بررسي كارآيي گوگرد و مايه تلقيح باكتري هاي جنس تيوباسيلوس بر جذب فسفر و عملكرد گندم در خاكهاي آهكي مختلف

حسين بشارتي[۱*]، سيد احمد سادات نوري[۲]، اميربرديانيكنيايي[۳]، حميدايران نژاد[۴] ، علي اكبري[۵] و عليرضا فلاح نصرت آبادي[۶]

[۱، ۶] استاديار پژوهش موسسه تحقيقات خاك و آب تهران [۲، ۴، ۵] دانشيار پرديس ابوريحان دانشگاه تهران

[۳] دانشجوي كارشناسي ارشد زراعت پرديس ابوريحان دانشگاه تهران

چكيده

استفاده از گوگرد به منظور كاهش pH خاك (حتي بطور موضعي) يكي از روشهاي افزايش حلاليت عناصر تثبيت شده در خاكهاي آهكي محسوب مي‌شود. شرط بهره‌گيري از توان بالقوه گوگرد، حضور ريزجانداران اكسيد كننده اين ماده به ويژه باكتري‌هاي جنس تيوباسيلوس در خاك مي‌باشد.با توجه به اهميت موضوع واهميت كشت گياه گندم در ايران طرح حاضر در ايستگاه تحقيقات خاک و آب كرج انجام گرفت. در يک آزمايش فاكتوريل با طرح كا ملا تصادفي تاثير سه عامل خاک،گوگرد و مايه تلقيح تيوباسيلوس بر روي عملكرد بيولوژيک،عملكرد دانه و فسفر جذب شده گياه مورد بررسي قرار گرفت. در اين پژوهش هشت تيمار گوگرد(مقداري از گوگرد كه بتواند با ۰/۵ ، ۱،۲ ، ۴،۸،۱۲،۱۶ و۲۰درصد مواد خنثي شونده خاک واكنش دهد) سه تيمار خاک(خاكهايي با درصد مواد خنثي شونده ۸/۵ ، ۱۷ و ۲۳درصد) و دو تيمار با وبدون باكتري تيوباسيلوس) در چهار تكرار منظور شدند و در كل در۲۱۶ گلدان گياه گندم كشت شد. تجزيه واريانس داده ها نشان داد كه اثر اصلي مايه تلقيح تيوباسيلوس ، گوگرد و خاک بر عملكرد دانه، عملكرد بيولوژيک، غلظت فسفر اندام هوايي گندم و مقدار فسفر جذب شده توسط بخش هوايي گندم در سطح يک درصد معني دار مي باشد. همچنين اثر متقابل باكتري و گوگرد بر عملكرد دانه گندم معني‌دار بود،بطوريكه تيمار چهارم گوگرد(مقدار گوگردي كه بتواند با ۴ درصد مواد خنثي شونده واكنش دهد)همراه با مايه تلقيح تيوباسيلوس،عملكرد دانه گندم را ۱۶/۷ درصد نسبت به شاهد افزايش دادهمچنين اثر متقابل باكتري و خاک در سطح يک درصد بر غلظت فسفراندام هوايي گياه(درصد) معني دار گرديد،بطوريكه تيمار خاک پسوه (داراي ۱۷درصد مواد خنثي شونده)هنگاميكه با مايه تلقيح تيوباسيلوس همراه بود با غلظت فسفر ۰/۲۱درصد بيشترين غلظت فسفر اندام هوايي گياه را به خود اختصاص داد، اين تيمار غلظت فسفر اندام هوايي گياه را ۱۴/۲۱ درصد نسبت به شاهد افزايش داد. بطور كلي مصرف مايه تلقيح تيوباسيلوس در مقايسه با شاهد تلقيح نشده عملكرد دانه،عملكرد بيولوژيک ،فسفر جذب شده و غلظت فسفر در بخش هوايي گندم را به ترتيب ۱۴/۷۴ ، ۱۵/۰ ،۳۴/۴۰و ۱۲/۶۰ درصد افزايش داد.سطوح سوم و چهارم گوگرد از لحاظ عملكرد دانه،عملكرد بيولوژيک و فسفر جذب شده بهتر از تيمار شاهد و ساير تيمارها ظاهر شده و با آنها تفاوت معني دار نشان دادند ولي بين اين دو تيمار تفاوت معني دار وجود نداشت.

واژه هاي كليدي: گوگرد، مايه تلقيح، تيوباسيلوس، گندم، فسفر

مقدمه

مواد مادري آهكي و كم بودن نزولات آسماني سبب تحول و پيدايش خاك‌هاي آهكي و قليايي در اكثر نقاط ايران شده است. بررسي وضعيت عناصر غذايي در خاكهاي آهكي و قليايي نشان مي‌دهد كه عليرغم وجود مقادير فراوان برخي از عناصر غذايي (مانند فسفر، آهن و روي) در اين خاك‌ها، فرم محلول و قابل جذب اين عناصر كمتر از مقدار لازم براي رشد و نمو مناسب گياه بوده و كمبود عناصر غذايي يكي از عوامل محدود كننده توليد محصول در اين خاك‌ها محسوب مي‌شود (Modaihsh et al.,1989; Pathirathna et al., 1989; Tisdale et al.,1993). يكي از روش‌هاي متداول جهت رفع كمبود عناصر غذايي در خاك‌هاي آهكي استفاده از كودهاي شيميايي حاوي اين عناصر مي‌باشد. اما اين روش چندان مؤثر و كارا نيست، به عنوان مثال در خصوص فسفر، علاوه بر قيمت فزاينده كودهاي فسفري، بازده آنها در خاك‌هاي مذكور بسيار كم بوده و از ۲۰درصد تجاوز نمي‌كند (Spinks and Barber,1947 ;Tisdale et al.,1993). شور شدن خاك، آلوده شدن آب ها و بروز پديده اوتريفيكاسيون و مرگ بسياري از آبزيان از جمله مشكلات ديگر كاربرد كودهاي شيميايي محسوب مي‌شوند. از سوي ديگر

* پست الكترونيك مكاتبه كننده: hbesharaty@yahoo.com

کودهاي شيميايي به طور موقت جايگزين مواد غذايي از دست رفته مي‌شوند و قادر به تجديد حاصلخيزي و حفظ سلامت خاك نمي‌باشند به علاوه استفاده از اين كودها سبب وابسته شدن اكوسيستم‌هاي زراعي به نهاده‌هاي خارجي و ناپايدار شدن آنها مي‌گردد. قيمت اين كودها تابع قيمت جهاني نفت و خارج از دست توليد كنندگان است كه اين موضوع آنها را بيش از پيش خطر پذير مي‌سازد (Glisman,2002).

استفاده از كودهاي بيولوژيك به عنوان مكمل و جايگزين كودهاي شيميايي يكي از راهكارهاي كاهش مصرف كودهاي شيميايي است كه در سال‌هاي اخير مورد توجه فراوان قرار گرفته است. كود بيولوژيك به ماده‌اي جامد، مايع يا نيمه جامد حاوي موجودات زندة مفيد خاكزي يا متابوليت‌هاي آنها اتلاق مي‌گردد كه قادر است به نحوي در تأمين عناصر غذايي مورد نياز گياه و افزايش قابل توجه عملكرد يا بهبود خواص فيزيكي و همچنين خواص شيميايي خاك مؤثر باشد (Kaplan and Orman,1998). كود بيولوژيك گوگردي يكي از اين كودهاست كه از طريق اكسايش گوگرد توسط ميكروارگانيسم‌هاي اكسيد كنندة گوگرد به جذب گوگرد و ساير عناصر غذايي مانند فسفر و آهن و روي، اصلاح خاك‌هاي شور و سديمي و افزايش عملكرد گياه كمك مي‌كند (Khavazi et al.,2001).

در خاك‌هاي آهكي و قليايي كه بيشتر خاك‌هاي ايران را تشكيل مي‌دهند با وجود مقادير فراوان برخي از عناصر مانند: فسفر و آهن و روي فرم قابل جذب اين عناصر كمتر از مقدار لازم براي رشد مناسب گياه مي‌باشد براي رفع اين مشكل استفاده از گوگرد به عنوان مادة اصلاح كننده در اين نوع خاك‌ها مورد توجه قرار گرفته است. مصرف گوگرد با توليد اسيدسولفوريك در خاك باعث كاهش pH خاك شده و قابليت جذب برخي عناصر افزايش مي‌يابد. به دليل كند بودن سرعت اكسايش گوگرد در خاك و با توجه به مسائل اكولوژيك و جنبه‌هاي كشاورزي پايدار استفاده از گوگرد همراه با باكتري‌هاي تيوباسيلوس در بسياري موارد نتايج سودمندي در اصلاح خاك و بهبود وضعيت تغذيه گياه به دنبال داشته است (Bardiya et al.,1982 ;Besharati et al., 1998).

گونه‌هاي جنس تيوباسيلوس از مهم‌ترين انواع اكسيد كننده‌هاي گوگرد در خاك هستند كه قادرند تركيبات مختلف گوگردي را اكسيد نمايند. تركيباتي مانند: گوگرد عنصري، سولفيت‌ها، تتراتيوناتها (S_4O_6) و تيوسولفات‌ها به وسيله اين باكتري‌ها اكسيد مي‌گردند. باكتري‌هاي جنس تيوباسيلوس از انواع اتوتروف خاكزي هستند كه به انواع اجباري و اختياري تقسيم مي‌گردند (Killham,1994). استفاده از توان بالقوه گوگرد وقتي مؤثر و نتيجه بخش خواهد بود كه پس از مصرف به اندازه كافي در خاك اكسيد گردد. قسمت اعظم گوگرد مصرف شده توسط ميكروارگانيسم‌هاي مختلف اكسيد مي‌گردد (Killham,1994; McCready and Krouse,1982; Tabatabai,1986). مهمترين اكسيدكنندگان گوگرد در خاك‌هاي كشاورزي باكتري‌هاي جنس تيوباسيلوس مي‌باشند. (Tabatabai,1986; Wainwright, 1984). به علت محدود بودن جمعيت و تنوع باكتري‌هاي تيوباسيلوس در خاك‌هاي آهكي (Rupela and Taura,1973)، استفاده از گوگرد همراه با باكتري‌هاي تيوباسيلوس به علت افزايش سرعت اكسيداسيون گوگرد در خاك، نتايج سودمندي را در اصلاح خاك و بهبود وضعيت تغذيه گياهان به دنبال داشته است (Bardiya et al.,1982; McCready and Krouse, 1982; Pathirathna et al.,1989; Zapata and Roy 2004) Besharati et al. (1998) طي آزمايشي نشان دادند مصرف گوگرد به تنهايي نتوانست تأثير معني داري بر عملكرد ذرت و جذب فسفر و آهن توسط گياه ذرت داشته باشد. اين محققين عدم اكسايش گوگرد كه ناشي از جمعيت كم اكسيد كننده‌هاي گوگرد در خاك بود به عنوان دليل اصلي عدم تاثير عنوان شده است اين در حالي بود كه عملكرد در تيمارهاي تلقيح شده نسبت به تيمارهاي بدون تلقيح حدود ۱۲/۵% افزايش نشان داد. فسفر يكي از مهمترين عناصر مورد نياز گياه مي‌باشد. اين عنصر داراي تأثيرات مثبتي بر روي ريشه‌ها، پنجه زني و مقاومت گياه (به خصوص گندم) به سرماي زمستان و خوابيدگي داشته، همچنين باعث افزايش سودمندي ازت مي‌گردد و در ساخت مواد انرژي زا در درون گياه نقش دارد (Nourmohamdi et al.,2002).

در خاك‌هاي آهكي تركيبات فسفاته داراي حلاليت كم و آزاد سازي فسفر نيز در اين خاك‌ها اندك است (Salardini,1992). فسفر قابل جذب خاك توسط عواملي نظير pH، تراكم ريشه، رطوبت و بافت خاك تعيين مي‌گردد (Nourmohamdi et al.,2002) براي جبران كمبود فسفر در خاك‌هاي قليايي معمولاً از كودهاي شيميايي استفاده مي‌كنند در حالي كه اين كودها در اين نوع خاك‌ها راندمان پايييني دارند (Rosa et al.,1989). براي افزايش جذب فسفر در خاك و يا افزايش راندمان استفاده از خاك فسفات استفاده از مواد اسيدزا رايج گرديده است گوگرد يكي از اين مواد اسيدزا مي‌باشد كه سبب كاهش pH اين خاك‌ها به صورت موضعي و به صورت محلول در آوردن فسفر و ساير عناصر براي گياه مي‌شود. (Besharati et al., 1998) ولي گوگرد به تنهايي چندان مؤثر نبوده و استفاده از آن به همراه باكتري‌هاي تيوباسيلوس بهترين و اقتصادي‌ترين روش مي‌باشد (Kochakzade et al.,2000) در

بسياري از نقاط جهان مانند چين، هندوستان و ايالات متحده براي افزايش كارايي مصرف خاك فسفات آن را با گوگرد مخلوط كرده و از باكتري‌هاي تيوباسيلوس براي تشديد اكسايش گوگرد استفاده كرده و يك كود فسفري بنام بيوسوپر يا سوپر فسفات بيولوژيك توليد مي‌نمايند (Pathirathna et al.,1989). Besharati et al. (۲۰۰۰) طي آزمايشي نشان دادند استفاده از خاك فسفات همراه گوگرد و تيوباسيلوس باعث افزايش عملكرد در گياه ذرت نسبت به شاهد گرديد و در مقايسه با كود شيميايي سوپر فسفات تريپل اختلاف عملكرد معني‌داري نشان نداده است.

swaby(۱۹۷۵) گوگرد پودري و آپاتيت را به نسبت ۱:۵ مخلوط و يك بار بدون افزودن باكتري‌هاي تيوباسيلوس آن را گرانوله و سولفافس (*Sulphaphos*) ناميد. وي بار ديگر خاك حاوي باكتري‌هاي تيوباسيلوس را به آن افزود و آن را گرانوله و بيوسوپر (*Biosuper*) نام گذاشت و اثر اين دو نوع كود را در مقايسه با كود شيميايي سوپر فسفات تريپل روي محصولات در گلخانه و مزرعه بررسي نمود. نتايج آزمايش‌هاي او در سه سال متوالي نشان داد كه اگر ميزان عملكرد و فسفر جذب شده حاصل از مصرف سوپر فسفات تريپل در گلخانه به ترتيب ۱۰۰و ۱۰۰ در نظر گرفته شوند، اين ارقام در مورد بيوسوپر ۸۱ و ۷۲ و در مورد سولفافس ۲۶ و ۳۱ مي‌باشند. ميزان سولفات جذب شده در تيمار بيوسوپر نيز ۱/۳۵ برابر ميزان آن در تيمار سوپر فسفات تريپل، گزارش گرديد. عملكرد، فسفر و سولفات جذب شده حاصل از مصرف بيوسوپر در مزرعه، بهتر از سوپر فسفات بود در حالي كه سولفافس فقط حدود ۲۰ درصد سوپر فسفات كارايي داشت.

در آزمايشي مشابه، تاثير استفاده از خاك فسفات، گوگرد، ماده آلي و باكتري‌هاي تيوباسيلوس در افزايش قابليت جذب فسفر و تامين فسفر مورد نياز سورگوم در گلدان مورد بررسي قرار گرفت. حلاليت فسفر و جذب آن توسط سورگوم در تيمار گوگرد + تيوباسيلوس + ماده آلي به حدي بود كه عملكرد گياه در اين تيمار به اندازه عملكرد ناشي از مصرف سوپر فسفات تريپل بود (Rosa et al.,1989).

در يك آزمايش مزرعه‌اي تأثير مصرف گوگرد و تلقيح باكتري‌هاي تيوباسيلوس بر افزايش قابليت جذب فسفر توسط ذرت در سه خاك آهكي بررسي شد. بيشترين عملكرد دانه ذرت مربوط به تيمار گوگرد + تيوباسيلوس + سوپر فسفات بود كه با عملكرد ناشي از تيمار گوگرد + تيوباسيلوس تفاوت معني‌دار نداشت (Deluca et al., 1988). Schofield et al. (۱۹۸۱) استفاده از بيوسوپر (مخلوط خاك فسفات، گوگرد و باكتري‌هاي تيوباسيلوس) را به عنوان كود فسفري در سه خاك آهكي متفاوت بر روي گندم ارزيابي و گزارش نمودند كه در دو خاك مورد آزمايش، ميزان فسفر جذب شده در تيمارهاي تيوباسيلوس، گوگرد، گوگرد+ تيوباسيلوس و كود سوپر فسفات به ترتيب ۳/۶، ۳/۹، ٤/۱ و ٤/۵ ميلي‌گرم در گلدان و عملكرد گندم در تيمارهاي مذكور به ترتيب ۱/۷، ۱/۸، ۱/۸ و ۱/۹ گرم در گلدان به دست آمد. Jaggi et al. (۲۰۰۵)، تأثير كاربرد گوگرد عنصري را در سه رژيم رطوبتي مختلف (۴۰، ۶۰ و ۱۲۰درصد) و سه رژيم دمايي متفاوت (۱۲، ۲٤ و ۳٦ درجه سانتي‌گراد) بر تغييرات pH و قابليت دسترسي فسفر در سه نوع خاك، اسيدي (pH= ٤/۹)، خنثي (pH= ۷/۱) و قليايي (pH = ۱۰/۲) مورد بررسي قرار دادند. نتايج نشان داد كه اكسيداسيون گوگرد باعث كاهش pH خاك قليايي گرديد و در نتيجه باعث افزايش غلظت فسفر قابل دسترس شد. در يک آزمايش گلداني، گوگرد (۰/۵ درصد) و باكتري‌هاي تيوباسيلوس ($۱۰^{٦}$ cfu ml^{-1}) قبل از كشت ذرت به خاک آهكي اضافه شدند. فسفر جذب شده در تيمارهاي شاهد، تيوباسيلوس، گوگرد و گوگرد+ تيوباسيلوس به ترتيب ۱۰/۱۶، ۱۰/۸۰، ۱۸/۸۳ و ۳۵/۳۹ ميلي‌گرم در گلدان بودند. وزن خشک ذرت در تيمارهاي يادشده به ترتيب ۱۰/۳، ۱۱/۱، ۱۱/۷ و ۲۰/۳۱ گرم در گلدان بودند (Besharati, 1999). اثر تلقيح باكتري‌هاي تيوباسيلوس بر رشد يونجه در دو خاك قليايي بررسي و مشخص شد كه در مجموع دو برداشت، وزن خشك يونجه در خاك اول در تيمارهاي شاهد، گوگرد، گچ، تيوباسيلوس تيواكسيدانس، تيوباسيلوس نئاپوليتانوس، گوگرد+ تيوباسيلوس تيواكسيدانس و گوگرد + تيوباسيلوس نئاپوليتانوس به ترتيب ۳/۳، ۵/۰، ۵/۸، ٤/٦، ۵/۰، ٦/۲ و ۸/۹ و در خاك دوم به ترتيب ۳/۵، ٤/۲، ۵/۹، ٤/۰، ۳/٦، ٦/۷ و ۸/۲ گرم در گلدان بودند. (Bardiya et al.,1982). استفاده از خاك فسفات به همراه گوگرد و باكتري‌هاي تيوباسيلوس توانست بخش قابل توجهي از فسفر مورد نياز گياه ذرت را تأمين نمايد (Kochakzade et al.,2000).

گندم به عنوان مهمترين محصول كشور داراي بيشترين سطح زير كشت مي‌باشد (Nourmohamdi et al.,2002) و در اكثر مناطق كشور اراضي زير كشت گندم داراي خاك‌هاي آهكي و قليايي مي‌باشند. از طرفي افزايش توليد گندم در واحد سطح از اهداف برنامه وزارت كشاورزي است. لذا تحقيق حاضر به منظور استفاده از گوگرد و باكتري‌هاي تيوباسيلوس در افزايش قابليت جذب فسفر و افزايش عملكرد گندم در چند خاک آهكي مختلف در شرايط گلخانه اجرا گرديد.

مواد و روش‌ها

تحقيق حاضر در گلخانه ايستگاه تحقيقات خاك و آب كرج در سال زراعي ۸۵-۱۳۸۴ بر روي گياه گندم اجراء گرديد. جهت

اجراي آزمون گلخانه‌اي از طرح كاملاً تصادفي به صورت فاكتوريل با چهار تكرار استفاده شد. فاكتورها شامل مايه تلقيح تيوباسيلوس (بدون مايه تلقيح تيوباسيلوس و مقداري از مايه تلقيح كه معادل 10^4 سلول باكتري در هر گرم خاک است) و سه نوع خاک آهكي مختلف با درصد مواد خنثي شونده كم (كمتر از ۱۰%)، متوسط (۱۰-۲۰%) و زياد (بيش از ۲۰%) و گوگرد پودري (مقداري از گوگرد كه بتواند با ۰/۵، ۱، ۲، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰% از مواد خنثي شونده خاک واكنش دهد) بودند. علاوه بر تيمارهاي مذكور، براي هرخاک دو تيمار شاهد و مصرف بهينه كود بر اساس آزمون خاك نيز جهت مقايسه ساير تيمارها با آنها، منظور شدند. لذا در مجموع از ۲۱۶ گلدان ۷ كيلوگرمي كه در آنها گندم رقم چمران كشت گرديده بود، براي اجراي اين تحقيق استفاده شد.

با توجه به اطلاعات موجود در مورد خاك‌هاي ايران در مؤسسه تحقيقات خاك و آب سه نوع خاك از نقاط مختلف ايران طوري انتخاب گرديدند كه حتي الامكان خصوصيات فيزيكي و شيميايي يكساني داشته باشند و فقط مقدار مواد خنثي شونده آنها متفاوت بود. اين سه نوع خاك داراي درصد مواد خنثي شونده كم (خاک قزوين با درصد مواد خنثي شونده ۸/۵%)، متوسط (خاک پسوه با درصد مواد خنثي شونده ۱۷%) و زياد (خاک كرمانشاه با درصد مواد خنثي شونده ۲۳%) بودند. مقادير كافي از سه نوع خاک مذكور پس از انتقال به گلخانه، هواخشک شده و از الک ۲ ميلي‌متري عبور داده شدند. هر خاک در ۷۲ گلدان پلاستيكي به ارتفاع ۲۵ و قطر دهانه ۲۰ سانتي متر به ميزان ۷ كيلوگرم توزيع گرديد. مقدار گوگرد در هر خاک بر اساس TNV خاک مورد نظر محاسبه گرديد، لذا مقادير گوگرد مصرفي در خاک قزوين شامل ۰،۱،۲،۴،۸،۱۶،۲۴، ۳۲و ۴۰ گرم در گلدان بود كه به ترتيب با S_1 تا S_8 مشخص مي شوند. در مورد خاک پسوه مقادير گوگرد به كار رفته ۰،۲،۴،۸،۱۶،۳۲،۴۸،۶۴،۸۰گرم درگلدان و در مورد خاک كرمانشاه نيز ۰، ۲/۵، ۲/۶، ۴/۱۰، ۸/۲۰، ۱۶/۴۱، ۳۲/۶۴، ۲/۸۲، ۱۰۷ گرم در گلدان بودند. گوگرد پودري براي هر گلدان توزين و سپس كاملا با خاک گلدان مخلوط گرديد.

مايه تلقيح تيوباسيلوس حاوي باكتري‌هاي تيوباسيلوس از نوع خنثي دوست با تراكم جمعيت $10^7 \times$ ۶/۳ سلول در هر گرم بود كه پس اختلاط گوگرد با خاک به گلدان‌ها اضافه گرديد و با خاک به طور يكنواخت مخلوط شد.

بذور گندم از رقم چمران (كه يك گندم بهاره است) با محلول هيپوكلريت سديم۲/۵ درصد ضد عفوني و براي جوانه‌دار شدن روي پليت‌هاي حاوي آب – آگار پخش شده و داخل انكوباتور (ژرميناتور) با دماي ۳۰ درجه سانتي‌گراد قرار داده شد. در هر گلدان ۱۰ بذر جوانه‌دار شده كاشته شد كه پس از مرحله دوبرگي تعداد بوته‌ها به ۶ عدد در هر گلدان تقليل يافت. رطوبت گلدان‌ها در طول دوره رشد گياه به روش وزني درحد رطوبت ظرفيت مزرعه ثابت نگهداشته شد.

نيتروژن از منبع اوره (به ميزان ۰/۵ گرم براي هر گلدان)، پتاسيم از منبع سولفات پتاسيم (به ميزان ۰/۷ گرم در هر گلدان)، بر اساس آزمون خاک در تمامي گلدان‌ها به صورت يكنواخت قبل از كشت گياه مصرف گرديدند. در تيمار شاهد هيچ‌گونه گوگرد، مايه تلقيح، كود فسفري و كودهاي حاوي آهن و روي مصرف نشد. در حالي كه در تيمار مصرف بهينه كود، فسفر از منبع سوپر فسفات تريپل (ميزان ۰/۷ گرم براي هر گلدان) و روي از منبع سولفات روي (به ميزان ۰/۲۵ گرم براي هر گلدان) قبل از كشت، مصرف گرديدند. در طي مراحل رشد گندم، كليه مراقبت‌هاي لازم در تمام گلدان‌ها به طور يكنواخت انجام شد. پس از كامل شدن دوره رشد گياه، برداشت گياه صورت گرفت و اندام‌هاي هوايي گياه و دانه‌ها توسط آب معمولي و سپس با آب مقطر شستشو داده شدند و در آون با دماي ٦٥ درجه سانتي‌گراد خشک شدند. سپس وزن خشك كاه و دانه به طور جداگانه تعيين شدند.

جهت اندازه‌گيري فسفر جذب شده به وسيله گياه نمونه‌هاي كاه و دانه با آسياب برقي به صورت پودر نرم درآمدند. اكسيداسيون نمونه‌هاي كاه و دانه به روش اكسيداسيون خشك (Dry Ashing) صورت گرفت و مقدار فسفر در نمونه‌هاي گياهي به روش كالريمتري تعيين گرديد (Emami,1995). مقدار فسفر جذب شده توسط اندام هوايي گياه (حاصل ضرب عملكرد بيولوژيک در غلظت فسفر اندام هوايي) براي تيمارهاي مختلف محاسبه گرديد. نتايج با نرم‌افزارهاي آماري MSTATC و SAS تجزيه و تحليل شده و مقايسه ميانگين‌ها به روش آزمون Tukey صورت گرفت و جداول نيز به وسيله نرم‌افزار Excel تهيه گرديدند.

نتايج و بحث

تجزيه واريانس داده‌ها نشان داد كه اثر اصلي مايه تلقيح تيوباسيلوس، گوگرد و خاک بر عملكرد دانه، عملكرد بيولوژيک، درصد فسفر گياه و مقدار فسفر جذب شده توسط بخش هوايي گندم در سطح يک درصد معني‌دار مي‌باشد. اين درحالي است كه اثر متقابل باكتري و گوگرد در سطح پنج درصد بر عملكرد دانه گندم معني‌دار بود و اثر متقابل باكتري و خاک در سطح يک درصد بر درصد فسفر اندام هوايي گياه معني‌دار گرديد ولي

اثرات متقابل ساير تيمارها بر شاخص‌هاي اندازه‌گيري شده معني‌دار نبود (جدول ۱).

مقايسه ميانگين دو سطح مايه تلقيح تيوباسيلوس نشان داد كه تيمار مايه تلقيح عملكرد دانه، عملكرد بيولوژيک،درصد فسفر اندام هوايي گياه و مقدار فسفر جذب شده را به ترتيب ۱۴/۷۵درصد، ۱۵درصد، ۱۲/۶ درصد و ۳۴/۲۸درصد در مقايسه با شاهد تلقيح نشده افزايش داد و تفاوت بين دو سطح مايه تلقيح از لحاظ شاخص‌هاي مذكور معني دار بود (جدول ۲).

مقايسه سه خاک مورد استفاده در اين پژوهش از لحاظ شاخص‌هاي اندازه‌گيري شده نيز نشان داد كه خاک پسوه بيشترين عملكرد دانه، عملكرد بيولوژيک، درصد فسفر اندام هوايي گياه و فسفر جذب شده را به خود اختصاص داده و تفاوت ان با دو خاک قزوين و كرمانشاه معني‌دار بود در حالي كه دو خاک قزوين و كرمانشاه از لحاظ شاخص‌هاي مذكور در يک سطح آماري قرار گرفتند (جدول۳).

جدول ۱- تجزيه واريانس اثر باكتري تيوباسيلوس و گوگرد بر صفات اندازه گيري شده گندم در خاكهاي آهكي مختلف

منابع تغييرات	درجه آزادي	ميانگين مربعات			
		عملكرد دانه	عملكرد بيولوژيک	غلظت فسفر در ماده خشک	فسفر جذب شده در اندام هوايي گياه
باكتري	۱	۱۰۶/۴۷$^{++}$	۵۸۰/۳۰$^{++}$	۰/۰۲۷۷$^{++}$	۰/۰۰۸۷$^{++}$
گوگرد	۹	۲۵/۷۵$^{++}$	۱۵۰/۳۳$^{++}$	۰/۰۰۶۵$^{++}$	۰/۰۰۱۴$^{++}$
خاک	۲	۸۰/۹۱$^{++}$	۹۶/۴۶۳$^{++}$	۰/۰۳۰۲$^{++}$	۰/۰۰۶۱$^{++}$
باكتري*گوگرد	۹	۱۰/۴۷$^{+}$	۳۱/۱۴^{ns}	۰/۰۰۱۵^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}
باكتري*خاک	۲	۱۲/۳۸^{ns}	۳۲/۸۳^{ns}	۰/۰۰۸۹$^{++}$	۰/۰۰۰۰^{ns}
خاک*گوگرد	۱۸	۸/۱۶^{ns}	۲۴/۴۸^{ns}	۰/۰۰۱۱^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}
باكتري*خاک*گوگرد	۱۸	۳/۴۶^{ns}	۱۲/۳۸^{ns}	۰/۰۰۱۳^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}
خطا	۱۸۰	۴/۹۴	۱۹/۱۲	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۰۱۵
ضريب تغييرات		۲۲/۹	۱۹/۵۹	۲۰/۳۲	۳۰/۰۲

$^{+}$، $^{++}$ و ^{ns} به‌ترتيب بيانگر تفاوت معني‌دار در سطح پنج و يك درصد و عدم تفاوت معني‌دار مي‌باشد

جدول۲- مقايسه ميانگين اثر مايه تلقيح باكتري تيوباسيلوس بر عملكرد دانه، عملكرد بيولوژيک و غلظت فسفر دربخش هوايي گندم

باكتري	صفات اندازه گيري شده			
	عملكرد دانه (گرم در گلدان)	عملكرد بيولوژيک (گرم در گلدان)	فسفر جذب شده دربخش هوايي گندم (گرم در گلدان)	غلظت فسفر در ماده خشک (درصد)
باكتري تيو باسيلوس	۱۰/۳۶۸ a	۲۳/۸۷۳ a	۰/۰۴۷ a	۰/۱۹۷a
بدون باكتري	۹/۰۳۶ b	۲۰/۷۶۳ b	۰/۰۳۵ b	۰/۱۷۵b

* در هرستون، ميانگين‌هايي كه در يك حرف مشترك مي باشند، از لحاظ آماري (روش دانكن) تفاوت معني‌داري در سطح ۵% با هم ندارند.

جدول۳- مقايسه ميانگين اثر خاكهاي مناطق مختلف بر عملكرد دانه، عملكرد بيولوژيک و غلظت فسفر دربخش هوايي گندم

خاک مناطق مختلف	صفات اندازه گيري شده			
	عملكرد دانه (گرم در گلدان)	عملكرد بيولوژيک (گرم در گلدان)	فسفر جذب شده (گرم در گلدان)	غلظت فسفر (درصد)
كرمانشاه	۹/۲۵۶ b	۲۰/۸۶۸ b	۰/۰۳۶b	۰/۱۷۶b
پسوه	۱۰/۸۵۳ a	۲۵/۰۹۸ a	۰/۰۵۱ a	۰/۲۰۹ a
قزوين	۸/۹۹۶ b	۲۰/۹۸۸ b	۰/۰۳۶ b	۰/۱۷۴ b

*در هرستون، ميانگين‌هايي كه در يك حرف مشترك مي باشند، از لحاظ آماري (روش دانكن) تفاوت معني‌داري در سطح ۵% با هم ندارند

مقايسه ميانگين سطوح مختلف گوگرد مصرفي نشان داد كه از لحاظ عملكرد دانه، عملكرد بيولوژيک، درصد فسفر اندام هوايي گياه و مقدار فسفر جذب شده بين سطوح گوگرد تفاوت معني‌دار وجود دارد، تيمارهاي S_3 و S_4 بيشترين عملكرد دانه، عملكرد بيولوژيک و ميزان فسفر جذب شده گياه (گرم در گلدان) را به خود اختصاص داده و نسبت به تيمار شاهد (S_9) عملكرد دانه، عملكرد بيولوژيک و ميزان فسفر جذب شده توسط اندام هوايي گياه (گرم در گلدان) را به ترتيب ۲۸ ،۲۲ و ۵۳ درصد افزايش دادند و اين افزايش از لحاظ آماري معني‌دار بود. اين درحالي است كه دو تيمار مذكور از لحاظ عملكرد دانه و بيولوژيک با تيمار مصرف بهينه كود در يک سطح آماري قرار گرفتند (جدول۵). از لحاظ درصد فسفر اندام هوايي گياه بين سطوح گوگرد تفاوت معني‌دار وجود داشت و تيمار شاهد (S_9) با ۰/۱۶ درصد كمترين و تيمار S_8 با ۰/۲۲ درصد بيشترين

درصد فسفراندام هوايي گياه را به خود اختصاص دادند. تفاوت بين تيمار S_8 با سايرتيمارها معني‌دار بود. همه تيمارها نسبت به شاهد به طور معني داري فسفر جذب شده توسط بخش هوايي گندم را افزايش دادند ولي درعين حال تفاوت آنها با تيمار S_8 نيز معني دار بود (جدول۴).

بررسي اثرات متقابل گوگرد و مايه تلقيح تيوباسيلوس بر عملكرد دانه گندم نشان داد كه تيمار S_4 (مقداري از گوگرد كه بتواند با ٤% از مواد خنثي شونده خاک واكنش دهد) با ۱۲/۱۲ گرم در گلدان بيشترين عملكرد دانه را به خود اختصاص داد و نسبت به شاهد ١٦/٧% افزايش داشت. همان طوري كه از (جدول ۵) پيداست، كاربرد توام گوگرد و مايه تلقيح تيوباسيلوس نسبت به كاربرد گوگرد تنها عملكرد دانه را به طور چشمگيري افزايش داده و اين افزايش در مورد برخي از سطوح گوگرد (مثلا سطح S_4) به بيش از ۲۷ درصد مي‌رسد.

جدول۴- مقايسه ميانگين اثر مقادير مختلف گوگرد بر عملكرد دانه، عملكرد بيولوژيک و غلظت فسفر در بخش هوايي گندم

سطوح گوگرد**	صفات اندازه گيري شده			
	عملكرد دانه (گرم در گلدان)	عملكردبيولوژيک (گرم در گلدان)	فسفر جذب شده (گرم در گلدان)	غلظت فسفر در بخش هوايي (درصد)
S_1	۱۰/۲۵۷۵ ab	۲۳/۷۱۲ abc	۰/۰٤۱ ab	۰/۱۷۵ bc
S_2	۱۰/۲۳۸۷ ab	۲۳/۸۹۱ ab	۰/۰۴۴ ab	۰/۱۷۷ bc
S_3	۱۰/۸۷٤٦ a	۲۵/۱۰۵ a	۰/۰٤٦a	۰/۱۸۹ b
S_4	۱۰/۸۰۷۱ a	۲۵/۰۸۲ a	۰/۰۴۹ a	۰/۱۹٤ b
S_5	۹/۵٤۷۵ abc	۲۱/۷۳۲ cd	۰/۰٤۰ bc	۰/۱۸٦ b
S_6	۹/۷۱۵٤ abc	۲۱/۱٦۵ cd	۰/۰۳۹ bc	۰/۱۸٦ b
S_7	۸/۹۸۱۹bcd	۲۰/۳۱۱ d	۰/۰٤۰ bc	۰/۱۹٤ b
S_8	۷/٦۹۳۳ d	۱۷/۳۹۵ e	۰/۰۳۹ bc	۰/۲۲۲ a
S_9	۸/۵۱۲۵ cd	۲۰/۵۷٦ d	۰/۰۳۲ c	۰/۱٦۰ c
S_{10}	۱۰/۳۸۵۷ ab	۲٤/۲۰۹ ab	۰/۰٤۲ ab	۰/۱۷٤ bc

*در هرستون، ميانگين‌هايي كه در يک حرف مشترک می باشند، از لحاظ آماری (روش دانکن) تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ با هم ندارند.

**S_1 ، S_2 ، S_3 ، S_4 ، S_5، S_6، S_7و S_8 به ترتيب شامل مقداری از گوگرد كه بتواند با ۰/۵ ،۱، ۲، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶و ۲۰ درصد مواد خنثی شونده خاک واكنش دهد و S_9و S_{10} به ترتيب شاهد و تيمار توصيه كودی براساس آزمون خاک می باشند.

جدول۵- مقايسه ميانگين اثرمتقابل باكتري و گوگرد بر عملكرد دانه

باكتري	مقادير مختلف گوگرد	عملكرد دانه (گرم در گلدان)
باكتري باسيلوس	S_1	۱۱/۰۱۳ ab
	S_2	۱۱/۳۳۷ ab
	S_3	۱۱/۵۹۵ ab
	S_4	۱۲/۱۰۷ A
	S_5	۱۱/۱٤۸ ab
	S_6	۹/۲۹۱ abc
	S_7	۹/۳۷۵ abc
	S_8	۸/۹۱۲ abc
	S_9	۱۰/۳۸۸ab
	S_{10}	۸/۵۱۳ abc
بدون باكتري	S_1	۹/۵۰۲ abc
	S_2	۹/۱٤۱ abc
	S_3	۱۰/۱۵٤ abc
	S_4	۹/۵۰۸ abc
	S_5	۷/۹٤۸ bc
	S_6	۱۰/۱٤۸ abc
	S_7	۸/۵۸۹ abc
	S_8	٦/٤۷۵ c
	S_9	۱۰/۳۸۸ ab
	S_{10}	۸/۵۱۳ abc

* در هرستون، ميانگين‌هايي كه در يك حرف مشترك مي باشند، از لحاظ آماري (روش دانكن) تفاوت معني‌داري در سطح ۵% با هم ندارند.

**S_1 ، S_2 ، S_3 ، S_4 ، S_5، S_6، S_7و S_8 به ترتيب شامل مقداری از گوگرد كه بتواند با ۰/۵ ،۱، ۲، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶و ۲۰ درصد مواد خنثی شونده خاک واكنش دهد و S_9و S_{10} به ترتيب شاهد و تيمار توصيه كودی براساس آزمون خاک می باشند.

جدول ۶- مقايسه ميانگين اثر متقابل باكتري و خاک بر غلظت فسفر در بخش هوايي گندم

باكتري	خاک مناطق مختلف	غلظت فسفر در بخش هوايي گندم (درصد)
باكتري باسيلوس	كرمانشاه	۰/۱۷۷ ab
	پسوه	۰/۲۱۷ a
	قزوين	۰/۱۹٦ ab
بدون باكتري	كرمانشاه	۰/۱۷٤ ab
	پسوه	۰/۱۹۹ ab
	قزوين	۰/۱۵۲ b

* در هرستون، ميانگين‌هايي كه در يك حرف مشترك مي باشند، از لحاظ آماري (روش دانكن) تفاوت معني‌داري در سطح ۵% با هم ندارند.

بررسي اثرات متقابل خاک و مايه تلقيح تيوباسيلوس بر غلظت فسفر اندام هوايي گياه (درصد) نشان داد تيمار خاک پسوه (داراي ۱۷درصد مواد خنثي شونده) هنگامي كه با مايه تلقيح تيوباسيلوس همراه بود با غلظت فسفر ۰/۲۱درصد بيشترين غلظت فسفر اندام هوايي گياه را به خود اختصاص داد، اين تيمار غلظت فسفر اندام هوايي گياه را ۱٤/۲۱ درصد نسبت به شاهد افزايش داد (جدول ٦).

بحث

در اين تحقيق مصرف مايه تلقيح تيوباسيلوس در مقايسه با شاهد تلقيح نشده عملكرد دانه، عملكرد بيولوژيک ،فسفر جذب شده و غلظت فسفر در بخش هوايي گندم را به ترتيب ۱۴/۷۴، ۱۵/۰ ،۳۴/۳۰ و ۱۲/۶۰ درصد افزايش داد (جدول۲). همان طوري كه قبلا اشاره شد، قسمت اعظم گوگرد مصرفي در خاک به روش بيولوژيک اكسيد مي‌گردد (Wainwright,1984; Tabatabai,1986) باكتري‌هاي جنس تيوباسيلوس مهم‌ترين اكسيدكننده گوگرد در خاك‌هاي زراعي محسوب مي‌شوند. اين باكتري‌ها ضمن اكسايش گوگرد مقداري اسيدسولفوريك در محيط زيست آنها توليد مي‌شود (Vishniac and Santer,1957). كاربرد گوگرد همراه با باكتري‌هاي تيوباسيلوس در خاك، باعث تشديد اكسيداسيون گوگرد شده و با كاهش موضعي pH خاک در اطراف ريشه‌هاي گياه، به حلاليت عناصر تثبيت شده در خاك‌هاي آهكي و در نهايت افزايش جذب عناصر توسط گياه كمك مي‌كند (Besharati et al., 1998). در پژوهش حاضر نيز به نظر مي‌رسد همين عامل سبب افزايش جذب فسفر و نهايتا افزايش عملكرد شده باشد. هر چند نتايج به گونه‌اي بود كه به نظر مي‌رسد علاوه بر فسفر افزايش جذب در برخي ديگر از عناصر نيز بايد اتفاق افتاده باشد. در پژوهش حاضر نيز در جايي كه باكتري اكسيد كننده گوگرد تيوباسيلوس به همراه گوگرد استفاده گرديد، تاثير گوگرد بر عملكرد و ميزان فسفر جذب شده توسط گياه چشمگيرتر بود. Whitehouse and Strong (۱۹۷۷) نيز در آزمايش خود نتايج مشابهي به دست آورده بودند.

افزايش قابليت جذب برخي عناصر غذايي از جمله فسفر يكي از اثرات مفيدي است كه به كاربرد گوگرد و اكسيداسيون آن در خاك نسبت داده مي‌شود (Swaby ,1975;Besharati, 1999). در تحقيق حاضر ميزان فسفر قابل جذب خاك‌ها كمتر از حد بحراني فسفر براي گندم بود، پايين بود، لذا انتظار مي‌رفت كه مصرف گوگرد در مقايسه با شاهد با افزايش حلاليت فسفر خاك، باعث افزايش فسفر قابل جذب خاك و متعاقبا فسفر جذب شده توسط گندم گردد. بنابراين گوگرد با اكسيد شدن در خاک و كاهش موضعي pH خاک با انحلال تركيبات حاوي فسفر موجود در خاک شده و بهبود رشد و عملكرد گياه را سبب شده است.

علاوه برخواص كمي و كيفي گوگرد عنصري نظير درصد خلوص، اندازه ذرات، مقدار مصرف، زمان و روش مصرف، همانند ساير فرآيندهاي بيولوژيك ديگر متاثر از شرايط محيطي بوده و پارامترهايي از قبيل pH، رطوبت، تهويه، حرارت، سطح حاصلخيزي و جمعيت ميكروارگانيسم‌هاي اكسيد كننده گوگرد در خاك بر سرعت و شدت اكسايش گوگرد تاثير به سزايي دارند((Stevenson and Cole ,1999; Tisdale et al.,1993)) استفاده از گوگرد در اراضي زير كشت محصولات كشاورزي با هدف تأمين سولفات مورد نياز گياه (Singh and Chaudhari,1997 Salardini,1992)، اصلاح خاك‌هاي سديمي و شور سديمي افزايش حلاليت برخي عناصر غذايي و در نهايت بهبود وضعيت تغذيه گياهان در خاك‌هاي آهكي صورت مي‌گيرد ((Kalbasi et al.,1986; Razeto,1982)). در تحقيق حاضربهترين تيمارهاي گوگرد كه بيشترين تاثير را بر عملكرد و ميزان فسفر جذب شده داشتند تيمارهاي S_3و S_4 بودند، اين تيمارها مقادير گوگردي هستند كه به ترتيب با ۲و۴ درصد مواد خنثي شونده واكنش مي‌دهند و معادل حدود ۲ تا ۸ تن گوگرد در هكتار مي‌باشند. در اكثر تحقيقاتي كه در آنها به منظور افزايش جذب

عناصر غذايي، گوگرد استفاده شده است، مصرف مقادير مشابه گوگرد نتايج مثبتي را در بهبود شاخص‌هاي اندازه‌گيري شده در خاک و گياه به همراه داشته است. بنابراين استفاده از اين مقادير گوگرد که با توجه به درصد مواد خنثي شونده (آهکي) به دست مي آيد به همراه مايه تلقيح تيوباسيلوس در خاک‌هاي آهکي قابل توصيه مي‌باشد.

REFERENCES

Attoe, O. J. and Olson, R. A. (1966). Factors affecting the rate of oxidation of elemental sulfur and that added in rock- phosphate- sulfur fusion. *Soil Sci.*, 101: 317- 324.

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.

Besharati H, (1999). *Effects of sulfur with thiobacillus bacteria on evolution of availability of nutrients*: MD thesis ,soil department, agriculture campus, Tehran university , Karaj , Iran

Besharti H., Kochakzade Y., Malkoti MJ , Khavazi K , (1998) The role of Sulfur , thiobacillus bacteria in providing the Phosphorus for corn. *Soil and water journal*, volume 12, number 24,Tehran soil and water research section , Tehran , Iran.

Chapman, S. J. (1989). Oxidation of micronized elemental sulfur in soil. *Plant and Soil*, 116:69- 76.

Choudhary, M., L. D. Bailey and T. R. Peck. (1996). Effect of rock phosphate and superphosphate on crop yield and soil phosphorus test in long term fertility plots. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 27: 3085-3099.

Deluca, T. H., Skogley, E. O. and R. E. Engle. (1988). Band applied elemental sulfur to enhance the phytoavailability of phosphorus in alkaline calcareous soils. *Biol. And Fert. of Soils*, 7: 346-350.

Emami. A. (1995). Methods for plant analysis. Agricultural Ministry, Agricultural Research and Education organization, Soil and water Research Institute, *Technical Bulletin* No. 982.

Glisman, R. (2002) *Agroecology*. Ferdowsi university publishing .Mashhad ,Iran.

Jaggi, R. C., M. S. Aulakh and R. Sharma. (2005). Impacts of elemental S applied under various temperature and moisture regimes on pH and available P in acidic, neutral and alkaline soils. *Biol. Fertil. Soils*, 41:52-58.

Kalbasi, M., F. Filsoof, and Y. Rezai-Nejad. (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., N. Manuchehri, 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 S. Orman. (1998). Effect of elemental sulfur and sulfur containing waste in a calcareous soil in Turkey. *J. Plant Nutr.*, 21: 1655- 1665.

Kariminia, A. 1996. *Idenfiction Thiobacillus species drived from Iran soils and their effect on the different soil*. PH:MD thesis Tarbiat modares university Tehran,Iran.

Kelly, D. P. and A. P. Harrison. (1984). *Genus Thiobacillus*. In: Staley, J. T. (ed.) Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. 9th ed . Williams and Wikins, Baltimore.

Khavazi, K., F. Nourgholipour and M. J. Malakouti. (2001). Effect of Thiobacillus and phosphate solubilizing bacteria on increasing P availability from rock phosphate for corn. International Meeting on *Direct Application of Rock Phosphate and Related Technology*, Kuala Lumpur, Malaysia.

Killham, K. 1994. *Soil Ecology*. Cambridge University Press.

Kochakzade, Y., M. J., Malkouti and K. Khavazi. (2000). Efecet of sulfur ,Thiobacillus in providing Phosphorus in corn. . Soil and water journal , volume 12, number 14, *Tehran soil and water research section* , Tehran , Iran.

Malkouti, M. J. and S. A. Riazihamedani . (1990). *Fertilizers and soil fertility* .First edition, University center publishing, 800 pages, Tehran, Iran.

McCready, R. G. L. and Krouse, H. R. (1982). Sulfur isotope fractionation during the oxidation of elemental sulfur by Thiobacilli in a solonetzic soil. *Can. J. Soil Sci*. 62:105-110.

Modaihsh, S., W. A. Al-mustafa, and Metwally. A. E. (1989). Effect of elemental sulfur on chemical changes and nutrient availability in calcareous soils. *Plant and Soil*. 116:95-101.

Nor, Y. M. and Tabatabai. M. A. (1977). Oxidation of elemental sulfur in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41: 736- 741.

Nourmohamdi G, Siadat A, & Kashani A. (2002) *Cereals farming*, Shahid Chamran University.

Pathirathna, L. S. S., U. P. De. S. Waidyanatha, and O. S. Peries. 1989. The effect of apatite and elemental sulfur mixtures on the growth and P content of Centrocema pubescent. *Fertilizer Research*, 21:37-43.

Rajan S.S.S. and Edge, E. A. (1980). Dissolution of granulated low grade phosphate rock, phosphate rock/sulphur (Biosuper), and superphosphate in soil. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 23: 451-456.

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

Rosa, M. C., Muchovej, J., Muchovej, J. and Alvarez, V. H. (1989). Temporal relation of phosphorus fraction in an oxisol amended rock phosphate and Thiobacillus thiooxidans. *Soil. Sci. Soc. Am. J.,* 53: 1096-1100.

Rupela, O. P. and P. Taura. (1973). Utilization of Thiobacillus to reclaim alkali soils. *Soil Biol. Biochem.*, 6: 899-901.

Salardini, A. (1992). *Soil fertility.* Forth edition. Number 1739,44 pages. Tehran university publishing. Tehran ,Iran

Schofield, P. E., Gregg, P. E. H. and Syers. J. K. (1981). Biosuper as a phosphate fertilizer: A glasshouse

evaluation. *N.Z. J. Expl. Agric*., 9: 63-67.

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

Singh, D. and Chhibba. I. M. (1991). Evaluation of some sources of sulfur using maize and wheat as test crops. *J. Indain Soc. Soil Sci.*, 39: 514-516.

Singh, V., Parashar, A. K. and Mehta. V. S. (1991). Soil sulphur status and response of lentil 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.

Stevenson, F. J. and Cole, M. A. (1999). Cycles of Soil. Second Edition. PP.427. John Wiley and Sons. Inc., New York.

Swaby, R. J. (1975). *Biosuper- Biological Superphosphate*. In: McLachlan, K. D. (ed.) Sulfur in Australian Agriculture. Sydney University Press, Sydney.

Tabatabai, M. A. (1986). Sulfur in Agriculture. *Am. Soc. Agron. Madison*, WI., U. S. A.

Tisdale, S.L., Nelson, W. L., Beaton, J. D. and Havlin. J. L. (1993). *Soil Fertility and Fertilizers.* 5th ed. Mcmillon Publishing Co., New York.

Venkatakrishanan, S. and Abrol. I. P. (1981). Amelioration of a sodic soil through *Thiobacilli* inoculation and pyrite application. *J. Indian Soc. Soil. Sci.*, 29: 526-529.

Vishniac, W. and Santer. M. (1957). The Thiobacilli. Bacteriol. *Rev*., 21: 195- 213.

Wainwright, M. (1984). Sulfur oxidation in soils. *Advances in Agronomy*, 37: 349-396.

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

Zapata, F. and Roy. R. N. (2004). *Use of phosphate rocks for sustainable agriculture*. URL: http//www. FAO. Org/documents/ show-cdr. asp? url-file=/ docrep/007/ Y50.