جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۱) فسفر برگ گیاه کلزا متاثر از کاربرد گوگرد در سطح ۱٪ بود. مقایسه میانگین فسفر برگ گیاه (شکل ۴-۹) نشان داد که کاربرد کود گوگرد توام با تیوباسیلوس سبب افزایش فسفر برگ شد، بطوریکه با افزایش مصرف گوگرد مقدار فسفر برگ نیز افزایش یافت. در سطوح ۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد فسفر برگ به ترتیب ۰/۲۴، ۰/۲۴، ۰/۲۵ و ۰/۲۹ درصد بود، به عبارت دیگر بیشترین میزان فسفر برگ مربوط به سطح چهارم گوگرد بود، که نسبت به سطح دوم و عدم کاربرد کود گوگرد توام با تیوباسیلوس، فسفر برگ، ۱۷/۲۴ درصد افزایش داشت، با توجه به نتایج بدست آمده اینگونه می‌توان استنباط کرد که کاربرد گوگرد توام با تیوباسیلوس در خاک باعث حلالیت بیشتر فسفرقابل دسترس برای گیاه شده است و در نتیجه فسفر به مقدار بیشتری در دسترس گیاه قرار گرفته و جذب شده است. در تحقیقات بهمنیار و همکاران (۱۳۹۰) به این نتیجه رسیدند که اثرات ساده گوگرد (در سطح ۱٪) بر میزان فسفر

قابل جذب خاک و فسفر برگ کلزا از لحاظ آماری معنی دار بوده و با افزایش سطوح گوگرد میزان فسفر قابل جذب خاک و فسفر تجمع یافته در برگ نسبت به تیمار شاهد افزایش یافته است. نتایج تحقیقات بحراتی و پونگوتای (۲۰۰۸) نشان داد که کاربرد گوگرد منجر به افزایش جذب فسفر توسط گیاه ذرت شد.

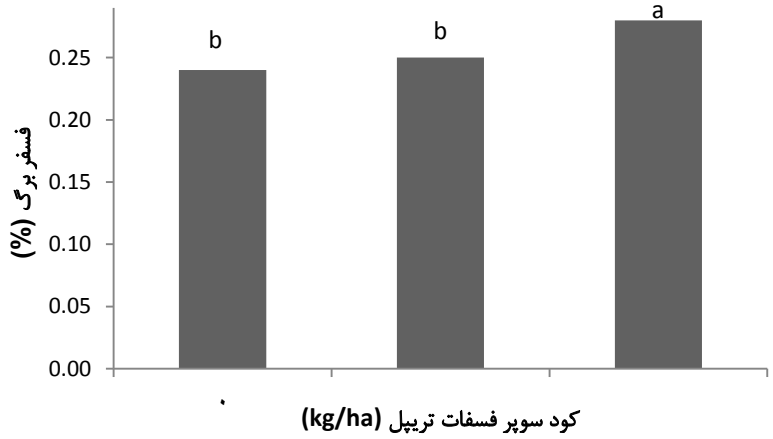
مطابق نتایج بدست آمده از جدول تجزیه واریانس فسفر برگ گیاه کلزا متاثر از کاربرد کود سوپر فسفات تریپل در سطح ۱٪ بود. مقایسه میانگین فسفر برگ گیاه (شکل ۴-۱۰) نشان داد که کاربرد کود سوپر فسفات تریپل سبب افزایش فسفر برگ شد، بطوریکه با افزایش مصرف کود مقدار فسفر برگ نیز افزایش یافت. در سطوح ۰، ۸۵ و ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل، فسفر برگ به ترتیب ۰/۲۴، ۰/۲۵ و ۰/۲۸درصد بود، به عبارت دیگر بیشترین میزان فسفر برگ مربوط به سطح سوم کاربرد کود سوپر فسفات تریپل، که نسبت به سطح دوم و عدم کاربردکود، فسفر برگ، ۱۴/۲۸ درصد افزایش داشت، با توجه به نتایج بدست آمده اینگونه می‌توان استنباط کرد که افزایش سطوح کود فسفری در خاک باعث افزایش فسفرقابل دسترس برای گیاه شده است و در نتیجه فسفر به مقدار بیشتری در دسترس گیاه قرار گرفته و توسط گیاه جذب شده است.

سعید سلیم پور و همکاران (۱۳۸۹) گزارش دادند غلظت فسفر برگ در تیمار کود سوپر فسفات تریپل به طور معنی داری بیشتر از تیمار شاهد بود، بطوریکه تیمار کود سوپر فسفات بیشترین میزان فسفر برگ را دارا بود. وایت هاوس و همکاران (۱۹۷۷) گزارش دادند در دو خاک آهکی با مقدار کم فسفر قابل جذب، نقش بیوسوپر (۵ قسمت خاک فسفات + یک قسمت گوگرد + باکتریهای تیوباسیلوس) در افزایش عملکرد و تأمین فسفر مورد نیاز گندم را با کود سوپرفسفات ساده در مزرعه و گلخانه مقایسه نمودند. کود سوپرفسفات ساده در گلخانه و مزرعه در هر دو خاک مورد آزمایش، عملکرد دانه و فسفر جذب شده توسط گندم را در مقایسه با شاهد به طور معنی دار افزایش داد. کود بیوسوپر نیز در گلخانه و مزرعه در هر دو خاک شاخص های اندازه گیری شده را افزایش داد که البته فقط در شرایط گلخانه تأثیر آن در مقایسه با شاهد معنی دار بود.

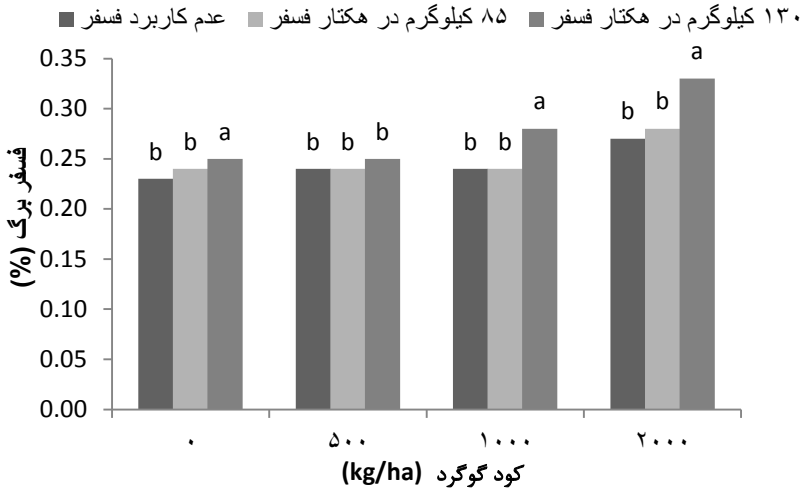
با توجه به نتایج بدست آمده از جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۱) اثر متقابل گوگرد توام با تیوباسیلوس و کود سوپر فسفات تریپل بر میزان فسفر برگ گیاه کلزا در سطح ۱ درصد معنی دار بود. بیشترین مقدار فسفر با مصرف ۲۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به همراه مصرف ۱۳۰ کیلوگرم کود سوپر فسفات بدست آمد که با سایر تیمارها در سطح ۱ درصد اختلاف معنی دار داشت (شکل ۴-۱۱). بشارتی و صالح راستین (۱۳۸۰) گزارش دادند که اثرات متقابل سه تیمار گوگرد، باکتری و فسفر نشان داد که استفاده از کود سوپر فسفات تریپل به عنوان یک تیمار مستقل تاثیری در مقدار فسفر جذب شده توسط گیاه نداشته و حداکثر بازدهی این کود زمانی است که بطور توام با گوگرد و تیوباسیلوس های اتوتروف اجباری مصرف شده باشد.



شکل۴-۹ اثر کاربرد سطوح مختلف کود گوگرد بر میزان فسفر برگ گیاه



شکل ۴-۱۰ اثر کود سوپر فسفات تریپل بر میزان فسفر برگ گیاه



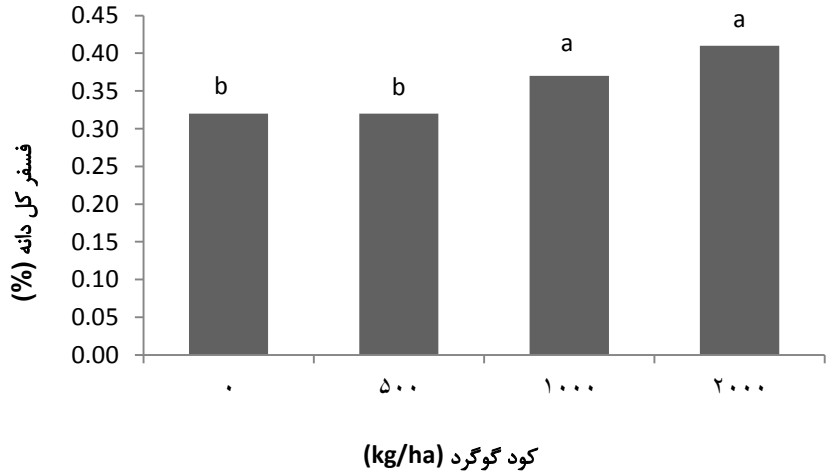
شکل۴-۱۱ اثر متقابل کود گوگرد و سوپر فسفات تریپل بر فسفر برگ گیاه

۴-۸- فسفر دانه

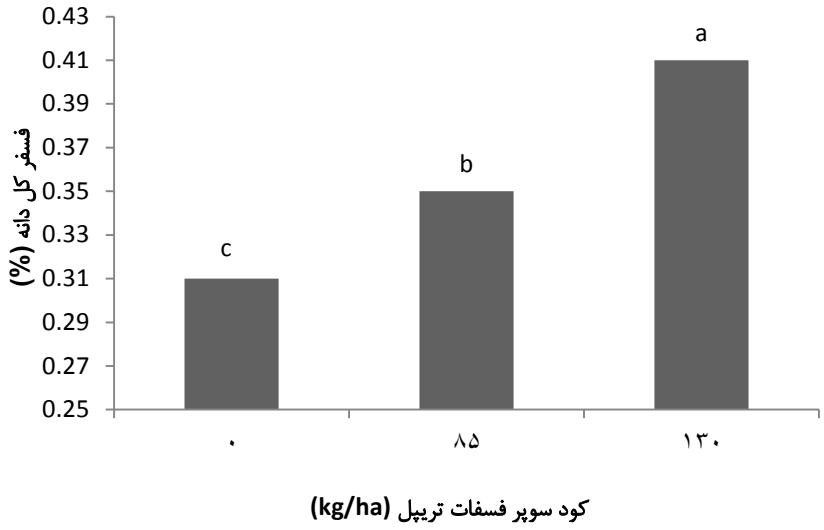
رشد و نمو طبیعی در کلزا به منبع کافی و کامل فسفر مورد نیاز سلول نیازمند است (ملکوتی و سپهر ۱۳۸۲). به رغم فراوانی مقدار فسفر کل در بسیاری از خاکهای کشور اما فسفرقابل جذب برای گیاهان زراعی کافی نیست. بنابراین به غیر از کودهای شیمیایی می‌توان از کودهای بیولوژ یکی که در واقع مجموعه ای از میکروارگانیسمها هستند نیز می‌توان استفاده کرد.

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) اثر اصلی کود گوگرد بر میزان فسفر دانه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین فسفر دانه (شکل۴-۱۲) نشان داد که کاربرد گوگرد توام با تیوباسیلوس سبب افزایش فسفر دانه شد، بطوریکه در اثر کاربرد ۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به ترتیب فسفر دانه ۰/۳۲، ۰/۳۲، ۰/۳۷ و ۰/۴۱ درصد بود. به عبارت دیگر سطح چهارم گوگرد توام با تیوباسیلوس (۰/۴۱ درصد) نسبت به سطح اول (۰/۳۲درصد) باعث افزایش ۲۱/۹ درصدی فسفر دانه شد. کوپلن و اورمان (۱۹۹۸) در یک خاک آهکی دارای ۳۷٪ آهک و pH ۷/۸۸پس از افزودن مقادیر ۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار در گلدان های پنج کیلوگرمی ذرت خوشه ای کشت نمودند. نتایج آزمایش آنها نشان داد که گوگرد تأثیر معنی داری در افزایش جذب فسفر دارد. بهمنیار و همکاران (۱۳۹۰) مصرف گوگرد تاثیر معنی داری بر میزان فسفر دانه نداشت. با

توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) اثر اصلی کود سوپر فسفات تریپل بر میزان فسفر دانه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین فسفر دانه (شکل۴-۱۳) نشان داد که افزایش سطوح کود سبب افزایش فسفر در دانه شد، بطوریکه در اثر کاربرد ۰، ۸۵ و ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفری به ترتیب فسفر دانه ۰/۳۱، ۰/۳۵ و ۰/۴۱ درصد بود. به عبارت دیگر سطح سوم کود سوپر فسفات (۰/۴۱ درصد) نسبت به سطح اول (۰/۳۱درصد) باعث افزایش ۲۴/۳ درصدی فسفر دانه شد. در بررسی رفیعی و همکاران (۱۳۸۳) روی گیاه ذرت افزایش کود فسفر (۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) بر افزایش فسفر دانه تأثیر معنی‌داری داشت. با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) اثر متقابل کود سوپر فسفات تریپل و گوگرد توام با تیوباسیلوس بر میزان فسفر دانه معنی‌دار نبود.



شکل ۴-۱۲ اثر کاربرد سطوح مختلف کود گوگرد بر میزان فسفر دانه گیاه

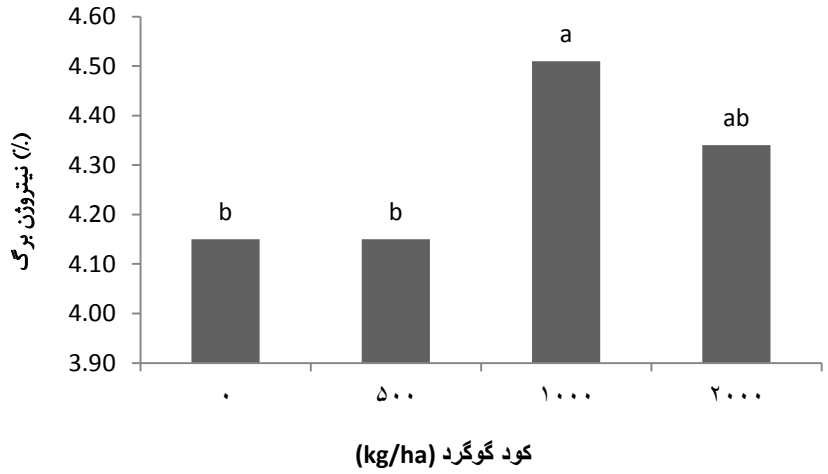


شکل۴-۱۳ اثر کود سوپر فسفات تریپل بر فسفر دانه گیاه

۴-۹- نیتروژن برگ

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) مبین آن بود که اثر اصلی کود گوگرد بر میزان نیتروژن برگ در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها (شکل ۴-۱۳) نشان داد که بیشترین میزان نیتروژن برگ (۴/۵۱ درصد) با مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود گوگرد توام با تیوباسیلوس بدست آمد که با مصرف ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار در یک سطح آماری قرار گرفت (شکل۴-۱۳). با توجه به این جذب نیتروژن می تواند با تغییر هر عامل موثر بر تولید تغییر کند (سالواگوتی و همکاران ۲۰۰۹) استفاده از باکتری های اکسید کننده گوگرد در کنار اعمال میزان متعادلی از گوگرد می تواند در افزایش جذب نیتروژن گیاه تاثیر مثبتی داشته باشد.

همچنین نتایج تجزیه واریانس (جدول۴-۱) نشان داد که اثر اصلی کود سوپر فسفات تریپل و اثر متقابل کود فسفر و گوگرد، بر میزان نیتروژن برگ معنی‌دار نبود. با نتایج سلیم پور و همکاران (۱۳۸۹) مطابقت داشت.

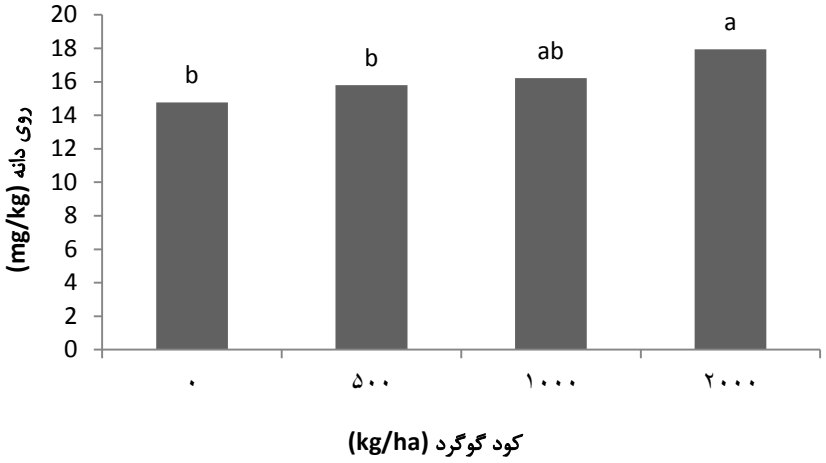


شکل ۴-۱۴ اثر کود گوگرد بر میزان نیتروژن برگ

۴-۱۰- روی دانه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) مبین آن بود که اثر اصلی کود گوگرد بر میزان روی دانه در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها (شکل ۴-۱۴) نشان داد که افزایش سطوح گوگرد باعث افزایش غلظت روی در دانه شد بطوریکه بیشترین میزان روی دانه با مصرف ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود گوگرد توام با تیوباسیلوس بدست آمد که با مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار در یک سطح آماری قرار گرفت. همچنین نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) نشان داد که اثر اصلی کود سوپر فسفات و اثر متقابل کود گوگرد و فسفر بر میزان روی دانه معنی دار نبود.

نتایج تحقیق اخوان و همکاران (۱۳۹۱) نشان داد که استفاده از گوگرد و تیوباسیلوس باعث افزایش جذب روی توسط گیاه کلزا شد. در آزمایشی دیگر در خاک آهکی با ۴۰٪ درصد آهک و pH دارای ۸ مقادیر ۰ و ۱۰۰ و ۲۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به خاک مزرعه ای اضافه و سه گیاه ذرت خوشه ای، سویا و سورگوم کشت گردیدند. در این آزمایش در هر سه محصول جذب آهن و روی در اثر مصرف گوگرد در مقایسه با شاهد افزایش معنی داری نشان داد. با توجه به نتایج بدست آمده استفاده گوگرد یک روش ارزان برای افزایش جذب عناصر غذایی در خاکهای آهکی معرفی گردید (کلباسی و همکاران، ۱۹۸۸).

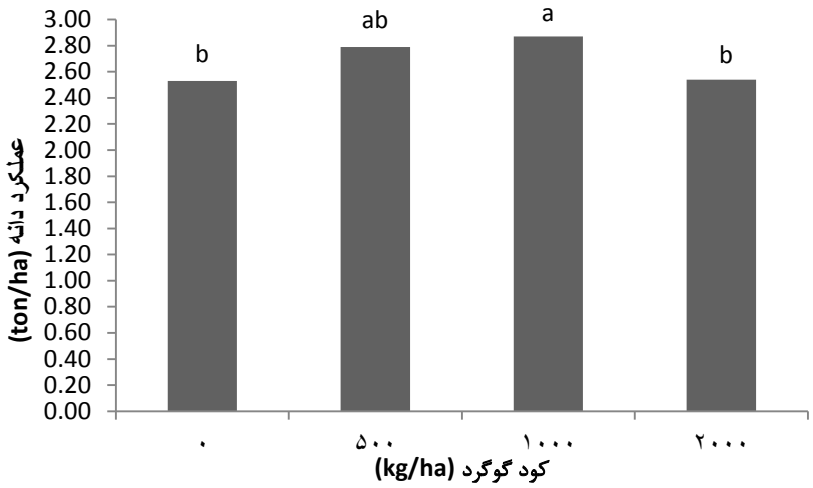


شکل ۴-۱۵ اثر کود گوگرد بر میزان روی دانه گیاه

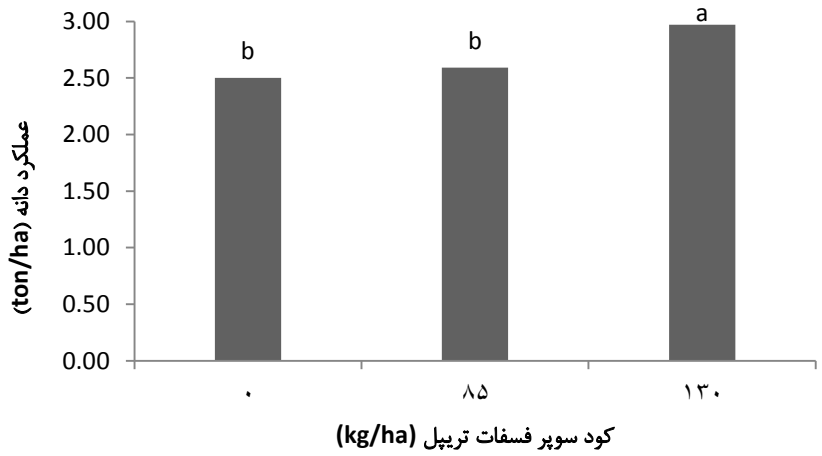
۴-۱۱- عملکرد دانه

مطابق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) عملکرد دانه متاثر از کاربرد گوگرد و کود سوپر فسفات تریپل در سطح ۱٪ بود. مقایسه میانگین عملکرد دانه (شکل ۴-۱۶) نشان داد که کاربرد گوگرد سبب افزایش عملکرد دانه شد. بیشترین عملکرد دانه (۲/۸۷ تن در هکتار) از کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد بدست آمد. این نتایج با بررسی‌های بشارتی و همکاران (۲۰۰۱) و سینک و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت داشت. همچنین مقایسه میانگین عملکرد دانه (شکل ۴-۱۷) نشان داد که کاربرد کود فسفر سبب افزایش عملکرد دانه شد. بیشترین عملکرد دانه (۲/۹۷ تن در هکتار) از کاربرد ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر بدست آمد. حمید مدنی و همکاران (۱۳۸۹) نشان دادند که افزایش سطوح کود فسفر باعث افزایش عملکرد کلزا شد.

هرچند کاربرد گوگرد نتوانسته عملکرد دانه را به اندازه کاربرد کود سوپرفسفات افزایش دهد، ولی استفاده از میزان مناسبی ازکود گوگرد همراه با باکتری با توجه به دیگر مزایایی که دارد ازجمله کاهش pH خاک و عدم آلودگی محیط زیست می تواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی باشد.



شکل ۴-۱۶ اثر کود گوگرد بر عملکرد دانه



شکل ۴-۱۷ اثر کود فسفر بر عمکلرد دانه

۴-۱۲- نتیجه گیری کلی

استفاده از کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل و گوگرد توام با تیوباسیلوس توانست بر بسیاری از صفات تأثیر مثبت بگذارد. همچنین مصرف کود سوپرفسفات تریپل باعث افزایش صفاتی مانند فسفر قابل جذب خاک و خاک ریزوسفری و فسفر دانه و برگ گیاه کلزا شد. برخی عوامل از قبیل عدم توسعه جمعیت باکتری تیوباسیلوس، مدت زمان کم برای اکسیداسیون کامل گوگرد، ژنتیک گیاه، وضعیت عناصر خاک، کمبود مواد آلی و برخی عوامل زراعی می‌تواند در نتایج بدست آمده دخیل باشد.

بررسی‌های اکولوژیک نشان داده است که استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی بالاخص کودهـای فسفاته سبب تخریب اکوسیستم‌های زراعی می‌گردد و استفاده از جایگزین‌های مناسب از جمله اهداف کشاورزی اکولوژیک می‌باشد. نتایج این بررسی نشان داد که اسـتفاده از گـوگرد تـوام بـا بـاکتری بـه تنهایی می‌تواند علاوه بر اینکه در صفاتی مانند فسفر قابل جذب خاک و فسفرگیاه معادل اسـتفاده از کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل عملکرد داشته باشد، باعث افزایش میزان عناصر غذایی ریـز مغـذی (روی) به میزان ۱۷/۷ درصد نیز شد و خود به عنوان یک عنصر ضروری برای گیاه بعد از اکسیداسیون مورد استفاده گیاه قرار گیرد. همچنین نتایج این بررسی نشان داد که کاربرد گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس توانست در اثر اکسیداسیون گوگرد و با کاهش pH خاک حلالیت فسفر و سولفات را در خاک ریزوسفری نسبت به غیر ریزوسفری بیشتر افزایش دهد. از سویی در بررسی‌هـای زیـادی نشـان داده شده است که استفاده از کودهای بیولوژیک از جمله گوگرد توام با تیوباسیلوس تأثیر نامناسبی بر بیولوژی و اکولوژی خاک ندارد، اما استفاده از کودهای شـیمیایی مـی‌توانـد باعـث بـرهم زدن تعـادل اکولوژیکی در خاک گردد.

اگرچه دانش ما از میکروبیولوژِی ریزوسفر نسبتاً محدود است ولی روشن است که میکروارگانیسم‌های ریزوسفری نقش مهمی در باروری گیاه و تولید پایدار محصول دارند و بایستی نسبت به گذشته مـورد توجه بیشتری واقع شود. در کشاورزی متداول از ژنوتیپ‌های گیاهی پرمحصول به همراه مقادیر زیـاد کودهای شیمیایی و آفت‌کشها استفاده می‌شود. در این نوع کشاورزی بـه اسـتثنای انـواع بیمارگرهـا، میکروارگانیسم‌های ریزوسفری نقش کوچکی در تولید محصولات زراعی دارند. از طرف دیگـر در یـک راه‌کار مبتنی بر کشاورزی پایدار بایستی میکروارگانیسم‌های ریزوسـفری بـه عنـوان عامـل مهمـی در تولید محصول در نظر گرفته شوند.

۴-۱۳- پیشنهادها

با توجه به نتایج حاصله از این پژوهش جهت انجام بهتر و دقیق‌تر این چنین آزمایشاتی پیشـنهادهای زیر ارائه می‌گردد.

- آزمایش مذکور حداقل یکسال دیگر تکرار شود.

- کود گوگرد با مقادیر مختلف باکتری تیوباسیلوس مورد بررسی قرار گیرد.

- اثر باکتری تیوباسیلوس و سطوح فسفر وگوگرد بر روی سایر گیاهان نیز مورد بررسی قرار گیرد.

- تحقیقات دیگر در رابطه با کاربرد سایر باکتری‌های اکسید کننده گوگرد در موردکلزا انجام گیرد تـا مناسب‌ترین باکتری با کارایی بالاتر انتخاب گردد.

-بهتر است در مورد تعیین وضعیت بقاء باکتری تیوباسیلوس استفاده شده بعد از برداشت محصول نیز تحقیقاتی صورت گیرد.

جدول ۴-۱ جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		فسفرقابل جذب خاک	فسفرقابل جذب خاک ریزوسفری	سولفات قابل جذب خاک	سولفات قابل جذب خاک ریزوسفری	pHخاک
تکرار (R)	۲	۱/۳۶ ns	۰/۱۲ ns	۳۷/۹۰ ns	۲۷۸/۴۲ ns	۰/۰۱ ns
کود فسفر (P)	۲	۷۰/۶۳ **	۳/۷۴ **	۳۲۸/۱۴ ns	۲۱۳/۹۰ ns	۰/۰۰۸ ns
کود گوگرد توام با باکتری(S)	۳	۱۴/۸۵ **	۳۷/۶۷ **	۱۵۵/۰۵ **	۵۵۸/۷۹ **	۰/۷۵ **
S×P	۶	۰/۷۶ ns	۰/۱۹ ns	۳۹/۹۱ ns	۸۶/۶۰ ns	۰/۰۳۲ ns
اشتباه (E)	۲۲	۰/۶۲	۰/۱۸	۶۹/۲۷	۱۲۲/۹۸	۰/۰۸
C.V %		۷/۳۳	۳/۸۷	۲۲/۹	۱۷/۴۹	۳/۷۰

ns، * و ** به ترتیب به مفهوم وجود اختلاف غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۱ ادامه جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		pHخاک ریزوسفر	روی دانه	فسفر دانه	نیتروژن برگ	فسفر برگ	عملکرد دانه
تکرار (R)	۲	۰/۰۴ ns	۳۱/۸۵ **	۰/۰۳ **	۱/۰۱ **	۰/۰۰۰۲ ns	۰/۱۷ **
کود فسفر (P)	۲	۰ ns	۱۴/۲۳ ns	۱/۰۳ **	۰/۲۵ ns	۰/۰۰۳ **	۰/۷۸ **
کود گوگرد توام با باکتری(S)	۳	۱/۰۹ **	۱۵/۹۰ *	۰/۰۱۶ **	۰/۱ **	۰/۰۰۴ **	۰/۲۶ **
S×P	۶	۰/۰۵ ns	۱۱/۳۱ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۹ ns	۰/۰۰۰۴ **	۰/۰۵ ns
اشتباه (E)	۲۲	۰/۱۲	۴/۹۱	۰/۰۰۱	۰/۰۵	۰/۰۰۰۱	۰/۵۳
C.V %		۴/۸۱	۱۳/۶۹	۱۲/۰۲	۵/۴۶	۴/۱۹	۷/۲

ns، * و ** به ترتیب به مفهوم وجود اختلاف غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۲ مقایسه میانگین صفات مورد بررسی خاک و گیاه در سطوح مختلف کود فسفر و گوگرد توام با تیوباسیلوس

تیمار	فسفرقابل جذب خاک	فسفرقابل جذب خاک ریزوسفری (mg/kg)	سولفات قابل جذب خاک (%)	سولفات قابل جذب ریزوسفر (%)	pH خاک (٪)
کود فسفر					
۰ کیلوگرم در هکتار	۸c	۸/۴۶b	۲۹/۳۵a	۲۵/۴۱a	۷/۷۵a
۸۵ کیلوگرم در هکتار	۱۱/۷۸b	۱۱/۳۷a	۲۴/۰۱a	۳۲/۸۵a	۷/۷۵a
۱۳۰کیلوگرم در هکتار	۱۲/۵۷a	۱۱/۴۸a	۲۲/۵a	۲۸/۴۶a	۷/۷۰a
LSD	۰/۶۷	۰/۳۶	۷/۰۴	۹/۳۸	۰/۲۴
گوگرد توام با باکتری					
۰کیلوگرم در هکتار	۹/۳۴c	۸/۹d	۱۷/۷۱b	۲۰/۴۵c	۷/۹۸a
۵۰۰کیلوگرم در هکتار	۱۰/۱۵b	۱۰/۱۴c	۲۷/۳۷a	۲۶/۱۵bc	۷/۹۶a
۱۰۰۰کیلوگرم در هکتار	۱۱/۵a	۱۱/۷۱b	۲۸/۷۷a	۳۱/۹۴ab	۷/۶۱b
۲۰۰۰کیلوگرم در هکتار	۱۲//۱۸a	۱۳/۶۵a	۳۱/۳a	۳۹/۰۶a	۷/۳۸b
LSD	۰/۷۷	۰/۴۲	۸/۱۳	۱۰/۸۴	۰/۲۸

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۴-۲- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی خاک و گیاه در سطوح مختلف کود فسفر و گوگرد توام با تیوباسیلوس

تیمار	pH خاک ریزوسفر	*روی دانه (mg/kg)	فسفر دانه (%)	نیتروژن برگ (%)	فسفر برگ (٪)	عملکرد دانه (ton/ha)
کود فسفر						
۰ کیلوگرم در هکتار	۷/۴۵a	۱۶/۹۳a	۰/۳۱c	۴/۲۱a	۰/۲۴b	۲/۵۰b
۸۵ کیلوگرم در هکتار	۷/۴۵a	۱۶/۶۹a	۰/۳۵b	۴/۲۷a	۰/۲۵a	۲/۵۹b
۱۳۰کیلوگرم در هکتار	۷/۴۵a	۱۴/۹۴a	۰/۴۱a	۴/۳۹a	۰/۲۸a	۲/۹۷a
LSD	۰/۳	۱/۸۷	۰/۰۳	۰/۱۹	۰/۰۰۹	۰/۴
گوگرد توام با باکتری						
۰کیلوگرم در هکتار	۷/۸c	۱۴/۷۶b	۰/۳۳b	۴/۱۵b	۰/۲۴c	۲/۵۳b
۵۰۰کیلوگرم در هکتار	۷/۶c	۱۵/۸۱b	۰/۳۲b	۴/۱۵b	۰/۲۴bc	۲/۷۹ab
۱۰۰۰کیلوگرم در هکتار	۷/۳ab	۱۶/۲۲ab	۰/۳۷a	۴/۵۱a	۰/۲۵b	۲/۸۷a
۲۰۰۰کیلوگرم در هکتار	۷/۰۴a	۱۷/۹۵a	۰/۴۱a	۴/۳۴ab	۰/۲۹a	۲/۵۴b
LSD	۰/۳۵	۲/۱۶	۰/۰۴	۰/۲۲	۰/۰۱	۰/۲

*میانگین‌های این ستون که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ مابقی ستونها در سطح احتمال ۱٪تفاوت معنی‌داری ندارند

منابع

ابراهیم‌زاده ح، ۱۳۸۰. **فیزیولوژی گیاهی**،جلداول،مبحث تغذیه وجذب. ۶۸۹ صفحه، چاپ پنجم. انتشارات دانشگاه تهران،تهران ایران.

احمدی م. ر، ۱۳۷۸. **کیفیت و کاربرد دانه های روغنی**. (تالیف : ناگارا ج) ، نشر آموزش کشاورزی، کرج، ایران.

اخوان ز، فلاح ع، رضایی‌عمروآبادی ش، ۱۳۹۱. "بررسی تاثیرگوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس برغلظت آهن،روی،مسومنگنزدرگیاه کلزادرشرایط گلخانه‌ای". **مجله زارعت واصلاح نباتات** جلد ۸، شماره ۳،صفحات۱۹۱-۱۹۷.

آستارایی ع.ر و کوچکی ع، ۱۳۷۵. **کاربرد کودهای بیولوژیک درکشاورزی پایدار**. (ترجمه).انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۶۸ صفحه.

امامی و نیک نژاد م، ۱۳۸۳. **مقدمه ای بر فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی**. چاپ دوم، ترجمه، انتشارات دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

امانی ف و رئیسی ف، ۱۳۸۶. "تأثیر مصرف گوگرد بر میزان غلظت فسفر، پتاسیم و روی توسط دو رقم سویا". مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران ، کرج.

بشارتی ح، خاوزی ک و صالح راستین ن، ۱۳۷۹. "بررسی قابلیت چند ماده برای تولید مایه تلقیح باکتریهای تیوباسیلوس ومطالعه اثرآن همراه با گوگرد برافزایش جذب برخی از عناصرغذایی ورشد ذرت". **مجله علوم خاک وآب، جلد۱۲، شماره۱۱، صفحات ۱ - ۱۰.**

بشارتی ح، ۱۳۷۷. "بررسی اثرات کاربرد گوگرد همراه با تیوباسیلوس در افزایش قابلیت جذب برخی از عناصر غذایی در خاک". پایان نامه کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

بشارتی ح و صالح راستین ن، ۱۳۸۰. "بررسی تاثیرکاربرد مایه تلقیح باکتری های‌تیوباسیلوس همراه با گوگرد درافزایش قابلیت جذب فسفر".مجموعه مقالات ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک درکشور موسسه تحقیقا خاک وآب، ۳۱۷ - صفحه.

بشارتی ح و صالح راستین ن، ۱۳۷۹. "تاثیر مصرف گوگرد و مایه تلقیح باکتری های تیوباسیلوس برمقدار آهن و روی جذب شده توسط ذرت در شرایط گلخانه". **مجله علوم خاک وآب**، جلد ۱۲، شماره ۷. صفحات ۶۳ تا ۷۲.

بهمنیار م.ع، کریمی ف و شهابی م، ۱۳۹۰." نقش گوگرد و کود دامی بر میزان فسفر قابل جذب خاک و تجمع فسفر در برگ و دانه کلزا در یک خاک آهکی با بافت لومی رسی" دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران، ۱۲ الی ۱۴ شهریور، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

خاوازی ک و ملکوتی م. ج، ۱۳۸۰. "**ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور**" مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ۶۰۴ صفحه.

دهشیری ع، ۱۳۷۸. **زراعت کلزا.** نشریه ترویجی. انتشارات فنی معاونت ترویج.

رشیدی ن. ۱۳۸۲. "بررسی اثرات گوگرد بر غلظت عناصر غذایی کم مصرف و برخی از خصوصیات شیمیایی خاک". مجموعه مقالات سمینار ملی تولید ومصرف گوگرد در کشور، تهران.

رشیدی ن و کریمیان ن. ع، ۱۳۷۸. "تاثیر گوگرد و روی بر رشد و ترکیب شیمیایی ذرت در یک خاک آهکی". چکیده مقالات ششمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه فردوسی مشهد. صفحه ۱۲۴.

رضایی م. ۱۳۸۱." بررسی عملکرد و تجزیه همبستگی و ضرایب مسیر صفات مر تبط با عملکرد دانه و روغن در کلزا". پایان نامه کارشناسی ارشد اصلاح نباتات. دانشکده کشاورزی دانشگاه سیستان و بلوچستان.

سالاردینی ع، ۱۳۶۲. **حاصلخیزی خاک**، انتشارات دانشگاه تهران.

سالاردینی ع، ۱۳۷۱. **حاصلخیزی خاک**. چاپ چهارم. شماره ۱۷۳۹، ۴۴۱ صفحه، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ایران.

سپهر ا، رسولی م. ح و ملکوتی م. ج، ۱۳۸۲. "نقش گوگرد در تغذیه دانه های روغنی". اولین سمینار ملی تولید و مصرف گوگرد در کشور، مشهد، ایران.

سرمدنیا غ. ح و کوچکی ع، ۱۳۷۸. **فیزیولوژی گیاهان زراعی**.جهاد دانشگاهی.

سلیمپور س، کاظم خ، نادیان ح و بشارتی ح، ۱۳۸۹. "تأثیرخاک فسفات همراه با گوگرد و ریزجانداران برعملکرد وترکیب شیمیایی کلزا". **مجله پژوهشهای خاک(علوم خاک وآب)**. جلد۲۴، شماره۱.

سیلسپور م و بانیانی ع، ۱۳۷۹. "امکان سنجی استفاده ازکود میکرو بیوفسفاته درزراعت پنبه با هدف کاهش مصرف کودهای شیمیایی فسفره". چکیده مقالات ششمین کنگره زراعت واصلاح نباتات ایران بابلسرصفحه

شهابی ع. ا و ملکوتی م. ج، ۱۳۸۰. "تأثیر بی کربنات آب آبیاری در سبزینگی و غلظت عناصر غذایی در برگ نهال‌های ارقام مختلف سیب". **مجله علمی پژوهشی خاک و آب (ویژه نامه مصرف کود)** جلد ۱۲، شماره۱۴، صفحات ۱۵۴-۱۶۵ . مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران ، ایران.

شیرین فکر ا و قربانی ف، ۱۳۸۲. "تأثیر گوگرد عنصری بر پ-هاش خاک و قابلیت دسترسی برخی از عناصر غذایی خاک باغ چای". مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران . رشت.

صالح راستین ن، ۱۳۷۰. **بیولوژی خاک** . انتشارات دانشگاه تهران.

صلحی م و درخشنده ع، ۱۳۷۸. "بررسی اثرات گوگرد در قابلیت جذب عناصرکم مصرف بر روی درختان سیب اصفهان"،چکیده مقالات ششمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه فردوسی مشهد . صفحات ۱۶۷ -۱۷۶.

عزیزی م، سلطانی ا و خراسانی خ، ۱۳۷۹. کلزا (تالیف دی آی مک‌گرگور) چاپ اول. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

قول لرعطا م، ۱۳۸۴. پایان‌نامه ارشد: "اثر تلقیح میکوریزایی بر عملکرد شبدر برسیم و جذب عناصر غذایی در سطوح مختلف شوری و فسفر خاک"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

کریمیان ن. ع، ۱۳۷۷. "پیامدهای زیاده‌روی در مصرف کودهای شیمیایی فسفر". **مجله خاک و آب**، جلد ۱۲، شماره ۴، تهران، ایران.

کیانی راد م، ۱۳۷۴. پایان نامه ارشد:"بررسی میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات و تأثیر آنها در کاهش مصرف کودهای فسفره در کشت سویا" دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج.

لطف اللهی م. م، ملکوتی ج، خاوازی ک و بشارتی کلایه ح، ۱۳۷۹. "ارزیابی روشهای مختلف مصرف خاک فسفات در افزایش عملکرد ذرت علوفه ای در کرج. **مجله علمی و پژوهشی خاک و آب** (ویژه نامه تیوباسیلوس و ...)، جلد ۱۲، شماره ۱۱، صفحات ۵۵ تا ۵۹. موسسه خاک و آب تهران، ایران.

محمودی ش و حکیمیان م، ۱۳۷۷. **مبانی خاکشناسی**. انتشارات دانشگاه تهران.

محمودی م، ۱۳۷۸."بررسی روند مصرف و تغییرات فسفر قابل جذب در خاک‌های استان مازندران". دومین همایش ملی توسعه‌ی کاربرد مواد بیولوژیک و استفاده بهینه از کود و سم در کشاورزی نشر آموزش کشاورزی.

مدنی ح، نادری بروجردی غ، آقاجانی ح و پازکی ع. ۱۳۸۹. "مقایسه اثرات مصرف کودهای شیمیایی فسفره و باکتری های حل کننده فسفات در عملکرد دانه، بیولوژ کی و محتوای نسبی فسفر بافت ها در کلزای پائیزه." **مجله زارعت و اصلاح نباتات**، جلد ۶، شماره ۴، صفحات ۱۰۴-۹۳.

مطلبی فرد ر، بشارتی ح، ۱۳۸۶. "تاثیر مصرف مقادیر مختلف گوگرد، تیوباسیلوس و اثرات باقی‌مانده آنها بر خصوصیات شیمیایی خاک و عملکرد کلزا". دهمین کنگره علوم خاک ایران، ۶-۴ شهریور، دانشگاه تهران، تهران. ایران. ص ۴۶۱-۴۶۰.

ملکوتی م. ج، ۱۳۸۴. **کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد با بهینه‌سازی مصرف کود در ایران**. چاپ سوم با بازنگری کامل، انتشارات سنا. تهران، ایران.

ملکوتی م. ج و همایی م، ۱۳۸۳."**حاصلخیزی خاکهای مناطق خشک «مشکلات و راه‌حل‌ها»**" چاپ اول، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۴۹۴ صفحه.

ملکوتی م. ج و سپهر ا، ۱۳۸۲. تغذیه بهینه دانه های روغنی(مجموعه مقالات) . انتشارات خانیران ۴۵۲ ص.

ملکوتی م و ریاضی همدانی ع. ح،۱۳۷۰. **کودها و حاصلخیزی خاک** (ترجمه)، مرکزنشردانشگاهی، تهران، ایران.

نورقلی پور ف. م، ملکوتی ج و خاوازی ک، ۱۳۷۹. "نقش باکتری های تیوباسیلوس و حل کننده های فسفات بر افزایش قابلیت جذب فسفر از منبع خاک فسفات".**مجله علمی و پژوهشی خاک و آب** (ویژه نامه تیوباسیلوس و ...)، جلد ۱۲، شماره ۱۱، صفحات ۴۴ تا ۵۴. موسسه خاک و آب تهران، ایران.

Ahad M. A. and Debnath N. C. 1989. "Phosphorus availability and pH changes in the rhizosphere of rice,maize, soybean, and jute". **J. And. Sci. Ass**, 5: 27-30.

Alam S., Khalil S., Ayub N. and Rashid M. 2002. "In vitro solubilization of inorganic phosphate by phosphate solubilizing microorganism (PSM) from maize rhizosphere". Int. **J. Agri. Biol**., 4, pp 454

Bagayoko M., AlveyS., NeumanG., and A. Buerkert. 2000. "Root induced increase in soil pH and nutrient availability to field-grown cereals and legumes on acid sandy soils of Sudano-Sahelian West Africa"**. Plant Soil**, 225, 117-127.7.

Bahrati C. And PoongothaiS. 2008." Direct and residual effect of sulfur on growth, nutrient uptake, yield and its use efficiency in maiz and subsquent greengram". INSI net Publication **J.Agr. Bio.Sci**, 4(5): 368-372

Barber S.A. 1995.: Sulfur. In: Barber S.A. (ed.): Soil Nutrient Bioavailability. John Wiley and Sons, Inc., New York: 301–310.

Bardiya M . C.,Narula, N. and Vyas S . R.1982. "Effect of inoculation of Thiobacillus on the lucerne crop (*medicago sativa L*.) grown in alkali Soils" . HAU J ,res ,11(4) : 286-290.

Batten G. D. 1992. "A review of phosphorus efficiency in wheat"**. Plant Soil**. 149: 163-168.

Bar-Yosef B. 1991. Root excretions and their environmental effects. Influence on availability of phosphorus. In "plant roots: The Hidden half" (Y. waisel, A.Eshel. and u. kafkafi. Eds). 529-557. Dekker, New York.

Baudoin E., Benziri E., and Guckert A. 2002. "Metabolic fingerprint of microbial communities from distinct maize rhizosphere compartments". **J. Soil Bio** 37, 85e93.

Besharati H, Khavazi K and Saleh-Rastin N, 2001. "Evaluation of some carriers for *Thiobacillus*inoculants used along with sulphur to increase uptake of some nutrients by corn and improve its performance". **Plant S. Sci** 672-673.

Biswas D.R., Narayanasamy G. 2002: "Mobilization of phosphorus from rock phosphate through composting using crop residues". **Fertil. News**, 47: 53–56.

BowenG.D. and RoviraA.D.1992. "the rhizospher: the hidden half of the hidden half. In: Roots:the hidden half. Y, Waisel, A, Eshel and U,kafkafi (eds) pp. 641-669. Marcel dekker inc. New York,USA.

Bucio J. L., Campos-Cuevas J. C., Hermandez-Calderon E., Valasquez-Bacerra C., Faria-Rodriguez R., Macias-Rodriguez L. I., and Valencia-Cantero E. 2007. " Bacillus megaterium rhizobacteria promote growth and alter root system architecture through an

auxin and ethylene-independent signaling mechanism in Arabidopsis thaliana" **J. Plant Mic**. Interactions., 20, pp 207.

Butler J. L., Williams M. A., Bottomley P. J., and Myrold D. D.: "Microbial community dynamics associated with rhizosphere carbon flow", **Appl. Env. Micro**., 69, 6793–6800, 2003.

Chaignon V., Bedin F. and Hinsinger P. 2002: "Copper bioavailability and rhizosphere pH changes as affected by nitrogen supply for tomato and oilseed rape cropped on an acidic and a calcareous soil". **Plant Soil,** 243: 219–228.

Chapman, H. D. and P. F. Pratt. 1961. Methods of analysis for soils, plants, and waters, Priced Publication 4034. Berkley: University of California, Division of Agriculture Sciences.

Chen Y. P., Rekha P. D., Arunshen A. B., Lai W. A. and Young C. C. 2006. "Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities"Appl. **Soil Ecol**., 34, pp 33.

Chung J.B., and Zasoski R.J. 1994. Ammoniumpotassium and ammonium-calcium exchange equilibria in bulk and rhizosphere soil. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 58, 1368-1375.

Cregut M., Piutti S., Vong P.C., Deschames S.S, Crovisier I. and Benizri E. 2009. "Density, structure, and diversity of the cultivable arylsufatase-producing bacterial community in the rhizosphere of fieldgrown rape and barley". **Soil biol and Bio**. 41: 704-710.

Crowley D.E. and Rengel Z. 2002. "Biology and chemistry of nutrient availability in the rhizosphere".In Mineral Nutrition of Crops: Fundamental Mechanisms and Implications, Ed Z Rengel. pp. 1-40. Food Products Press, New York.

Curl E. and Truelove B. 1986. "The rhizospher". Springer verlag. New York.

Dakora F. D. and Phillips D. A. 2003 Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments. In Food security in nutrient-stressed environments: exploring plants' genetic capabilities. Ed. J J Adu-Gyamfi. Kluwer Academic Publishers Dordrecht, The Netherlands.

DanaM. 1992.Determine the effect of manipulating particel size of elemental S on S release rate in order to match this with plant demand. ph.D. Thesis, The University of New England, Armidale, N.S.W.

Dinkelaker B., Römheld V., and Marschner H. 1989."Citric acid excretion and recipitation of calcium citrate in the rhizosphere of white lupin (*Lupinus albus L.*)". **Plant Cell Environ**. 12, 285–292.

Dinkelaker N. and Marschner H. 1992." In vivo demonstrtion of acid phosphatase activity in the rhizospher of soil-grown plants". **Plant Soil** 144:199-205.

Ezawa T., Smith S. E. and Smith F. A. 2002. "P metabolism and transport in AM fungi", **Plant Soil**., 244, pp 221.

Fallah A. 2006. "Abundance and distribution of phosphate solubilizing bacteria and fungi in some soil samples from north of Iran" 18th World Congress of Soil Science, Philadelphia, Pennsylvania, USA.

Foster R. C. 1986. "the ultrastructure of the rhizospher and rhizospher**". Annual Review of Phytopathology** 24:211-234.

Fox R. L. 1976. " sulphur and nitrogen requirements of rugarcane"**.J. Agr.** 68: 891-96.

Gahoonia T.S. and Nielsen N.E. 1992. "The effects of root-induced pH changes on the depletion of inorganic and organic phosphorus in the rhizosphere". **Plant Soil** 143, 185e191.

Gahoonia T. S., Care D. and Nielsen N. E. 1997 "Root hairs and phosphorus acquisition of wheat and barley cultivars"**. Plant Soil** 191,181–188.

Gahoonia T. S. and N. E. Neilsen**.** 1992. "The root induced pH change on the depletion of inorganic and organic phosphorus in the rhizosphere". **Plant Soil**. 143: 241-248.

GardnerW. K., Parberry D. G. and Barber D. A. 1982."The acquisition of phosphorus by Lupinus albus L. I. Some characteristics of thesoil/root interface". **Plant Soil** 68, 19–32.

Gardner W. K., Barber D.A. and Parberry D. G. 1983."The acquisition of phosphorus by Lupinus albus L. III.The probable mechanism by which phosphorus movement in the soil/root interface is enhanced". **Plant Soil** 70, 107–124.

George T.S., Gregory P.J., Robinson J.S and Buresh R.J. 2002. "Changes in phosphorus concentrations and pH in the rhizosphere of some agroforestry and crop species". **Plant Soil** 246:65-73.

Gerke J,. Beissner L,. Romer w. 2000. "The quantitative effect of chemical phosphate mobilisation by carboxylate anions on P uptake by a single root". I. The basic concept and determination of soil parameters**. J. Plant Nutr. soil Sci.** 163:201-212.

Gollany H.T., Schumacher T.E., Rue R.R. and Liu S.Y. 1993."A carbon dioxide microelectrode for in situ pCO2 measurement". **Microchem. J.** 48, 42–49.

Grant A and Bailey L. D. 1993. "Fertilizer management in canola production". **Canadian J. plant Sci**, 73: 651-670.

Greke J. 1994. "Kinetics of soil phosphate desorption as affected by citric acid"**. Plant Soil**. 157: 1-22.

Grierson P.F., 1992. "Organic acids in the rhizosphere of Banksia integrifolia L. f."**Plant Soil**, 144 (2),259-265.

Grinsted M.J., Hedley M.J., White R. E and Nye P. H. 1982."Plantinduced hanges in the rhizosphere of rape (Brassica napus var. Emerald). I. pH changes and the increase in P concentration in the soil solution"**. New Phytol**. 91, 19–29.

Grotz N. and GuerinotM. L. 2002. Limiting nutrients: An old problem with new solutions. **Plant Biol**. 5: 158-163.

HandrksL,. Claassen N. and Jungk A. 1981. "phosphatveramung des wurzelnahen bodens und p Aufnahme von mais und Raps". Zeitschrift fur Pflanzenemahrung und Bodenkunde 144:486-499.

He Z. L., Baligar V. C., MartensD. C. and RitcheyK. D. 1996. "Factors affecting phosphate rock dissolution in acid soil amended with liming materials and cellulose". **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 60:1596-1601.

Hinsinger P. 1998."How do plant roots acquire mineral nutrients? Chemical processes involved in the rhizosphere". **Advances in Agro**, 64,225-265.

Hinsinger P. 2001. "Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes": a review. **Plant Soil** 237, 73e195.

Hinsinger P., PlassardC.,TangC. and B Jaillard. 2003. "Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints": A review. **Plant Soil**, 248: 43-59.

Hinsinger P., GorbanG.R., GregoryP.J. and enzel W.W.W. (2004). Rhizosphere: A unique environment. p. 7. In: Proceedings of First Rhizosphere International Congress, Session1,12-17 September, Munich, Germanyrr.

Hoffland E., Findenegg G.R., Nelemans J.A. 1989. "Solubilization of rock phosphate by rape. II. Local root exudation of organic acids as a response to P-starvation"**. Plant Soil** 113, 161e165.

Hossner L. R., Freeonfj.A.and FolsomB.L. 1973. "Solution phosphorus concent – ration and growth of rice in flooded soils". **Soil sci,so.amproc**. cv:4-5-4-8.

Jaillard B., Plassard C. and Hinsinger P. 2003. Measurement of H+ fluxes and concentrations in the rhizosphere. In Handbook of Soil Acidity. Ed. Z Rengel. pp. 231–66. Marcel Dekker, USA.

Janzen H.H. and BettanyJ.R. 1987. "The effect of tempreture and water potential on sulfur oxidation in soils**". Soil Sci**.144:81-99.

Jianguo H. and L.M. Shuman. 1991. "Phosphorus status and utilization in the rhizosphere of rice". **Soil Sci**.152: 360-364.

Jones D.L. and Darrah P.R., 1994. "Amino-acid influx at the soil-root interface of Zea mays L. and its implications in the rhizosphere". **Plant Soil.** 163, 1e12.

Jones D.L. and Darrah P.R. 1993. "Role of root derived organic acids in the mobilization of nutrients from the rhizosphere". **Plant Soil** 166, 247e257.

KalbasiM,. Filsoof F. and Rezai-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: 1353-1360.

Kalbasi M., ManuchehriN. and F. Filsoof. 1986." Local acidification of soil as a means of alleviate iron chlorosis on quince orchards". **J**. **Plant Nutr**., 9:1001-1007.

Kaplan M. And OrmanS. 1998." Effect of elemental sulfur and sulfur containing waste in a calcareous soil in Turkey"**J**. **Plant Nutr**., 21: 1655 – 1665.

Kaya K., Kucukyumuk K. and Erdal I. 2009. "Effect of elemental sulfur and sulfur containing waste on nutrient concentration and grow of bean and corn plants grow on a calcarewous soil".**Africa j.biotechnology vol**. 8 (18): 4481-150.

Khan M.J., Khan M.H,. Khatak R.A. and Jan. M. T. 2006. "Respons of maiz to different levels of sulfur." Communication in **soil Sci.Plant Anal.**37:41-51.

Killham K.1984. soil Ecology.P.141-150.Cambridge University Press, Cambridge, Great Britain.

Killham K. 1994. Soil ecology, University of Press, Cambridge P:141-150.

Kim K. Y., Jordan D. and McDonald G. A. 1998 "Effect of phosphate solubilizing bacteria and vesicular arbuscular mycorrhizae on tomato growth and soil microbial activity" **Biol**. **Fertil. Soils**., 26, pp79

Kirk G.J.D., Santos, E.E and Findenegg G. R,. 1999b."Phosphate solubilization by organic anion excretion from rice (Oryza sativa L.) growing in aerobic soil". **Plant Soil** 211, 11–18.

Kirk G. J. D. 1999a."A model of phosphate solubilization by organic anion excretion from plant roots"**. Eur. J. Soil Sci**. 50, 369–378.

Kirk G. J. D and Le Van. Du. 1997."Changes in rice root architecture,porosity, and oxygen and proton release under phosphorus deficiency**". New Phytol**. 135, 191–200.

Kraus M., FussederA. and Beck E. 1987."In situ-determination of the phosphate-gradient around a root by radioautography of frozen soil sections". **Plant Soil**. 97, 407–418.

Kittams H. H. And AttoeO. J. 1987. "Availability of P in rock phosphate sulfur fusion". **Agron. J.,** 57: 331 – 334.

Kuske C.R., Ticknor L.O., Miller M.E., Dunbar J.M., Davis J.A., BarnsS.M., Belnap J., 2002. "Comparison of soil bacterial communities in rhizospheres of three plant species and the interspaces in an aridgrassland". **App and Envir Microb**. 68, 1854–1863.

Kuchenbuch R. and Jungk A. 1982."A method for determining concentration profiles at the soil-root interface by thin slicing rhizospheric soil". **Plant Soil**. 68, 391-394.

Kuenen J.G. 1989. Coloress sulfur bacteri. P. 1834 – 1836. IN J. T. Staley (ed.). Bargeys manual of systematic bacteriology, Vol. 3. 9th. William & William, Baltimore.

Lipton D.S., Blanchar R.W. and Blevins D.G.1987 Citrate."malate and succinate concentration in exudates from P-sufficient and Pstressed Medicago sativa L. Seedlings". **Plant Physiol**. 85, 315317.

Lindsay W.L. Vlek P.L.G. and Chien S. H. 1989."Phosphate minerals. In Minerals in soil environment", 2nd edn. Eds J B Dixon and S B Weed. pp. 1089–1130. **Soil Sci Soci .America, Mad**, WI, USA

Liu Z.Y., ShiW.M. and FanX.H. 1990. "The rhizosphere affects on phosphorus and iron in soils". p. 147-152. In: Transactions 14th Int. Cong. Soil Sci. Kyoto, Japan. Vol. II.

Loss S.P., Robson A.D. and Ritchie G.G.P. 2003. "H+/OH- Excretion and Nutrient Uptake in Upper and Lower Parts of Lupin (Lupinus angustifolius L.) Root Systems". **Ann. Bot.** 315–320.

Lynch .M. and Whipps J.M. (1983). "Substrate flow and utilization in the rhizosphere of cereals". **New Phytologist** 95, 605-623.

Lynchj. M and Whipps J. M. 1990."Substrate flow in the rhizospher". **Plant soil** 129: 1-10.

Malakouti, M. J., K. Khavazi, H. Besharati, and F. Nourgholipour. 2001. Review on the direct application of rock phosphate on the calcareous soils of Iran (country report). International Meeting on Direct Application of Rock Phosphate and related Appropriate Technology-Latest Development and Practical Experiences. Kualalumpur, Malaysia.

Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher Plants. Academic Press, London 912 pp.

Marschner H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Edition. Academic Press, London.

Marschner H. 1998. "Role of root growth, arbuscular mycorrhiza, and root exudates for the efficiency in nutrient acquisition". **Field Crops Res**. 56: 203-207.

Marschner, H. 1991. Mechanisms of adoptation of plants to acid soils. **Plant Soil** 134, 1-20.

McGrath S.P., ShenZ.G. and Zhao F.J., 1997. "Heavy metal uptake and chemical changes in the rhizosphere of *Thlaspi caerulescens* and *Thlaspi ochroleucum* grown in contaminated soils". **Plant Soil** 188, 153–159.

Modaihsh S., Al – mustafaW. A. and MetwallyA. E. 1989. "Effect of elemental sulfur on chemical changes and nutrient availability in calcareous soils". **Plant Soil**. 116:95 – 101.

Moorby H. White R. E. and P. H. Nye 1988. "The influence of phosphate nutrition on H ion effrom the roots of young rape plants". **Plant Soil** , 105 (2) : 247-256.

Nagarajah S., Posner, A. M., and Quirk, J. P., 1970. Desorption of phosphate from kaolinite by citrate and bicarbonate. **Soil Sci. Soc. Am. Proc**. 32, 507–510.

Narayanasamy G. and Biswas D.R. 2002.: "Mobilization of phosphorus from rock phosphate through composting using crop residues". **Fertil. News**, 47: 53–56.

Norton j.M., Smith J.L. and FirestoneM.K. 1990." Carbon flow in the rhizospher".**Soil Biol. Biochem.** 22,449-455.

Nor Y. M. And Tabatabai M. A. 1977. Oxidation of elemental sulfurt in soils. Soil **Sci. Am. J., 141: 736 –741.**

Nunan N., Daniell T.J., Singh B.K., PapertA., McNicolJ.W. and Prosser J.I. 2005."Links between plant and rhizoplane bacterial communities in grassland soils characterized using molecular techniques". **App Envir. Microbi**. 71,6784-6792.

Nye P. H. 1981."Changes of pH across the rhizosphere induced by roots. **Plant Soil**" 61, 7–26.

Nor Y. M. And Tabatabai M. A. 1977. "Oxidation of elemental sulfur in soils". **Soil Sci. Am.J**., 141: 736 –741.

Olsen, S.R., and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. In: C.A. Page (ed.), Methods of soil Analysis. 2nd ed. Agronomy series, part 2, Soil Sci. AM. Inc. 9: 403-430.

Petersen W. and Böttger M. 1991."Contribution of organic acids to the acidification of the rhizosphere of maize seedlings". **Plant Soil** 132, 159–163.

Penkin C. F. 1977. "Invention, relating to mixing phosphate sulfur". **U. S. Patent**. 193:896.

Perez E. Sulbaran M. Ball M. M. and Yarzabal L. A. (2007) "Isolation and characterization of mineral phosphate solubilizing bacteria naturally colonizing a

limonitic crust in the south-eastern Venezuelan region" **Soil Biol. Biochem**., 39, pp 2905.

Quesnoit M,. Chaignon V. and Hinsinger P. 2002. "Copper availability and bioavailability are controlled by rhizosphere pH in rape grown in an acidic Cu-contaminated soil". **Envir. Pollution**, 3363–3369.

Rahman M.N., Sayem S.M., Alam M.K., Islam M.S. and Mondol A.T. 2007. "Influence of sulphur on nutrient content and uptake by rice and its balance in old Brahmaputra floodplain soil". **J. Soil Natur**1. (3):1-10.

Razeto, B. 1982."Treatment of iron chlorosis in peach trees". **J. Plant Nutr**., 5:917-922.

Riley D. and BarberS.A. 1969. Bicarbonate accumulation and pH changes at the soybean (Glycine max (L.) Merr.) root-soil interface. Soil Sci. Soc. Am. J. 33:905–908. doi:10.2136/ sssaj1969.03615995003300060031x

Romheld V. 1990. "The soil-root interface in relation to mineral nutrition". **Symbiosis**, 9: 19-27.

Romheld V.1986. "pH changes in the rhizospher of various crop plants in relation to the supply of plant nutrients". Potash Review 12:1-12

Romheld V. 2004. "Root-induced changes of lead availability in the rhizosphere of Oryza sativa L. Agriculture", **Ecos. Enviro**. 104 : 605–613.

Rosa m. S., muchovej R. M. C., Muchovejj. J. And v. H. Alvarez. 1989. "Temporial relations of phosphorus fractions in an oxisol amended with rock phosphate and thiobacillus thiooxidans". **Soil sci. Soci**. Am. J. 53: 1096 – 1100.

Ryan P.R., Delhaize E., Randall P.J. 2004. Malate efflux from root apices and tolerance to aluminium are highly correlated in wheat**. Aust J. Plant Phys** 22:531–536.

SalequeA.A. and G.J.D. Kirk. 1995. "Root-induced solobilization of phosphate in the rhizosphere of lowland rice"**. New phytologist**, 129: 325-336.

Schonwitz R. and ZiglerH. 1989."Interaction of maiz roots and rhizospher microorganism". Zeitschrift fur pflanzenernahrung and bodenkunde 152:217-222.

Shen Y., StromL., JonssonJ. A.,Tyler G. 2004. Low-molecular organic-acids in the rhizosphere soil solution of beech forest (Fagus sylvatical L.) cambisols determined by ion chromatography using supported liquid membrane enrichment technique. **Soil Biol. Biochem**., 28: 1163-1169.

Shuman L.M. and Wang e. J. 1997. "Effectof ricevarietyonzinc, cadmium, iron, and manganesecontentinrhizospherandnon-rhizosphersoil fraction", Communications in soil science and plant analysis, 28(1-2), , pp. 23-36.

Singh A. L. and Chaudhari V. 1997. "Sulfur and micronutrient of groundnut in a calcareous soil". **J. Agron. Crop Sc**i., 179: 107- 114.

Singh B., Rengel Z.and Bowden J.W. 2006. "Carbon, nitrogen and sulphur cycling following incorporation of canola residue of different sizes into a nutrient-poor sandy soil. **Soil Bio Bioch**. 38: 32-42.

Singh H.G. and SahuM.P. 1986. "Response of oilseed to sulfur". **Fertilizer News.** 31(9):23-30

Singh V., Parashar A. K. And Mehta V. S. 1991. "Soil sulphur status and response of lenil to sulphur in relation to calcium**". J. Indian Soc. Soil Sci**., 39:727-729.

Spinks J. W. T. and Barber S. A. 1947. "Study of fertilizer uptake using radioactive phosphorus"**. Sci,. Agron**., 27:145-155.

Smith 2002. Bacterial activity along a young barley root measured by the thymindine and leucine incorporation techniques. **Soil Bio Bioch.** 30: 1259-1268.

Stvenson F. J. and ColeM. A. 1999." Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulphur Micronurients". Second Edition. John Wiley and **Sons Inc. New York.**

Tabatabai M. A. 1986. "Sulfur in Agriculture". **Am. Sci. Agron. Madison**, Wi., U.S.

Tabatabai M. A. 1984. "Importance of sulfur in crop production". **Biogeochemistry** 1: 45-62. Dio: 10.1007/BF02181120.

Tang., Shen J., LiR,. Zhang.,Fan F. J and Rengel. C. Z. (2004)." Crop yield, soil fertility and phosphorus fractions in response to long-term fertilization under the rice monoculture system on a calcareous soil". **Field Crops Rese**, 86, 225-238.

Tao G., Tian S., Cai M. and Xie G.2003"Phosphate solubilizing and mineralizing abilities of bacteria isolated from soils" **Pedosphere**.,18, pp 515.

Thomas R.S., Dakession S., Ames R. N., Brwon M.S. and Bethlenfalvay G.J.1986. Agrigation of a silty clay loam by mycorrhizal onion roots. **Soil Sci. Soc** . Am. JH., 50: 1494-1499.

Tisdale S.L., Nelson J.D. Beaton and HavlinJ. L. 1993**. Soil Fert and Ferti.**5th ed. Mcmillon Publising co., New York

Vitolins M. I. and Swahy R. J. 1969. "Oxidation of elemental sulfur contain Ti-obasillus". **Aus J.soil Rese** .7: 171-83.

Wainwright M. 1984. Sulfur oxidation in soils. **Advances in Agro**,37:349

Wallace A., Samman, Y.S. and Wallace G. A. 1982 . "Correction of lime-induced chlorosis in soyabean in glasshouse with sulfur and acidifying iron compound"**. J. Plant Nutr**., 5(4-7):49-953

Wang Q. R., Li J. Y., Li Z. S and Christie P. 2005 Screening Chinese wheat germplasm for

phosphorus efficiency in calcareous soils. **J. Plant Nutr** 28:489–505.

Wang Z.Y., KellyJ.M. and KovarJ.L. 2004. In situ dynamics of phosphorus in the rhizosphere solution of five species. **J.Envir. Quality**, 33, 1387-1392.

Westermann D.T. 1975. "Indexes of sulfur deficiency in alfalfa". II. Plant analyses. J. **Agr.** 67, 265-268.

Whitehouse M. J. and StrongW. M. 1977. "Comparison of biosuper withsuperphosphate as a phosphatic fertilizer for wheat". **Queensland J. Agric. Animal Sci**.,34(2): 205-211.

Whitelaw M. A. 2000 "Growth promotion of plants inoculated with phosphate solubilizing fungi" **Adv. Agron**., 69, pp 99.

Yuan L. and Huang J.G. 1995. Dynamics of soil P in the rhizosphere of hybrid rice plants and its utilization. **J.Southwest Agri. Univ**. 17, 440-442.

Zoysa G. N. De., NandasenaK.A. Latiffh M.A. And S. Marikar. 2001. "comparision Of chemical extraction methodes for determination of available phosphorus in soils". Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Peradeniya.

Abstract

Applying sulphur coupled with thiobacillus bacteria to soil is one of useful strategies to increase phytoavailability of nutrients. An experiment was conducted in a randomized complete block design in different rates of phosphorous and sulphur with three replication on canola plant. Phosphorus treatment included triple superphosphate fertilizer in three levels (0, 85 and 130 kg ha-1) and sulphur treatment included in four levels (1. No sulphur, 2. Applying 500 kg S + 10 kg thiobacillus inoculums per hectare, 3. Applying 1000 kg S + 20 kg thiobacillus inoculums per hectare, 4. Applying 2000 kg S + 20 kg thiobacillus inoculums per hectare). The results showed that application of sulphur and thiobacillus increased significantly soil available sulphate about 76% and soil available phosphorous about 30/4% when compared to the control. It also increased some characteristics of the plant such as grain yield, phosphorus of the leaf and grain and zinc of the grain. Superphosphate application also increased significantly soil available phosphorous and grain yield. Applying 2000 kg S + 20 kg thiobacillus inoculums per hectare decreased soil pH about 0/6 unit when compared to the control. Applying sulphur coupled with thiobacillus bacteria can be suitable replacement for superphosphate fertilizer for supply the required phosphorus canola.

Key words: canola, sulphur, thiobacillus, phosphorus, triple superphosphate fertilizer, nitrogen.

Shahrood University

Faculty of Agriculture

Evaluation of phosphorus solubility in the rhizosphere of canola by application of different levels of sulfur with thiobacillus bacteria

Morteza Saadat Poor Moghadam

Supervisors:

Dr. Ali Abbaspoor

Dr. Shahin Shahsavani

Advisors:

Dr. Manochehr Gholipoor

Mohammad Salahi

September 2013