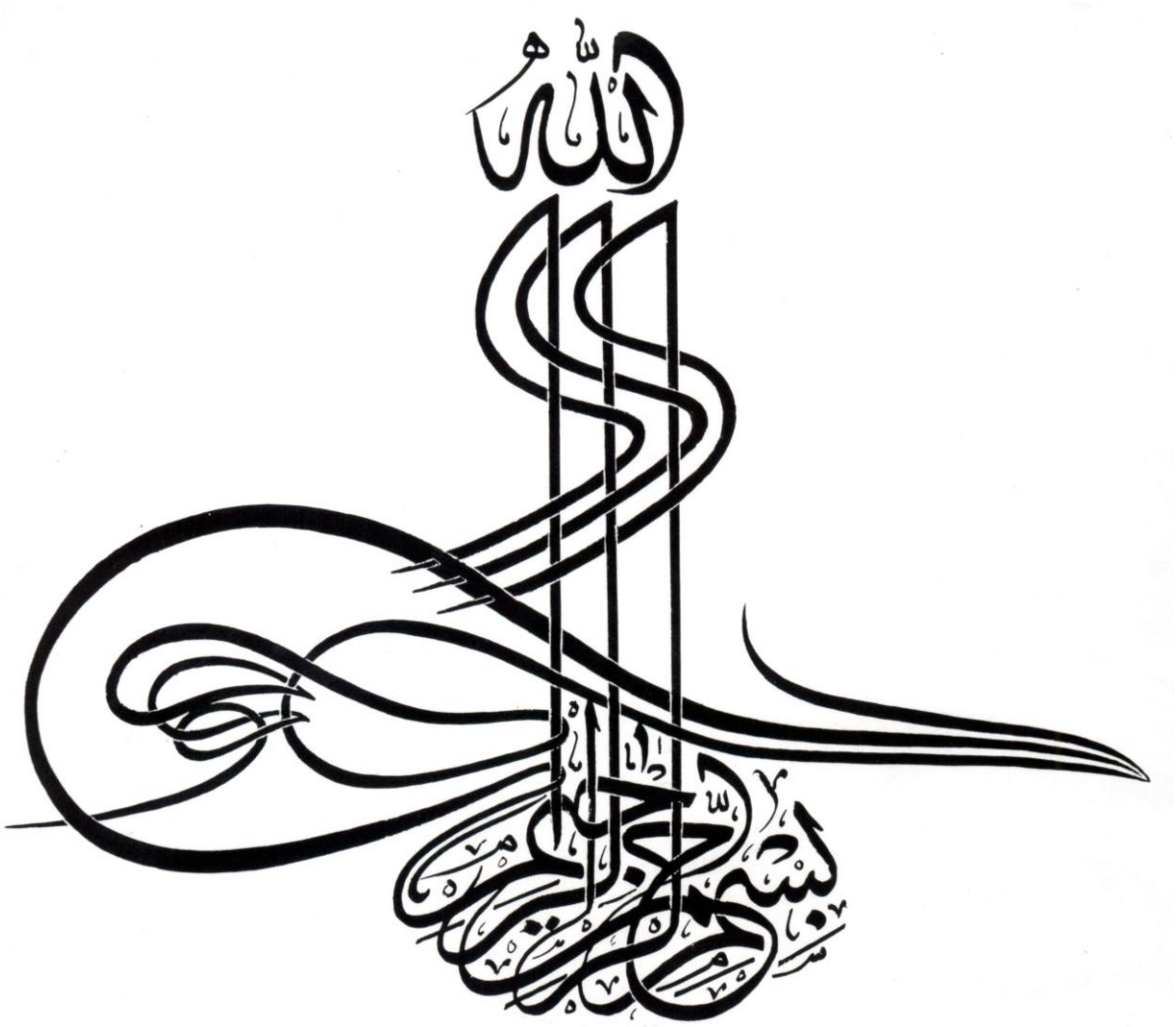

الله
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده کشاورزی
گروه خاک و آب

معدنی شدن گوگرد و رابطه آن با میزان رس و شوری خاک

حسن ابراهیمی

اساتید راهنما:

دکترشاهین شاهسونی
دکتر پیمان کشاورز

اساتید مشاور:

دکتر حمیدرضا اصغری
دکتر شاهرخ قرنجیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
بهمن ۱۳۹۰

تقدیم به ...

پدر عزیزم

که با زحمات بی دریغش راه همت و تحصیل را برایم هموار نمود.

مادر مهربانم

که همواره نگاه نگرانش و لب های دعاگویش بدرقه راهم است.

همسر عزیزم

که دلسوزانه مشکلات تحصیل و زندگی را برایم آسان نمود

و فداکارانه همواره در کنارم ایستاد.

و

دختر نازنینم نادیا

سپاسگزاری

گذراندن مراحل اجرایی و تدوین این پایان نامه پس از الطاف و عنایت الهی مدیون راهنمایی، مساعدت و تلاش بسیاری از اساتید گرانقدر و همکاران گرامی می باشد که بی تردید بدون همدلی آنان طی کردن این راه با مشکلات فراوان همراه بود، در ابتدا بر خود واجب می دانم که از راهنمایی های استادان ارجمند جناب آقای دکتر پیمان کشاورز و آقای دکتر شاهین شاهسونی و مشاوره های ارزشمند جناب آقای دکتر حمیدرضا اصغری و آقای دکتر شاهرخ قرنجیک کمال تشکر و قدردانی را به عمل آورم.

از همکاران محترم آزمایشگاه خاک، آب و گیاه شرکت کاوندیش نیشابور که مرا در مراحل اجرایی این تحقیق یاری نمودند تشکر و قدردانی می نمایم. زحمات بی دریغانه مادر مهربانم و فداکاری های همسر عزیزم نیز شایسته تقدیر و تشکر است، گرچه هرگز آوردن نامشان به منزله جبران زحمات ارزنده آنان نخواهد بود.

در آخر از مساعدت‌های دوستان و همکلاسی های عزیزم و همچنین از زحمات ارزشمند همکار محترم خانم مهندس طباخیان که در تدوین این پایان نامه مرا یاری نمودند کمال تشکر و قدردانی را می نمایم.

چکیده

بروز مشکلات ناشی از تجمع کربنات کلسیم و افزایش pH خاک برای گیاهان در غالب مناطق خشک و نیمه خشک کشور به سبب ماهیت مواد مادری خاک ها و کمی نزولات آسمانی و نیز افزایش روزافزون سطح خاکهای شور و شور سدیمی، موجب تولید و همچنین کاربرد بیشتر فرآورده های کودی حاصل از گوگرد شده است . با این وجود اثرات گوگرد در خاک به میزان اکسیداسیون بیوشیمیایی آن توسط ریزجانداران مختلف وابسته است . به این منظور در این تحقیق عوامل مختلف خاکی تاثیرگذار شامل میزان رس و شوری خاک و همچنین زمان مصرف بر میزان اکسیداسیون بیوشیمیایی گوگرد در شرایط کنترل شده مورد بررسی قرار گرفت. این تحقیق در شرایط آزمایشگاهی در غالب دو آزمایش ، بدون وجود گیاه به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام گرفت، در آزمایش اول تیمارها شامل میزان رس خاک در سه سطح {کم (کمتراز ۱۵ درصد)، متوسط (۱۵تا ۳۰ درصد) و زیاد (بیشتر از ۳۰ درصد)}، میزان گوگرد در دو سطح (۰و۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) با وجود (به میزان دو درصد وزنی گوگرد) یا عدم وجود مایه تلقیح تیوباسیلوس و در آزمایش دوم تیمارها شامل شوری خاک در سه سطح { شوری کم (ECe < ۴ $^{ds}/_{m}$)، شوری متوسط (ECe = ۴-۸ $^{ds}/_{m}$)و شوری زیاد (ECe > ۸ $^{ds}/_{m}$)} ، میزان گوگرد در دو سطح (۰و۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) با وجود (به میزان دو درصد وزنی گوگرد) یا عدم وجود مایه تلقیح تیوباسیلوس می باشد که به روش آزمایشگاهی خوابانیدن اجرا گردید . پس از ۹۰ روز خوابانیدن نمونه ها ، نتایج نشان داد که میزان اکسیداسیون گوگرد با افزایش مقدار رس و شوری خاک به ترتیب و به طور معنی‌داری افزایش و کاهش یافت که این تغییرات در شرایط حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس نسبت عدم حضور آن شدیدتر اتفاق افتاد ، نتایج نشان داد که در شرایط حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس میزان سولفات نمونه خاک نسبت به میزان سولفات اندازه گیری شده در روز سوم در نمونه های خاک با رس کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۳/۲ ، ۳/۸ و ۳/۹ برابر و در شرایط عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس به ترتیب ۲/۵ ، ۳/۲ و ۳/۵ برابر افزایش یافت. همچنین میزان سولفات نمونه خاک نسبت به میزان سولفات اندازه گیری شده در روز سوم در نمونه های خاک با شوری کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۳/۶۴ ، ۲/۹۴ و ۲/۷۴ برابر و در شرایط عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس به ترتیب ۳/۲۸ ، ۲/۴۲ و ۲/۰۷ برابر افزایش یافت . بیشترین میزان اکسیداسیون گوگرد در روز سوم آزمایش صورت گرفت به طوری که در شرایط عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس در نمونه های خاک با شوری کم ، متوسط و زیاد به ترتیب برابر ۵۰/۳، ۶۷/۲ و ۷۰/۷ و در شرایط عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس به ترتیب برابر ۳۳/۶، ۵۰/۵ و ۵۳ میکروگرم گوگرد بر سانتی متر مربع در روز بدست آمد . همچنین در نمونه های با شوری کم، متوسط و زیاد در شرایط عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس به ترتیب ۶۲/۷، ۶۶/۶ و ۵۶/۶ و در شرایط عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس به ترتیب برابر ۴۶/۳، ۳۹/۵ و ۳۷/۹ میکروگرم گوگرد بر سانتی متر مربع در روز بدست آمد

واژه های کلیدی : گوگرد، اکسیداسیون، رس، شوری، پ هاش، هدایت الکتریکی، سولفات، خوابانیدن

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: مقدمه

مقدمه ۲

فصل دوم: بررسی منابع

۲-۱- مقدار و اشکال گوگرد در خاک ۵

۲-۱-۱- گوگرد آلی در خاک ۵

۲-۱-۲- گوگرد معدنی خاک ۵

۲-۲- گوگرد در گیاه ۶

۲-۲-۱- نقش گوگرد در رشد گیاهان ۶

۲-۲-۲- جذب گوگرد در گیاهان ۷

۲-۲-۳- کمبود گوگرد در گیاهان ۷

۲-۳- معدنی شدن و آلی شدن گوگرد ۸

۲-۴- عوامل موثر در معدنی شدن گوگرد ۸

۲-۴-۱- نسبت کربن به گوگرد ۸

۲-۴-۲- رطوبت و تهویه خاک ۹

۲-۴-۳- دمای خاک ۱۰

۲-۴-۴- پ هاش خاک ۱۰

۲-۴-۵- مواد آلی خاک ۱۱

۲-۴-۶- آهک خاک ۱۲

۲-۴-۷- ریزجانداران خاک ۱۳

۲-۴-۸- بافت خاک ۱۵

۲-۴-۹- شوری خاک ۱۶

۲-۴-۱۰- برداشت گیاه ۱۷

۲- ۴-۱۱- اندازه ذرات گوگرد ۱۷

۲-۴-۱۲- اثر کاربردهای قبلی گوگرد ۱۷

۲-۵- تاثیر اکسیداسیون گوگرد بر روی خصوصیات خاک ۱۸

۲-۶ اندازه گیری اکسیداسیون گوگردی ۲۲

۲-۶-۱- روش عصاره گیری سولفات قابل جذب ۲۲

۲-۶-۲- روش جذب سولفات توسط گیاه ۲۲

۲-۶-۳- روش ناپدیدی گوگرد عنصری ۲۲

۲-۷- مدل های آزادسازی سولفات از گوگرد ۲۲
فصل سوم: مواد و روشها
۳-۱- جمع آوری و تهیه نمونه ه‌ای خاک ۲۵
۳-۲- تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه های خاک ۲۵
۳-۳- شستشوی نمونه های خاک ۲۶
۳-۴- روش انجام تحقیق ۲۶
۳-۵- آماده سازی نمونه ها برای آزمایش خوابانیدن ۲۷
۳-۵-۱- تهیه نمونه خاک با شوری کم ۲۷
۳-۵-۲- تهیه نمونه خاک با شوری متوسط ۲۸
۳-۵-۳- تهیه نمونه خاک با شوری زیاد ۲۸
۳-۶- تیمار کردن نمونه های خاک ۲۸
۳-۶-۱- نمونه خاک های با میزان رس متفاوت با گوگردوتیوباسیلوس ۲۸
۳-۶-۱-۱- نمونه خاک با میزان رس کم ۲۸
۳-۶-۱-۲- نمونه خاک با میزان رس متوسط ۲۹
۳-۶-۱-۳- نمونه خاک با میزان رس زیاد ۲۹
۳-۶-۲- تیمار نمونه های خاک با میزان شوری متفاوت با گوگرد وتیوباسیلوس ۲۹
۳-۶-۲-۱- تهیه نمونه های تیمار شده با گوگرد و تیوباسیلوس ۲۹
۳-۶-۲-۲- تهیه نمونه های تیمار شده با گوگرد ۳۰
۳-۶-۲-۳- تهیه نمونه های شاهد ۳۰
۳-۷- آزمایش خوابانیدن ۳۰
۳-۸- اندازه گیری سولفات قابل جذب، PH وEC ۳۱
۳-۸-۱- اندازه گیری سولفات قابل جذب به روش توربیدی متری ۳۱
۳-۸-۲- اندازه گیری پ هاش خاک ۳۲
۳-۸-۳- اندازه گیری هدایت الکتریکی خاک ۳۳
۳-۹- محاسبه سرعت اکسایش گوگرد ۳۳
۳-۱۰- آنالیز آماری ۳۳
فصل چهارم: نتایج و بحث
۴-۱- تاثیر تیمارهای آزمایش روی اکسیداسیون گوگرد ۳۵
۴-۱-۱- اثر مقادیر مختلف رس بر میزان سولفات استخراج شده از خاک در حضور و عدم حضور تیوباسیلوس... ۳۵
۴-۱-۲- اثر مقادیر مختلف رس برمیزان پ هاش خاک در حضور و عدم حضور تیوباسیلوس ۳۸
۴-۱-۳- اثر مقادیر مختلف رس برمیزان هدایت الکتریکی خاک در حضور و عدم حضور تیوباسیلوس ۴۱
۴-۲-۴- اثر مقادیر مختلف شوری بر میزان سولفات استخراج شده از خاک در حضور و عدم حضور تیوباسیلوس ۴۴

۴-۲-۵- اثر مقادیر مختلف شوری خاک بر میزان پ هاش خاک در حضور و عدم حضور تیوباسیلوس ...۴۷
۴-۳- میزان اکسیداسیون گوگرد ۵۰
۴-۳-۱- اثر رس ۵۰
۴-۳-۲- اثر شوری ۵۳
فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادها
۵-۱- نتیجه گیری ۵۷
۵-۲- پیشنهادها ۵۸
منابع ۵۹

فهرست نمودارها

عنوان صفحه

۴-۱- تأثیر مقادیر رس خاک بر روی غلظت سولفات تجمعی ($mg\ kg^{-1}$) استخراج شده در حضورو عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس ۳۷

۴-۲- اثر گذشت زمان خوابانیدن روی غلظت سولفات تجمعی ($mg\ kg^{-1}$) استخراج شده در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس ۳۷

۴-۳- تأثیر مقادیر رس خاک بر روی میزان پ هاش خاک در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس ۴۰

۴-۴- اثر گذشت زمان خوابانیدن روی میزان پ هاش خاک در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس ۴۰

۴-۵- تأثیر مقادیر رس خاک بر روی میزان هدایت الکتریکی خاک در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس.....۴۳

۴-۶- اثر گذشت زمان خوابانیدن روی میزان هدایت الکتریکی خاک در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس.....۴۳

۴-۷- تأثیر مقادیر شوری خاک بر روی غلظت سولفات تجمعی ($mg\ kg^{-1}$) استخراج شده در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس ۴۶

۴-۸- اثر گذشت زمان خوابانیدن روی غلظت سولفات تجمعی ($mg\ kg^{-1}$) استخراج شده در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس ۴۶

۴-۹- تأثیر مقادیر شوری خاک بر روی میزان پ هاش خاک در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس ۴۹

۴-۱۰- اثر گذشت زمان خوابانیدن روی میزان پ هاش خاک در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس ۴۹

۴-۱۱- اثر مقادیر مختلف رس بر میزان اکسیداسیون در حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس ۵۲

۴-۱۲- اثر مقادیر مختلف رس بر میزان اکسیداسیون درعدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس ..۵۲

۴-۱۳- اثر مقادیر مختلف شوری بر میزان اکسیداسیون در حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس.....۵۵

۴-۱۴- اثر مقادیر مختلف‌شوری بر میزان‌اکسیداسیون درعدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس..۵۵

فهرست جداول

عنوان صفحه

۲-۱: تغییرات پ هاش و هدایت الکتریکی خاک در اثر اکسیداسیون گوگرد عنصری ۲۱
۳-۱: نتایج آزمایش های انجام شده بر روی سه نمونه خاک انتخاب شده طرح قبل از شستشو.. ۲۶
۳-۲: نتایج آزمایش نمونه های خاک پس از شستشو ۲۶
۴-۱: اثر متقابل رس و مایه تلقیح تیوباسیلوس بر غلظت سولفات استخراج شده (mg kg-۱) در زمان های متفاوت خوابانیدن ۳۶
۴-۲: تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل تیمارهای A (زمان) ، B (رس) و C (تیوباسیلوس) در میزان سولفات استخراج شده ۳۶
۴- ۳ : اثر متقابل رس و مایه تلقیح تیوباسیلوس بر میزان پ هاش خاک در زمان های متفاوت خوابانیدن ۳۹
۴-۴: تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل تیمارهای A (زمان) ، B (رس) و C (تیوباسیلوس) در تغییرات پ هاش خاک ۳۹
۴-۵ : اثر متقابل رس و مایه تلقیح تیوباسیلوس بر میزان هدایت الکتریکی خاک در زمان های متفاوت خوابانیدن ۴۲
۴-۶ : تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل تیمارهای A (زمان) ، B (رس) و C (تیوباسیلوس) در تغییرات هدایت الکتریکی خاک ۴۲
۴-۷- اثر متقابل شوری و مایه تلقیح تیوباسیلوس بر غلظت‌سولفات استخراج‌شده (mg kg- ۱) در زمان های متفاوت خوابانیدن ۴۵
۴-۸: تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل تیمارهای A (زمان) ، B (شوری) و C (تیوباسیلوس) در میزان سولفات استخراج شده ۴۵
۴-۹ : اثر متقابل شوری و مایه تلقیح تیوباسیلوس بر میزان پ هاش خاک در زمان های متفاوت خوابانیدن ۴۸
۴- ۱۰: تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل تیمارهای A (زمان) ، B (شوری) و C (تیوباسیلوس) در میزان تغییرات پ هاش خاک ۴۸
۴-۱۱: میزان اکسیداسیون گوگرد (K) در خاک ه‌ای با مقادیر متفاوت رس در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس ۵۱
۴-۱۲: میزان اکسیداسیون گوگرد (K) در خاک های با مقادیر متفاوت شوری در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس ۵۴

فصل اول

مقدمـــه

مقدمه

به موازات افزایش روز افزون جمعیت بر رو ی کره زمین نیاز غذا به ویژه محصولات کشاورزی افزایش می یابد، افزایش تولیدات کشاورزی به منظور رفع نیاز غذایی بشر از طریق افزایش سطح زیر کشت و افزایش تولید در واحد سطح امکان پذیر است (۵).

گوگرد از لحاظ مقدار مورد نیاز گیاه در ردیف پنجم، پس از سه عنصر اص لی و کلسیم قرار می گیرد. در طبیعت گوگرد یکی از عناصر مهم محسوب می شود، قشر خارجی زمین دارای ۰/۰۶ درصد گوگرد بیشتر به صورت کانی های سولفور فلزدار است. از نظر مقدار در طبیعت این عنصر در ردیف ششم عناصر موجود در زمین قرار می گیرد . گوگرد بصورت آلی و کانی در خا ک یافت می شود ولی مقدار کل آن معمولاً از ۰/۱۴ درصد کمتر است . تولید محصول در خاک های آهکی، همواره با مشکلات متعددی همراه است که بخش اصلی این مشکلات به بالا بودن پ هاش خاک مربوط می گردد . به دلیل وابستگی قابلیت جذب فسفر و برخی عناصر کم مصرف به پ هاش خاک، معم ولاً در چنین خاک هایی این عناصر تثبیت شده و از دسترس گیاه خارج می شود (۵ و۲۰).

در ایران بیشتر خاک های قابل کشت، دارای بستر آهکی بوده و اغلب دارای پ هاش بیش از ۸ می باشند 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 می تواند علاوه بر نقش تغذیه ای مستقیم، به دلیل تولید اسید سولفوریک، باعث کاهش پ هاش خاک گردد و به طور غیر مستقیم بر افزایش جذب برخی عناصر نقش دارد(۸). مصرف گوگرد بیشتر به دلیل اثرات جانبی مفیدی که در اسیدی کردن موضعی خاک و افزایش قابلیت انحلال سایر عناصر غذایی دارد، اهمیت پیدا می کند، 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 که روش متداول برای رفع این کمبودها ، استفاده از کودهای شیمیایی است که علاوه بر بهای زیاد و بازدهی کم، خطر آلودگی های زیست محیطی را

نیز به همراه دارند (۹و۱۰). در حالی که گوگرد ، به دلیل ظرفیت اکسیده شدن و تولید اسید سولفوریک، پتانسیل لازم برای کاهش پ‌هاش خاک را حداقل در مقیاس کوچک اطراف ذرات خود دارا بوده و بنابراین می تواند به خصوص در منطقه ریزوسفر، در انحلال ترکیبات نامحلول و آزادشدن عناصر ضروری مؤثرواقع شود (۳ و ۱۴).

بیش از ۹۵ درصد کل گوگرد خاک ها در مناطق مرطوب و گرم و خشک به صورت ترکیبات آلی است، بنابراین معدنی شدن گوگرد و پتانسیل آن از عوامل ضروری برای تشخیص نیاز کودی گیاهان برای رشد طبیعی است و دانستن نسبت های معدنی شدن گوگرد و خصوصیات آن در خاک و چرخه این عنصر در طبیعت مهم است.

معدنی شدن گوگرد اصولاً یک فرایند زیستی است و میزان معدنی شدن آن در یک زمان مشخص به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بستگی دارد (۷۵). مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهد با افزایش دما، رطوبت، پ‌هاش و فراهمی عناصرمعدنی شدن گوگرد در خاک ها تحت تأثیر افزایش مواد آلی و رشد گیاهان است. عوامل متفاوتی نظیر نوع خاک، نوع و کیفیت گوگرد، مقدار مصرف، طول مدت تیمار و شرایط محیطی در میزان اکسیداسیون گوگرد در خاک تأثیر داشته و باعث خواهد شد تا واکنش پذیری کودهای گوگردی در خاک‌های مختلف متفاوت باشد، به این منظور عوامل مختلف خاکی تأثیرگذار شامل میزان رس و شوری خاک و همچنین زمان مصرف بر میزان اکسیداسیون بیوشیمیایی گوگرد در شرایط کنترل شده مورد بررسی قرار گرفت، اطلاعات بدست آمده در این قسمت روند اکسیداسیون گوگرد را مورد بررسی قرار داده و ارتباط آن را با برخی از خصوصیات خاک مشخص می نماید که بر اساس آن زمان مصرف کودهای گوگردی در خاک قابل پیش بینی خواهد بود.

فصل دوم

بررسی منابع

۲–۱– مقدار و اشکال گوگرد در خاک

۲–۱–۱– گوگرد آلی خاک

در خاک های نواحی مرطوب و هر جایی که مواد آلی در خاک تجمع حاصل کند قسمت عمده گوگرد به صورت گوگرد آلی است به طوری که مقدار گوگرد آلی خاک های چرنوزوم، خاک های مرتعی سیاه و پدوزل طبق گزارش ایوان وروست (۱۹۴۵) به ترتیب برابر ۷۳، ۷۱ و ۴۹ درصد مقدار کل گوگرد این خاک ها بوده است . به طور کلی گوگرد آلی در خاک ها به صورت پروت ئین، پلی پپتیدها و اسیدآمینه است که در اجساد و باقیمانده های گیاهان، حیوانات و موجودات ذره بینی خاک یافت می شوند (۹).

بر طبق اظهار نظر طباطبایی در حدود ۹۰ تا ۹۵ درصد گوگرد خاک در مواد آلی ذخیره می شود که با یک اتم ساده کربن (C-S) تشکیل ترکیبات ساده و یا به صورت سولفات های استری (C-O/N-S) وجود دارد (۷۶). گوگرد آلی از طریق هیدرولیز استرهای سولفاتی توسط سولفاتازهای مختلف به فرم سولفاتی کاتالیز می شود و یا از طریق معدنی شدن پیوند ساده کربن با گوگرد توسط فعالیت میکروبی به فرم سولفاتی در می آید (۲۵).

سولفور موجود در سطح خاک ها عمدتاً به شکل آلی است (۲۶ و ۸۶). مواد آلی یک منبع مهم برای گوگرد در خاک هستند(۷۶و ۴۹). گوگرد آلی به منظور قابل جذب شدن برای گیاه باید به شکل معدنی آن یعنی سولفات در آید. بنابراین هر تغییری در موادآلی خاک بر روی میزان کل گوگرد خاک تأثیر دارد (۳۹).

۲–۱–۲– گوگرد معدنی خاک

نزدیک به تمام گوگرد در خاک های نواحی خشک و درصد کمی از گوگرد خاک های نواحی مرطوب به صورت معدنی است که به صورت سولفور و سولفات فلزات مختلف قلیایی و قلیایی خاکی مشاهده می شود. در خاک های کشاورزی مقدار خیلی کمی از گوگرد معدنی به صورت ترکیبات غیر سولفاتی است، زیرا تهویه این خاک ها مناسب بوده و سولفورها به آسانی اکسید شده و به شکل

سولفات تبدیل می شوند . اما در خاک های با تلاقی، غرقاب و یا خاک های با زهکشی ضعیف که شرایط احیاء دارند احتمال وجود ترکیبات سولفوری گوگرد زیاد است. در افق های خشک خاک های نواحی مرطوب و در تمام خاک های نواحی خشک بیش از ۹۰ درصد گوگرد معدنی را سولفات ها تشکیل می دهند، از مهم ترین سولفات های خاک می توان ژیپس یا گچ ($CaSO_4.2H_2O$) را نام برد که تقریباً ۷۵ درصد گوگرد معدنی را در خاک های آهکی شامل می شود (۹).

منبع اصلی گوگرد در خاک های مناطق مرطوب مواد آلی می باشند در حالی که در خاک های مناطق خشک منبع اصلی گوگرد، گچ است (۴۰). وجود غلظت ۳ تا ۵ میلی گرم در کیلوگرم سولفات محلول در خاک برای رشد اکثر گیاهان مطلوب است اگر چه محصولاتی مانند کلم و یونجه به غلظت های بالاتری نیاز دارند. خاک های شنی دارای کمبود گوگرد، اغلب دارای سولفات محلول کمتر از ۵ میلی گرم در کیلوگرم هستند معمولاً تجمع سولفات محلول در افق های گچی یا آهکی و در افق های متراکمی که آب شویی کمتری دارند وجود دارد (۷۸). به هر حال اگر چه سولفات معدنی عموماً کمتر از ۵ درصد کل گوگرد موجود د ر خاک های کشاورزی را شامل می شود اما این بدان معنی نیست که این خاک ها از نظر گوگرد کل محدودیت دارند، زیرا بیشتر از ۹۵ درصد گوگرد کل خاک که به شکل آلی است که پس از معدنی شدن به شکل قابل جذب برای گیاهان در می آیند (۶۰).

۲-۲- گوگرد در گیاه

۲-۲-۱- نقش گوگرد در رشد گیاهان

گوگرد یکی از ترکیبات ضروری در بعضی از اسید آمینه هایی است که در سنتز پروتئین نیاز می باشند، این عنصر برای تشکیل کلروفیل، ویتامین ها، آنزیم ها و چربی های حلقوی ضروری است. طعم و بوی بعضی از گیاهان از قبیل خردل به دلیل وجود این عنصر در ترکیب آنهاست (۵۳). این عنصر در کیفیت نانوایی گندم، مقدار پروتئین و قند گیاهان علوفه ای و حبوبات مهم است و قابلیت هضم گیاهان علوفه ای و لگوم ها را افزایش می دهد (۴۰). سه اسید آمینه سیستین، سیستئین و متیونین دارای گوگرد هستند و این یک مسئله اصلی در تولید پروتئین است . سیستین از اکسیداسیون

سیستئین به وجود می آید (۱۷). گوگرد در تنظیم و ساخت قند، نشاسته وهمی سلولز موثر است . تنظیم کنندگان رشد، تیامین و بیوتین نیز دارای گوگرد هستند (۹).

۲-۲-۲- جذب گوگرد توسط گیاهان

اطلاعات امروزی نشان می دهد که گوگرد اصولاً به صورت آنیون سولفات (SO_4^{2-}) هم از طریق ریشه و هم از طریق برگ جذب گیاه می شود . البته نتایج آزمایش ها جذب گوگرد توسط برگ ها را به صورت گاز انیدرید سولفوریک تأیید کرده است. مکانیسم جذب گوگرد از سایر آنیون ها جدا نیست و از این جهت بیشتر شبیه فسفات است تا نیترات (۹). جذب سولفات و فسفات دارای دو مرحله جذب غیرفعال وفعال است، در پدیده جذب غیرفعال سولفات یون بی کربنات تبادلی سطح ریشه را بر اساس قوانین مربوطه جابه جا می کند. ولی به هر حال سرعت گرفته شدن سولفات در سطح ریشه از نیترات و کلر کمتر و شبیه فسفات است (۳۴). مقدار بهینه گوگرد در گیاهان دانه روغنی نسبت به غلات بیشتر است. حد مطلوب غلظت گوگرد درگیاهان متغیر است و بیشتر بستگی به رقم و شرایط رشد دارد، به طور معمول بین ۰/۲ تا ۰/۴ درصد گوگرد در بیشتر گیاهان قابل قبول است (۱۷).

۲-۲-۳- کمبود گوگرد در گیاهان

کمبود گوگرد از خیلی جهات شبیه کمبود نیتروژن می باشد، برگ ها بی رنگ یا سبز کم رنگ می شوند و به علت عدم تحرک گوگرد در گیاهان علائم کمبود آن بر خلاف نیتروژن در برگ های جوان ظاهر می شود. گیاهان دارای کمبود گوگرد کوچک، دوکی شکل با ساقه های کوتاه و ضعیف، به تأخیر انداختن رشد و رسیدگی در غلات، کاهش تشکیل غده در ریشه های حبوبات و در نتیجه کاهش تثبیت نیتروژن ، عدم رسیدگی میوه ها و سبز ماندن آنها از علائم کمبود آن است . علوفه های دارای نسبت بالای N/S دارای ارزش غذایی کم است (این نسبت باید در علوفه برابر ۱۷ باشد)(۱۷).

۲-۳- معدنی شدن و آلی شدن گوگرد

دو فرایند ضروری در چرخه گوگرد در خاک ها وجود دارد که شامل آلی شدن گوگرد معدنی و معدنی شدن گوگرد آلی است که هر دو به صورت میکروبی انجام می شود و نتیجه آن ها قابل دسترس شدن گوگرد برای گیاه است بنابراین دانستن علم دینامیک گوگرد آ لی خاک برای تشخیص قابلیت دسترسی سولفور مهم است، به هر حال معدنی شدن و آلی شدن گوگرد به طور هم زمان ولی با مقادیر متفاوت در خاک صورت می گیرد (۵۳ و۸۶). معدنی شدن 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 معدنی شدن گوگرد خاک مؤثرند که مهم ترین آنها مقدار گوگرد در مواد آلی، نوع و تعداد موجودات ذرهبینی، پهاش محیط، تهویه خاک هستند (۹). معدنی شدن گوگرد در خاک ها اصولاً یک فرایند زیستی است و مقدار آن د ر یک زمان معین به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بستگی دارد. مطالعات آزمایشگاهی نشان می دهد که علاوه بر دما، رطوبت، پ هاش و فراهمی عناصر، معدنی شدن گوگرد در خاک ها تحت تأثیر میزان مواد آلی اضافه شده و مرحله رشدی گیاه نیز قرار می گیرد (۲۹).

۲-۴- عوامل موثر در معدنی شدن گوگرد

۲-۴-۱- نسبت کربن به گوگرد

معدنی شدن گوگرد به ظرفیت گوگرد مواد قابل تجزیه و بعضی عوامل دیگر بستگی دارد (۷۸). در صورتی که نسبت C/S خاک پایین تر از ۲۰۰ باشد منجر به معدنی شدن گوگرد می شود و اگر بالاتر از ۴۰۰ باشد آلی شدن گوگرد در خاک اتفاق می افتد و چنان چه این نسبت بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ باشد میزان معدنی شدن گوگرد با آلی شدن آن برابر است (۴۵ و ۴۸). میزان معدنی شدن گوگرد درخاک بسته به نوع بقایای گیاهی اضافه شده به خاک متفاوت است زیرا ارتباط زیادی بین معدنی شدن گوگرد با نسبت C/S بقایای گیاهی وجود دارد، معدنی شدن تجمعی گوگرد در خاک های تیمار

شده با کودهای آلی و سبز دارای یک فاز سریع طی ۱۰ هفته اول خوابانیدن بوده و پس از آن در هفته ۱۰ تا ۱۶ دارای سرعت کمی است (۷۶). معدنی شدن گوگرد در حضور بقایای گیاهی سویا و گندم با نسبت‌های C/S برابر با ۳۷۱ و ۵۹۹ به علت آلی شدن گوگرد از هفته های ۱۰ به بعد دوره خوابانیدن کاهش می یابد ولی میزان معدنی شدن برای بقایای گندم نسبت به سویا بیشتر بود ، این نشان می دهد که نسبت C/S بقایای گیاهی یک عامل مهم در فرایند معدنی شدن گوگرد محسوب می شود (۵۲).

۲-۴-۲- رطوبت و تهویه خاک

بیشترین میزان معدنی شدن گوگرد عنصری در ظرفیت نزدیک به حالت ظرفیت زراعی اتفاق می افتد، زیرا در این حالت گیاهان می توانند جمعیت میکروبی محیط ریزوسفر را تحریک کنند (۴۳).

تحت شرایط غرقاب، اکسیداسیون سه خاک در شرایط عدم حضور گوگرد و در غیاب گیاه بر نج برای مدت ۱۴، ۲۸ و ۴۲ روز مورد بررسی قرار گرفت که طی آن کاهش قابل توجهی در میزان سولفات مشاهده شد در حالی که گوگرد آلی در این مدت ثابت ماند، احتمالاً کاهش سولفات بدلیل برگشت آن به شکل سولفید و اشکال دیگری از گوگرد تحت شرایط غرقاب بود. نتایج فوق با نتایج به دست آمده از نمونه هایی که هواخشک شده اند متفاوت است به طوری که در شرایط هواخشک یک سرعت شدیدی از معدنی شدن گوگرد طی دوره خوابانیدن نمونه های خاک مشاهده شد و این امر احتمالاً در یک دوره کوتاهی اتفاق می‌افتد که اغلب با مرطوب شدن خاک‌های خشک همراه است (۳۸). با وجود شرایط غرقاب، اکسایش گوگرد به دلیل کاهش منافذ هوا (تهویه) در خاک ها محدود می‌گردد زیرا میزان انتشار اکسیژن در آب تقریبا برابر ۱/۱۰۰۰۰ است، بنابراین میزان آب در خاک می تواند در کاهش اکسیژن و در نهایت اکسیداسیون گوگرد م ؤثر باشد (۴۳). حداکثر اکسیداسیون گوگرد در رطوبت ظرفیت زراعی حدود ۸۷/۵ درصد که با کاهش رطوبت سرعت آن کم و به ۱۸ درصد می‌رسد (۵۰).

۲-۴-۳- دمای خاک

اکسیداسیون گوگرد در دمای بالاتر از ۵ درجه سانتی گراد شروع می شود و مناسب ترین نسبت اکسیداسیون در محدوده دمایی ۳۰ تا ۴۰ درجه سانتی گراد دیده می شود و در دمای بالاتر کاهش می یابد (۴۶). اکسیداسیون گوگرد در دمای کمتر از ۴ درجه سانتی گراد متوقف می شود و در دمای بالاتر (ماکزیمم تا ۴۰ درجه سانتی گراد) به سرعت افزایش می یابد (۸۴).

به طور کلی به نظر می رسد که در مناطق با آب و هوای گرمسیری معدنی شدن گوگرد افزایش می یابد، این شاید به این دلیل باشد که در خاک های این مناطق معمولاً میزان گوگرد کل نسبت به خاک های مناطق غیر گرمسیری پایین تر است (۶۴).

معدنی‌شدن گوگرد در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد به شدت کند می‌شود و با افزایش دما از ۲۰ به ۴۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد و در دمای بیشتر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد کاهش می یابد (۷۸). نور و طباطبایی دریافتند که میانگین معدنی شدن گوگرد در پنج خاک پس از ۵۶ روز خوابانیدن در دمای ۵ درجه سانتی گراد برابر ۸، در ۵۱ درجه برابر ۲۲ و در ۳۰ درجه برابر ۴۷ درصد می باشد (۶۳). شیدلی دریافت که بیشترین نسبت اکسیداسیون گوگرد در دمای ۲۴ و ۱۸ درجه سانتی گراد به ترتیب برای روز و شب برای ذرات با قطر ۴۰ میکرومتر صورت می گیرد (۶۹).

۲-۴-۴- پ هاش خاک

سرعت اکسیداسیون گوگرد تحت تأثیر پ هاش خاک قرار دارد به‌طوری که درخاک های بازی با بیشترین سرعت و در اسیدی با کمترین سرعت صورت می گیرد و در خاک های با پ هاش خنثی نرمال است (۴۱). دلیل کم بودن سرعت اکسیداسیون گوگرد در خاک های اسیدی کاهش فعالیت ریزجانداران خاک و افزایش آن در خاک های بازی به دلیل حضور کربنات کلسیم در این خاک هاست (۵۷).

سولفاتی شدن گوگرد از نظر پ هاش به فعالیت باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس بستگی دارد زیرا این باکتری قادر است در محدوده پ هاش ۲ تا ۹ به خوبی فعالیت کند (۹). پ هاش خاک از

جمله عواملی است که سایر خصوصیات خاک را تحت تأثیر قرار می دهد ، حلالیت عناصر معدنی به میزان پ‌هاش خاک بستگی‌دارد. هم چنین پ هاش خاک از طریق فعالیت ریز جانداران خاک بر رشد گیاه نیز تأثیر می گذارد. مطالعات برخی از پژوهشگران مؤید این نکته است که یک رابطه منفی قابل توجهی بین پ هاش خاک با مقدار گوگرد مصرفی وجود دارد (۶۶).

ژاو معتقد است که افزایش پ هاش خاک تحت شرایط غرقابی، منجر به تشکیل مقدار زیادی هیدروکسیل آهن $Fe(OH)_3$ از احیای Fe^{3+} در یک خاک اسیدی و انتشار گاز آمونیاک حاصل از تجزیه موادآلی تحت شرایط غرقاب می شود که می تواند باعث خنثی شدن H^+ در خاک اسیدی شود . بنابراین تفاوت مهمی در میزان پ هاش خاک در حالت افزایش گوگرد عنصری و یا بدون وجود آن وجود ندارد، دلیل این که اکسیداسیون گوگرد عنصری باعث تغییر برجسته ای در پ هاش خاک نمی شود را می توان به زیادی ظرفیت بافری خاک ها و همچنین تبدیل قسمتی از گوگرد عنصری به شکل گوگرد آلی در خاک دانست (۸۵). ویتولینز و اسوابی یک محدوده از خاک ها و مزارع را برای پیدا کردن ارتباط بین پ هاش خاک و قابلیت اکسیداسیون گوگرد مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که خاک های با پ هاش بیشتر از ۸ اغلب دارای قابلیت اکسیدکنندگی ضعیفی برای گوگرد هستند (۸۱).

۲-۴-۵- مواد آلی خاک

برخی مشاهدات نشان می دهد که افزایش مواد آلی به خاک، باعث افزایش اکسیداسیون گوگرد و کاهش پ هاش خاک می شود (۴۴). مواد آلی، کود سبز و کود دامی باعث افزایش اکسیداسیون گوگرد می شود (۵۱). سیفوانتس و لیندمن تأثیر مصرف گوگرد عنصری همراه با مواد آلی را بر قابلیت جذب عناصر غذایی در خاک های آهکی مورد بررسی قرار دادند . نتایج آزمایش نشان داد که در تیمارهای حاوی مواد آلی و گوگرد شدت اکسیداسیون، بیشتر از تیمارهای حاوی گوگرد تنها بود . همچنین در این تیمارها، پ هاش خاک حدود ۰/۲۴ واحد نسبت به تیمارهای حاوی گوگرد کمتر بود (۲۸و ۶۳). در خاک های خنثی و بازی در صورت استفاده از گوگرد عنصری به همراه مواد آلی مناسب

می توان با افزایش فعالیت ریزجانداران بومی اکسیدکننده گوگرد، شامل گونه های خنثی دوست تیوباسیلوس که اغلب شیمیولیتوتروف هستند باعث تشدید اکسیداسیون گوگرد و کا هش قابل ملاحظه پ هاش خاک شد (۱۵).

در بررسی میزان معدنی شدن گوگرد خاک با کاربرد کودهای آلی، بقایای محصول و کودهای سبز گزارش شد که غلظت گوگرد آلی در یک خاک لوم رس سیلتی تا ۱۶ درصد زمانی که ۲ تن در هکتار در سال و تا ۴۹ درصد زمانی که ۱۶ تن در هکتار در سال از بقایای محصول یونجه به مدت ۱۱ سال استفاده می شود افزایش می یابد (۵۴). مطالعات دیگر نشان می دهد که غلظت اضافه شده گوگرد از طریق مصرف کودهای دامی و سوپرفسفات ها برای انواع سیستم های کشاورزی علاوه بر مواد آلی خاک، ظرفیت گوگرد آلی و کل خاک را نیز افزایش می دهد (۶۲ و ۳۰)، به دلیل این افزایش پتانسیل معدنی شدن گوگرد خاک نیز افزایش می یابد (۲۷). نسبت معدنی شدن گوگرد بسته به نوع ماده آلی تیمار شده در خاک متفاوت است به طوری که در خاک های تیمار شده با کود آلی و کود سبز مشخص شد که میزان تجمعی گوگرد معدنی شده در خاکی که با انواع کودهای آلی تیمار شده بیشتر از خاکی است که با کود سبز تیمار شده است به طوری که در حالت اول این میزان برابر ۶۱ تا ۶۷ درصد است اما در حالت دوم میزان معدنی شدن گوگرد برابر ۵۰ تا ۵۶ درصد است و این تفاوت ناشی از نسبت C/S بقایای گیاهی اضافه شده به خاک است. افزایش بقایای گیاهی به داخل یک خاک لومی اکسیداسیون گوگرد عنصری را تحریک می کند که به دلیل افزایش دسترسی کربن می باشد (۳۱).

۲-۴-۶- آهک خاک

در سطح الارض خاک های با پوشش جنگلی و آهکی پ هاش خاک و فعالیت بیولوژیکی افزایش می یابد، بنابراین دارای یک پتانسیل مفید در معدنی شدن گوگرد هستند (۶۵ و ۸۰). اکسایش گوگرد در خاک ممکن است به علت ظرفیت بالای خاک های آهکی به آهستگی صورت گیرد (۵۵). کریمی نیا طی آزمایشی نشان داد که پ هاش خاک حاوی گوگرد با تلقیح باکتری های تیوباسیلوس

در طی هفت هفته برای خاک حاوی ۴ درصد آهک به میزان ۰/۸ واحد و در طی پنج هفته برای خاک با ۱۲ درصد آهک به میزان ۰/۷۶ واحد کاهش یافت (۱۶).

در یک آزمایش مزرعه ای اثر طولانی مدت مصرف آهک با ترکیب دولومیت ($Ca\ Mg(CO_3)$) در چهار سطح ۰، ۰/۱۶ ، ۰/۳۵ و ۰/۸۸ کیلوگرم بر متر مربع خاک و کربنات کلسیم ($CaCO_3$) در دو سطح ۰ و ۰/۵ کیلوگرم بر متر مربع خاک در اکسیداسیون گوگرد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اکسیداسیون گوگرد پس از ۷ سال با افزایش نسبت های آهک مصرفی کاهش یافته است (۷۹).

۲-۴-۷- ریزجانداران خاک

اکسیداسیون گوگرد در قدم اول به فعالیت ریزجانداران خاک و پس از آن به اندازه ذرات بستگی دارد زیرا اکسیداسیون گوگرد یک فرایند زیستی است، به طوری که تأثیر سایر عوامل از قبیل دما، ظرفیت رطوبتی و تهویه خاک روی اکسیداسیون گوگرد به دلیل ارتباط مستقیم آنها با فعالیت میکروبی است (۴۶).

اکسیداسیون گوگرد عنصری بوسیله گونه های تیوباسیلوس و باکتری های هوازی هتروتروفیک اکسیدکننده گوگرد در طی ۸۴ روز آزمایش خوابانیدن در دمای ۲۰ و ۳۰ درجه سانتی گراد مورد بررسی قرار گرفت. پس از گذشت این زمان در دمای ۲۰ و ۳۰ درجه سانتی گراد به ترتیب ۱۶/۳ و ۲۲/۴ درصد از کل گوگرد اکسید گردید، فرایند اکسیداسیون دارای دو فاز بود یک فاز سریع در ۲۸ روز نخستین آزمایش و یک فاز کند، بیشترین اکسیداسیون در دو هفته اول در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد برابر ($\mu g\ s\ cm^{-2}\ day^{-}$) ۱۲/۸ و در دمای ۲۰ درجه برابر ($\mu g\ s\ cm^{-2}\ day^{-}$) ۱۰ به دست آمد. به طور میانگین بعد از دو هفته از شروع آزمایش پ هاش خاک تا ۳/۶ و ۴ واحد کاهش یافت و هدایت الکتریکی در شرایط و زمان یکسان افزایش یافت. با اکسید شدن گوگرد جمعیت گونه های تیوباسیلوس و باکتری های هوازی هتروتروفیک اکسیدکننده گوگرد پس از ۱۴ روز از شروع مرحله خوابانیدن به ترتیب $۲/۹ \times ۱۰^{۵}$ و $۱/۴ \times ۱۰^{۵}$ عدد در هر گرم خاک افزایش یافت و هیچ گونه

تیوباسیلوس پس از هشت هفته از شروع آزمایش مشاهده نشد. نتایج نشان می دهد که اکسیداسیون گوگرد باقیمانده به طور کامل به باکتری های هوازی هتروتروفیک اکسیدکننده گوگرد بستگی داشت(۸۵).

اکسیده شدن گوگرد عنصری به وسیله باکتری های بی شماری از باکتری های جنس تیوباسیلوس صورت می گیرد و مهم ترین جنس آن باکتری تیوباسیلوس تیو اکسیدانس است که تقریباً در تمام خاک ها یافت می شود. این باکتری ها هوازی و اتوتروف هستند و برای فعالیت خود احتیاج به اکسیژن مولکولی دارند، در ضمن کربن مورد نیاز خود را از گازکربنیک و انرژی لازم را از اکسیداسیون مواد معدنی بدست می آورند (۹).

بررسی ها نشان می‌دهد که اکسیداسیون گوگرد به صورت خطی با بیوماس میکروبی افزایش می‌یابد (۵۶). باکتری های شیمیولیتوتروف تیوباسیلوس تیواکسیدانس و تیوباسیلوس فرواکسیدانس بیش ترین نقش را در اکسیداسیون گوگرد در خاک ها ایفا می کنند (۳۶). برطبق گزارش چاپمن باکتری های جنس تیوباسیلوس و باکتری های هوازی هتروتروفیک اکسید کننده گوگرد، گوگرد موجود در ترکیبات را اکسید می کنند به طوری که تیوسولفات موجود در ترکیبات به طور کامل به شکل سولفات اکسید می شوند (۷۹).

گرچه تیوباسیلوس ها به عنوان عمده ترین اکسیدکننده های اجباری شناخته شده اند (۴ و ۵۱). فعالیت آنها به عنوان اکسیدکننده گوگرد وابسته به وجود موادآلی به عنوان منبع تأمین کننده انرژی برای این باکتری ها است. در صورت فقیر بودن خاک ها از نظر مواد آلی، امکان استفاده از گوگرد به عنوان یک ماده اصلاح کننده غیر ممکن خواهد بود. شاید عدم توفیق کشور در مصرف گوگرد در سال‌های قبل، در تولید صنعتی مایه تلقیح تیوباسیلوس نیز ناشی از کمبود موادآلی در خاک باشد که امکان مصرف آن را به عنوان ماده اصلاح کننده خاک غیر ممکن ساخته است (۵۹).

دلایل اصلی برای نسبت دادن نقش غالب اکسایش گوگرد به تیوباسیلوس ها عبارت از:

الف- این باکتری ها ترکیبات احیاء شده گوگرد را اکسید می کنند و این مسیر تنها راه (و گاهی ر اه ترجیحی) کسب انرژی آنهاست.

ب- گرچه تعداد آنها در خاک کم است ولی با افزودن گوگرد تعداد آنها افزایش می یابد و این افزایش با ازدیاد سولفات مطابقت دارد.

ج- تلقیح خاک با تیوباسیلوس، باعث افزایش این موجودات و در نتیجه افزایش اکسایش گوگرد می شود (۸۲).

طی یک آزمایش گلخانه ای شامل دو سطح فسفر (۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل)، چهار سطح گوگرد گرانوله (۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) و چه‌ار سطح مایه تلقیح (۰، ۰/۰۱ ، ۰/۰۲ و ۰/۰۴ گوگرد مصرفی) که در چهار تکرارو در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل انجام شد، نشان داده شد که مصرف گوگرد به تنهایی تأثیر معنی داری برعملکرد ذرت ، جذب فسفر و آهن توسط آن ندارد. این محققین عدم اکسایش گوگرد را که ناشی از جمعیت کم اکسیدکننده های گوگرد در آن خاک بود را به عنوان دلیل اصلی این موضوع عنوان گردید. این در حالی بود که عملکرد، مقدار آهن و روی جذب شده در تیمارهای تلقیح شده نسبت به تیمارهای بدون تلقیح حدود ۱۲/۵ ، ۵۸ و ۳/۳ درصد افزایش یافت. هم چنین آنها نشان دادند که تفاوت معنی داری بین سطوح مختلف مقدار مایه تلقیح وجود نداشت (۷۰).

۲-۴- ۸- بافت خاک

میزان و شدت اکسیداسیون علاوه بر ریزجانداران، مقدار و اندازه گوگرد، زمان، رطوبت، پ هاش و دمای خاک تحت تأثیر درصد رس، ماده آلی و آهک نیز می باشد (۵۴). میزان اکسیداسیون گوگرد با افزایش درصد رس خاک کاهش می یابد به طوری که در دو بافت مورد مطالعه میزان اکسیداسیون در خاک لوم شنی نسبت به لوم رسی افزایش نشان داد. این می تواند به دلیل نفوذپذیری و تهویه مناسب در خاک های شنی باشد (۲۳).

در یک مطالعه آزمایشگاهی، بعد از ۴۲ روز خوابانیدن چهار نمونه خاک (دو خاک شنی و دو خاک رسی) در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد میزان اکسیداسیون گوگرد مورد بررسی قرار گرفت، درصد کل اکسیداسیون گوگرد تحت عنوان سولفات در دو خاک شنی (۶۴ تا ۷۸ درصد) نسبت به دو خاک رسی (۳۴-۴۰) درصد بیشتر بود، این تفاوت در اکسیداسیون گوگرد و تولید سولفات احتمالاً در نتیجه توقف فعالیت میکروبی گزارش شده است. کود سولفاتی اصولاً باید در خاک های با بافت ریز استفاده شود زیرا در خاک های درشت بافت تا پایان ی ک دوره ۱۶ ماهه ممکن است از پروفیل خاک شسته شود (۴۶).

۲-۴-۹- شوری خاک

با افزایش میزان شوری خاک میزان اکسیداسیون گوگرد کاهش می یابد، این کاهش تا غلظت ۹ گرم نمک کلرید کلسیم در ۱۰۰ گرم خاک اتفاق می افتد و در غلظت بیشتر حدود ۱۱ گرم نمک در ۱۰۰ گرم خاک هیچ گونه اکسیداسیونی صورت نمی گیرد (۲۳).

شوری خاک یک فرایند ثانویه است که در اثر استفاده نامناسب سیستم های آبیاری و خصوصاً کاهش زهکشی خاک به وجود می آید، هم چنین کیفیت آب استفاده شده در آبیاری می تواند نیز در زیاد شدن شوری خاک مؤثر باشد (۵۹). اثرات شوری در خاک ها به صورت کاهش توسعه و رشد گیاه، افزایش انرژی مورد نیاز برای جذب عناصر غذایی و تعدیل بیوشیمیایی برای بقاء گیاه در شرایط استرس می باشد (۵). هم چنین در خاک های شور و قلیا غالباً دانه بندی فیزیکی و شیمیایی خاک می تواند باعث ایجاد آسیب هایی در ارتباط با تجمع عناصر غذایی، افزایش کمبود برخی عناصر و بروز سمیت برخی دیگر شود (۶۲). مواد اصلاح کننده سودمندی از قبیل گچ و مواد آلی برای بهبود خصوصیات خاک‌های بازی مورد استفاده قرار می گیرند (۳۷). زمانی که گوگرد عنصری به عنوان ماده اصلاح کننده به این خاک ها اضافه می شود یک واکنش زیستی توسط گونه های مختلف تیوباسیلوس در خاک صورت می گیرد که تولید اسیدسولفوریک کرده و پ هاش خاک را کاهش می دهد (۳۳). در محلول خاک یون هیدروژن تفکیک شده سدیم را از بخش تبادلی جدا کرده و آبشویی آن را افزایش

می دهد که این امر منجر به کاهش میزان شوری خاک می شود (۶۷). آبیاری با آب شور میزان پ‌هاش خاک را افزایش می دهد زیرا کاتیون های کلسیم، منیزیم و پتاسیم موجود در آن با کربنات و بی کربنات آب واکنش داده و باعث افزایش پ هاش خاک می شود (۷۲).

۲-۴-۱۰- برداشت گیاه

جذب سولفات توسط گیاه به سرعت باعث خالی شدن منبع سولفات خاک می شود ، هم چنین میزان گوگرد آلی به تدریج کاهش یافته و این امر منجر به معدنی شدن گوگرد آلی در خاک می شود (۸۸). در طول فصل رشد گوگرد تحت الارض ممکن است به دلیل عدم رشد ریشه در آن منطقه قابل استفاده برای گیاه نباشد اما بعد از دوره رشد که آب در طول پروفیل به سمت بالا حرکت می کند و ریشه های گیاهان عمیق تر می شوند، گوگرد تحت الارض معمولاً برای محصولات قابل استفاده می شود (۵۳). گرچه به طور دقیق مشخص نیست که به چه میزان کاهش سولفور در اثر سوزاندن جنگل ها در خاک اتفاق می افتد اما گزارش ها نشان داده است که با سوزاندن گیاهان علفی حدود ۷۵ درصد گوگرد کل محصولات کاهش می یابد (۴۰).

۲-۴-۱۱- اندازه ذرات گوگرد

یک ارتباط خطی و مثبت بین سطح ویژه ذرات گوگرد و اکسیداسیون گوگرد مشاهده شده است (۳۱).

۲-۴-۱۲- اثر کاربردهای قبلی گوگرد

در یک مطالعه اثرات کاربردهای قبلی گوگرد بر میزان اکسیداسیون گوگرد عنصری در ۲۰ نوع از خاک‌های کشاورزی چین نشان داد که کاربردهای قبلی گوگرد در میزان اکسیداسیون آن تأثیر قابل توجهی دارد. به طوری که اکسیداسیون گوگرد در حالتی که یک نوبت کاربرد قبلی از آن در خاک وجود داشته باشد نسبت به حالتی که دو نوبت کاربرد قبلی وجود داشته بیشتر است . بنابراین یک ارتباط منفی بین اکسیداسیون گوگرد عنصری با تعداد کاربردهای قبلی گوگرد در خاک وجود دارد (۷۳).

۲–۵– تأثیر اکسیداسیون گوگرد بر روی خصوصیات خاک و گیاه

اکسیداسیون گوگرد و تبدیل آن به سولفات و نهایتاً به اسید سولفوریک، باعث کاهش پ‌هاش خاک به خصوص در خاک‌های بازی می گردد و از طرفی حلالیت کربنات کلسیم افزایش یافته که این عامل باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک می گردد (۸۲). در بررسی اثر تیوباسیلوس ، سولفور و ورمی کمپوست در فسفر قابل استفاده از سنگ فسفات یک آزمایش در غالب طرح کاملاً تصادفی و به صورت فاکتوریل که شامل سه سطح سولفور ۰، ۱۰و ۲۰ درصد ، دوسطح ورمی کمپوست ۰و ۱۵ درصد، با حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس در سه تکرار در اراضی کشاورزی استان یزد در ایران انجام شد. نتایج نشان داد ، بیشترین حلالیت سنگ فسفات و کمترین پ هاش خاک در تیمارهای ۲۰ درصد گوگرد، ۱۵ درصد ورمی کمپوست در حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس وجو د دارد (۶۱). در یک مطالعه آزمایشگاهی تأثیر مقادیر مختلف گوگرد، بقایای گیاهی یک گونه سرخس و خرده های چوب در اسیدی کردن خاک مورد بررسی قرار گرفت، مشخص گردید که تمام نسبت های گوگرد پ هاش خاک را کاهش داده ولی این تأثیر بسته به میزان گوگرد متفاوت بود به طوری که در نسبت های ۱ و ۲ تن در هکتار پ هاش خاک برابر ۴ و در نسبت های ۸ تن در هکتار به کمتر از ۳ کاهش یافت، بقایای سرخس پ هاش خاک را به ۴ تا ۴/۵ و خرده های چوب پ هاش را با ۰/۵ الی ۱ واحد کاهش به ۵/۵ رساند. نتایج این بررسی نشان داد که بهترین نتیجه برای کنترل پ هاش خاک در نسبت کم گوگرد همراه با بقایای سرخس حاصل می گردد (۶۳). در نتیجه اکسیداسیون گوگرد عنصری هدایت الکتریکی خاک به نسبت قابل توجهی افزایش می یابد (۸۲).

در یک مطالعه آزمایشگاهی به روش خوابانیدن پس از ۱۴ روز از شروع آزمایش تفاوت معنی داری در میزان پ هاش و هدایت الکتریکی خاک در دمای ۳۰ درجه مشاهده گردید به طوری که مقادیر پ‌هاش و هدایت الکتریکی در شروع آزمایش به ترتیب برابر۷ و ۰/۱۹ (ds/m) بود که پس از گذشت ۱۴ روز از شروع خوابانیدن مقادیر آنها به ۳/۴ و ۲/۰۸ (ds/m) تغییر یافت (۸۸).

اراضی کشور به دلیل آهکی بودن (پ هاش بالای هفت) نیاز مبرم به مصرف گوگرد برای اصلاح خاک و افزایش حاصلخیزی دارند، سینک و چانجاری در آزمایشی در شرایط مزرعه ای، تأثیر مصرف گوگرد را بر عملکرد و غلظت عناصر غذایی مورد بررسی قرار دادند، نتایج آزمایش نشان داد که گوگرد عنصری جذب تمامی عناصر غذایی اندازه گیری شده (نیتروژن، فسفر، پتاس، گوگرد، آهن، منگنز و روی) را افزایش داده است. کومار و سینک در آزمایشی گلخانه ای به بررسی اثر گوگرد بر جذب عنصر روی در ۴۵ و ۱۱۰ روز بعد از کشت گیاه سویا پرداختند و بیان داشتند که جذب روی در هر دو مرحله رشد با مصرف ۴۰ و ۸۰ میلی گرم گوگرد در کیلوگرم خاک افزایش یافت اما ۱۲۰ میلی گرم گوگرد در کیلوگرم خاک، موجب کاهش جذب آن گردید . کلباسی و همکاران اثر گوگرد در جذب آهن، روی و منگنز را به وسیله سه گیاه ذرت، سورگوم و سویا در خاکی با ۴۰ درصد آهک را مورد بررسی قرار دادند که نتایج مطالعه تأثیر مثبت و معنی دار گوگرد را در میزان جذب این عناصر نسبت به شاهد نشان داد (۵ و۴۷). در بین مواد اسید زا کاربرد گوگرد به همراه باکتری های تیوباسیلوس یکی از روش های کاهش موضعی پ هاش می باشد . اسید سولفوریکی که از اکسیداسیون گوگرد توسط باکتری های اکسید کننده گوگرد تولید می شود با فسفات خاک واکنش داده و تولید مواد محلول تری مانند مونو و دی کلسیم فسفات می کنند (۷۲). در تحقیقی دیگر نتایج نشان داد که گوگرد به عنوان ماده اسیدزا با کاهش میزان پ‌هاش خاک در اطراف ریشه ها 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 (۲).

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 می یابد (۱۱). آتو و السن پی بردند که میزان اکسیداسیون گوگرد در خاک های تلقیح شده نسبت به خاک

های تلقیح نشده ۱۱ برابر بیشتر است. تحقیقات متعدد نشان داده است که اضافه کردن گوگرد باعث افزایش جمعیت باکتری های جنس تیوباسیلوس در خاک شده است که این افزایش جمعیت، افزایش اکسیداسیون گوگرد را در سالهای آتی باعث خواهد شد(۲۱و۷۰).

عده‌ای از محققان (۷۴و۱۸) گزارش کردند که با مصرف اسید سولفوریک هدایت الکتریکی خاک‌های مورد مطالعه آنها افزایش یافته است، همچنین کلباسی و همکاران گزارش کردند که با مصرف گوگرد پ هاش خاک های مورد بررسی آنان کاهش یافته است، افزایش گوگرد عنصری به سه نوع کمپوست متفاوت برای کاهش اثر پ هاش باعث افزایش قابل ملاحظه ای در جمعیت باکتری های خودپرور و افزایش مختصر در جمعیت باکتری های ناخودپرور به همراه اکسیداسیون گوگرد شده است اما اکتینومیست ها، قارچ ها و مخمرها با اضافه شدن گوگرد به کمپوست ها تحت ت أثیر قرار نگرفتند (۳۲).

نتایج تحقیقی دیگر نشان داد که در اثر مصرف گوگرد و با گذشت زمان، پ هاش خاک کاه ش و میزان کلسیم، منیزیم و هدایت الکتریکی افزایش می یابد که این روند وابسته به سطوح گوگرد می باشد به طوری که در بالاترین سطح گوگرد بیشترین میزان کاهش پ هاش و بیشترین میزان افزایش کلسیم، منیزیم و هدایت الکتریکی مشاهده می گردد (۱۲).

اثرات مثبت گوگرد بر کاهش پ هاش خاک های آهکی، افزایش حلالیت عناصر کم مصرف و همچنین پرمصرف به ویژه فسفر و نقش آن در اصلاح خاک های شور و سدیمی و خاصیت اصلاح کنندگی آب های نامناسب ثابت شده است (۱۳). در تحقیقی دیگر با افزایش سطوح گوگرد هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک نیز از ۱/۳ به ۵ دسی 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 گیاه شد به طوری که کاهش آهن در خاک و گیاه و نیز افزایش قابل ملاحظه منگنز احتمالاً به دلیل تضادی است که بین آهن و منگنز وجود دارد (۷).

در آزمایشی تحت شرایط غرقاب جهت بررسی اثر کشت محصول برنج براکسایش گوگرد سه نمونه خاک تیمار شده با گوگرد در دو سطح ۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک و در حضور و عدم حضور گیاه برنج به مدت ۱۴، ۲۸ و ۴۲ روز خوابانیده شدند ، نتایج نشان داد که اکسیداسیون گوگرد در این سه خاک طی ۱۴ روز اولیه افزایش و سپس با گذشت زمان کاهش یافت به طوری که پس از ۴۲ روز اکسیداسیون گوگرد بین ۵/۵۸ تا ۱۰ درصد و میزان تبدیل گوگرد به شکل آلی نیز برابر ۳/۲۳ تا ۵/۸ درصد بود. کشت برنج تاثیر قابل توجهی بر میزان اکسایش گوگرد و تبدیل آن به شکل آلی داشت به طوری که در پایان دوره آزمایش اکسیداسیون گوگرد در حضور گیاه برابر ۱۰/۲۸ تا ۱۴/۸۷ درصد و تبدیل آن به شکل آلی برابر ۵/۷۴ تا ۵/۸۰ درصد بود. (۸۶)

نتایج جدول (۲-۱) نشان می دهد که تغییرات پ هاش و هدایت الکتریکی در اثر اکسیداسیون گوگرد در تیمار شاهد جزئی است، به طوری که پ هاش خاک بین ۶/۸ و ۷ و هدایت الکتریکی بین ۰/۱۶ تا ۰/۲۱ میلی موس بر سانتی متر متغیر است در حالی که در صورت کاربر گوگرد تغییرات پ هاش و هدایت الکتریکی خاک قابل توجه است. به طوری که مقدار پ هاش خاک پس از ۱۴ روز خوابانیدن در دمای ۳۰ و ۲۰ درجه سانتی گراد به ترتیب از ۷ به ۳/۴ و ۲/۹ کاهش و هدایت الکتریکی خاک نیز در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد از ۰/۱۹ به ۲/۰۸ میلی موس بر سانتی متر و در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد از ۰/۱۹ به ۱/۳۱ میلی موس بر سانتی متر افزایش می یابد (۸۸).

جدول۲-۱ : تغییرات پ هاش و هدایت الکتریکی خاک در اثر اکسیداسیون گوگرد عنصری

دما	کاربرد گوگرد عنصری	پ هاش در زمان های مختلف							هدایت الکتریکی در زمان های مختلف						
		0	14	28	42	56	70	84	0	14	28	42	56	70	84
سانتی گراد									میلی موس بر سانتی متر						
20	+	7/98	7/41	7	7/97	7/95	7/97	7/93	0/190	0/311	0/951	2	0/981	0/022	0/052
	-	7/027	7/946		7/966	7/996	7/966	7/996	0/190	0/180	0/170	0/180	0/190	0/180	0/170

30	+	/98 2	/89 2	/99 2	/94 2	/85 2	/84 2	/82 2	/19 0	/08 2	/17 2	/20 2	/29 2	/39 2	/47 2
	-	/02 7	/91 6	/94 6	/89 6	/94 6	/83 6	/86 6	/19 0	/16 0	/19 0	/19 0	0/2	/21 0	0/2

۲–۶– اندازه گیری اکسیداسیون گوگردی

۲–۶–۱– اندازه گیری گوگرد قابل جذب به روش عصاره گیری

ظهور سولفات در عصاره یک خاک فقیر به عنوان روشی برای اندازه گیری میزان اکسیداسیون گوگرد انجام دادند (۵۴). بلر اظهار کرد که در این روش اکسیداسیون گوگرد در نتیجه کاهش فعالیت میکروبی، کاهش می یابد (۲۴).

۲–۶–۲– روش مطالعه و بررسی میزان جذب گوگرد

در این روش اکسیداسیون گوگرد به وسیله میزان جذب آن توسط گیاه ذرت تعیین گردید و نسبت اکسیداسیون گوگرد نسبت به روش قبلی بیشتر بود (۳۱). بلر بیان کرد که به احتمال زیاد حضور گیاه در این سیستم به عنوان یک رقیب در جذب سولفات باعث افزایش اکسیداسیون گوگرد شده است (۲۴).

۲–۶–۳– روش ناپدیدی گوگرد عنصری

اندازه گیری ناپدیدی گوگرد عنصری مناسب ترین روش برای اندازه گیری نسبت اکسیداسیون گوگرد عنصری است زیرا در این روش طیف گسترده ای از حلا ل ها برای استخراج گوگرد از خاک استفاده می شوند که عبارتند از دی سولفید کربن ، کلروفرم و استون (۶۸ و ۲۲).

۲–۷– مدل های آزادسازی سولفور از گوگرد عنصری

مدل ذره کروی توسط بلر و مک اسلی برای آزادسازی سولفات از گوگرد عنصری و سوپرفسفات پیشنهاد گردید. این مدل رهایی سولفات از ذرات گوگرد را در واحد زمان (روز) در واحد سطح بیان می کند. با توجه به رابطه غیر خطی بین آنها با گذشت زمان میزان آزادسازی کاهش می یابد . در حالی که شعاع ذره در واحد زمان به طور ثابت کاهش می یابد سطح ویژه بصورت نمائی افزایش

می‌یابد. آن ها یک مدل مکانیستی در رابطه با اکسیداسیون گوگرد ، دما و رطوبت خاک نشان دادند که نسبت آزادسازی گوگرد عنصری (r) را می تواند به وسیله معادله زیر محاسبه کند (۵۸).

$$R= R_{max} . ft . f \qquad (۱-۲)$$

R= آزادسازی سولفور

R^{max} = حداکثر آزادسازی

ft = دما

f = رطوبت خاک

مدل چرخه عناصر غذایی (CNSP) از بلر و مک سکلی که توسط دانا برای تعیین اثر تغییر اندازه ذرات گوگرد عنصری روی نسبت اکسیداسیون گوگرد در ارتباط با تقاضای گیاه استفاده شده است که در آن منحنی تقاضای گوگرد بر اساس تخمین میزان رشد مرتع به عنوان مدل تعیین می‌شود (۲۹).

فصل سوم

مواد و روش ها

۳-۱- جمع آوری و تهیه نمونه های خاک

ابتدا از محل اجرای طرح، شهرستان نیشابور با طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۸ دقیقه ، عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و۵۲ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا حدود ۱۲۵۰ متر با میانگین بارندگی ده ساله زراعی برابر ۳۶۵/۸ میلی متر و میانگین دمایی ده ساله زراعی ۱۴/۸ درجه سانتیگراد در سال ۱۳۸۹، تعداد ۳۰ نمونه خاک از مزارع تحت کشت در نقاط مختلف شهرستا ن ازعمق ۰-۲۰ سانتی متری خاک برداشت گردید. پس از هوا خشک شدن و آماده سازی، خاک ها از الک دو میلی متری عبور داده شدند و تجزیه فیزیکی و شیمیایی روی آنها صورت گرفت. در نهایت ۳ نمونه خاک با خصوصیات تقریباً یکسان که تنها تفاوت شاخص آنها در میزان رس بود برای انجا م تحقیق انتخاب شدند.

۳-۲- تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه های خاک

در این مرحله هر نمونه خاک به دو بخش تقسیم گردید، یک بخش آن جهت انجام آزمایش های pH ، EC ، % O.C ، % TNV ، % SP، بافت خاک و میزان سولفات قابل جذب خاک هوا خشک و از الک ۲ میلی متری عبور داده شد. بخش دوم هر نمونه، در حالت خشک و در دمای یک درجه سانتی گراد تا شروع آزمایش خوابانیدن نگهداری شدند. لازم به ذکر است که از نمونه با رس متوسط (کلاس بافتی لوم)، برای بررسی تأثیر میزان شوری خاک در معدنی شدن گوگرد استفاده گردید.

در این مرحله پ‌ه‌اش ، درصد رطوبت اشباع خاک ، خاک و هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک، درصد کربنات کلسیم به روش تیتراسیون با اسید، درصد کربن آلی به روش والکلی- بلاک، وزن مخصوص ظاهری خاک(ρ_b) به روش سیلندر، بافت خاک به روش هیدرومتری و میزان سولفات قابل جذب خاک به‌روش توربیدی متری تعیین گردید(۱) که نتایج آن در جدول ۳-۱ گزارش شده است.

جدول ۳-۱ : نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی سه نمونه خاک انتخاب شده برای طرح قبل از شستشو

Rows	Clay	pH	EC (ds/m)	T.N.V (%)	O.C (%)	S.P. (%)	$S_{0_4}^{2-}$ (mg/kg)	ρb gr/cm^3	Soil Texture		
									Sand %	Silt %	Clay %
۱	کم	۷/۴۴	۳/۷۱	۲۳/۲	۰/۲	۲۶/۱	۶۷/۷۵	۱/۴	۶۴	۲۶	۱۰
۲	متوسط	۷/۵۳	۲/۸۶	۱۴/۵	۰/۷۵	۳۳/۹	۱۲۱/۷۵	۱/۳	۴۶	۳۶	۱۸
۳	زیاد	۷/۸۶	۱/۳۷	۱۴	۰/۴۷	۳۸/۶	۵۲/۵	۱/۱	۲۰	۴۷	۳۳

۳-۳- شستشوی نمونه های خاک

بخش دوم نمونه ها قبل از شروع دوره خوابانیدن ، در پنج مرحله به ترتیب توسط محلول ۰/۰۱۶ مولار KH_2PO_4 و آب مقطر آبشویی شدند تا سولفات تبادلی و محلول از خاک خارج گردد و برای رسیدن به یک سطح رطوبتی یکسان به هر نمونه مقداری آب مقطر اضافه وتحت مکش ۱۰ کیلوپاسکال قرار گرفت، نمونه ها در آزمایشگاه هواخشک و میزان سولفات قابل جذب خاک، پ هاش و هدایت الکتریکی آنها پس از مرحله شستشو اندازه گیری شد (۸۶). که نتایج به شرح جدول (۳-۲) می باشد.

جدول ۳-۲: نتایج آزمایش نمونه های خاک پس از شستشو

Rows	Clay	SO_4^{2-} (قبل ازشستشو)	SO_4^{2-} (بعدازشستشو)	pH	EC
۱	کم	۶۷/۷	۸	۷/۵	۰/۴۱
۲	متوسط	۱۲۱/۷	۱۳	۷/۴	۰/۴۷
۳	زیاد	۵۲/۵	۶/۷	۷/۱	۰/۲۶

۳-۴- روش انجام تحقیق

این تحقیق در شرایط آزمایشگاهی در قالب دو آزمایش، بدون وجود گیاه به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام گرفت.

در آزمایش اول تیمارها شامل میزان رس خاک در سه سطح کم{(۱۰ درصد)، متوسط(۱۸ درصد) و زیاد (۳۳ درصد)}، میزان گوگرد در دو سطح ۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار و همراه با وجود یا عدم وجود مایه تلقیح تیوباسیلوس به میزان دو درصد وزنی گوگرد و در آزمایش دوم تیمارها شامل شوری خاک در سه سطح {کم (ECe =۳ ds/m)، متوسط (ECe =۶ ds/m) و زیاد(ECe =۱۰ ds/m)}، میزان گوگرد در دو سطح ۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار و همراه با وجود یا عدم وجود مایه تلقیح تیوباسیلوس به میزان دو درصد وزنی گوگرد در شش زمان ۳، ۱۰، ۲۵، ۴۰، ۶۲ و ۹۰ روز بود. به این ترتیب نمونه های خاک به مدت ۹۰ روز در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد به صورت آزمایش خوابانیدن مورد مطالعه قرار گرفتند.

۳-۵- آماده سازی نمونه ها برای آزمایش خوابانیدن

نمونه های خاک با میزان رس متفاوت در آزمایش تعیین بافت خاک مشخص گردید، برای تعیین نمونه های خاک با میزان شوری متفاوت از نمونه خاک با کلاس بافتی لوم با شوری برابر ۰/۴۷ ds/m استفاده شد که برای رساندن میزان شوری خاک به محدوده مورد نظر از دو نمک NaCl و $CaCl_2.2H_2O$ به نسبت اکی والان یکسان استفاده گردید.

۳-۵-۱- تهیه نمونه خاک با شوری کم ($EC_e = 3$ ds/m)

برای تهیه نمونه با شوری کم ، با توجه به میزان شوری خاک (پس از مرحله شستشو)که برابر ۰/۴۷ ds/m بود، میزان افزایش هر یک از نمک های فوق با استفاده از فرمول (۳-۱) مشخص گردید.

$$C = ECe \times 10 \qquad ۳-۱$$

C = غلظت کاتیون ها بر حسب میلی اکی والان بر لیتر

EC_e = هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک

جرم مولی نمک NaCl برابر ۵۸/۴۴ گرم می باشد، بنابراین برای تهیه ۱۲/۶۵ میلی اکی والان بر لیتر آن باید۷۳۹/۳ میلی گرم از آن را در یک لیتر آب مقطر حل کرد و از طرفی چون رطوبت اشباع خاک

برابر ۳۳/۹درصد بود به یک کیلوگرم خاک ۰/۲۵۱ گرم از نمک NaCl اضافه گردید. همین محاسبات برای نمک $CaCl_2.2H_2O$ با جرم مولی ۱۴۷ گرم نیز صورت گرفت که در نهایت ۰/۳۱۵ گرم از آن به یک کیلوگرم خاک اضافه گردید.

۳–۵–۲– تهیه نمونه خاک با شوری متوسط ($EC_e = ۶ ds/m$) **:**

برای تهیه نمونه با شوری متوسط نیز به همین ترتیب ابتدا با توجه به میزان شوری خاک و بر اساس فرمول (۳-۱) میلی اکی والان مورد نیاز برای هر یک از نمک های NaCl و $CaCl_2.2H_2O$ برابر ۲۷/۶۵ مشخص گردید.

با توجه به جرم مولی هر نمک و درصد اشباع خاک به یک کیلوگرم خاک از نمک های NaCl و $CaCl_2.2H_2O$ به ترتیب مقدار ۰/۵۴۷ و ۰/۶۸۹گرم اضافه گردید.

۳–۵–۳– تهیه نمونه خاک با شوری زیاد ($EC_e = ۱۰ ds/m$)

برای تهیه نمونه با شوری زیاد نیز بر اساس شوری اولیه و درصد اشباع خاک، جرم مولی هر نمک و با استفاده از فرمول (۳-۱) میزان افزایش هر یک از نمک های NaCl و $CaCl_2.2H_2O$ به ترتیب برابر ۰/۹۴۴ و ۱/۱۸۷ گرم مشخص گردید.

۳–۶– تیمار کردن نمونه های خاک

۳–۶–۱– تیمار نمونه خاک های با میزان رس متفاوت توسط گوگرد و باکتری تیوباسیلوس

۳–۶–۱–۱– نمونه خاک با میزان رس کم (Clay =**۱۰** %)

از آن جا که عمق برداشت نمونه خاک ۰ تا ۲۰ سانتی متر و جرم مخصوص ظاهری آن برابر ۱/۴ گرم بر سانتی متر مکعب بود. وزن یک هکتار خاک برابر ۲/۸×۱۰۶ کیلوگرم بدست آمد.

با توجه بهاینکه میزان گوگرد مصرفی در هکتار برابر ۴۰۰ کیلوگرم در نظر گرفته شد، گوگرد مصرفی برای ۵ کیلوگرم خاک برابر ۰/۷۱۴ گرم محاسبه گردید و به خاک اضافه گردید.

میزان توصیه باکتری تیوباسیلوس برای هر ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد ۲ کیلوگرم باکتری است، بنابراین با توجه به میزان گوگرد مصرفی برای ۵ کیلوگرم خاک، میزان باکتری اضافه شده برای هر نمونه ۵

کیلوگرم خاک حاوی این تیمار برابر ۱۴/۲۸ میلی گرم بدست آمد و چون نصف نمونه خاک می‌بایست با باکتری تیمار گردد مقدار ۷/۱۴ میلی گرم گوگرد به ۲/۵ کیلوگرم خاک اضافه گردید.

۳-۶-۱-۲- نمونه خاک با میزان رس متوسط (% **۱۸** = Clay)

عمق برداشت نمونه ۰ تا ۲۰ سانتی متر و جرم مخصوص ظاهری خاک برابر ۱/۳ گرم بر سانتی متر مکعب بود، لذا وزن یک هکتارخاک در خاک در عمق مورد مطالعه برابر ۲/۶×۱۰۶ کیلو گرم محاسبه گردید که میزان افزایش گوگرد برای ۵ کیلوگرم خاک حاوی این تیمار برابر ۰/۷۶۹ گرم بدست آمد و به خاک اضافه گردید.

میزان افزایش باکتری تیوباسیلوس برای ۲/۵ کیلو گرم خاک برابر ۷/۶۹ میلی گرم در نظر گرفته شد.

۳-۶-۱-۳- نمونه خاک با میزان رس زیاد (% **۳۳** = Clay)

عمق برداشت نمونه ۰ تا ۲۰ سانتی متر و جرم مخصوص ظاهری خاک برابر ۱/۱ گرم بر سانتی متر مکعب بود، لذا وزن یک هکتار خاک برابر۲/۲×۱۰۶ کیلوگرم محاسبه گردید.

پس از انجام محاسبات لازم میزان افزایش گوگرد برای ۵ کیلوگرم خاک برابر۰/۹۱ و میزان باکتری تیوباسیلوس مورد نیاز برای ۲/۵ کیلوگرم خاک نیز برابر ۹/۱ میلی گرم در نظر گرفته شد.

پس از افزایش مقادیر گوگرد و باکتری به نمونه های خاک با رس متفاوت از هر کدام از نمونه های تیمار شده (تیمار با گوگرد و باکتری و تیمار با گوگردبدون باکتری) به میزان ۴۰ گرم در سه تکرار وزن و وارد ظرف های آزمایش شدند.

۳-۶-۲- تیمار نمونه های خاک با میزان شوری متفاوت توسط گوگرد و باکتری تیو باسیلوس

۳-۶-۲-۱- تهیه نمونه های تیمار شده با گوگرد و تیو باسیلوس

عمق برداشت نمونه ۰ تا ۲۰ سانتی متر و جرم مخصوص ظاهری خاک برابر ۱/۳ گرم بر سانتی متر مکعب لذا وزن یک هکتار خاک تا عمق مورد نظر محاسبه که برابر۲/۶×۱۰۶ کیلو گرم شد و با توجه به این که میزان گوگرد مصرفی به میزان ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد ، گوگرد مصرفی برای ۵ کیلوگرم خاک برابر ۰/۷۶۹گرم محاسبه گردید که پس از توزین به خاک اضافه گردید

و میزان افزایش باکتری تیوباسیلوس برای ۲/۵کیلوگرم خاک برابر ۱۵/۳۸ میلی گرم وزن و به خاک اضافه گردید.

پس از افزایش مقادیر گوگرد و باکتری به نمونه های خاک با شوری متفاوت هر کدام از نمونه ها در سه تکرار و به میزان ۴۰ گرم وزن و وارد ظرف های آزمایش شدند.

۳-۶-۲-۲- تهیه نمونه های تیمارشده با گوگرد و عدم حضور تیوباسیلوس

با توجه به اینکه نمونه خاک برای سری شوری یکسان بود میزان گوگرد محاسبه شده در مورد نمونه های (۳-۶-۲-۱) اضافه گردید با این تفاوت که در این حالت تیمارها فاقد باکتری تیوباسیلوس بودند . پس از افزایش مقادیر گوگرد به نمونه های خاک با شوری متفاوت هر کدام از نمونه ها در سه تکرار و به میزان ۴۰ گرم وزن و وارد ظرف های آزمایش شدند.

۳-۶-۲-۳- تهیه نمونه های شاهد (فاقد گوگرد و باکتری تیوباسیلوس)

در این حالت نمونه های خاک بدون افزایش گوگرد و باکتری تیوباسیلوس در سه تکرار به میزان ۴۰ گرم وزن و وارد ظرف های آزمایش شدند.

۳-۷- آزمایش خوابانیدن :

۴۰ گرم از نمونه خاک های شسته شده و تیمار شده را در داخل تیوپ های شیشه ای به ابعاد (ارتفاع ۱۵ و عرض ۵ سانتی متر) ریخته و رطوبت آنها را توسط آب مقطر به حد ظرفیت زراعی (FC) رسانده و درب تیوپ ها را با ورق آلومینیوم پوشانده و سه الی چهار عدد سوراخ ریز در روی ورق جهت انجام عمل تهویه خاک ایجاد گردید. در نهایت نمونه های خاک تهیه شده در غالب طرح بلوک کاملاً تصادفی در داخل دستگاه انکوباتور در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد به مدت ۹۰ روز خوابانیده شدند و میزان سولفات قابل جذب به روش توربیدی متری، هدایت الکتریکی آنها در عصاره ۱ به ۵ و پ‌هاش در محلول سوسپانسیون ۱ به ۵ در شش زمان ۳ ، ۱۰، ۲۵، ۴۰، ۶۲ و ۹۰ روز اندازه گیری گردید (۱).

۳–۸– اندازه گیری سولفات قابل جذب ، pH و EC

۳–۸–۱– اندازه گیری سولفات قابل جذب به روش توربیدی متری

لوازم مورد نیاز:

شیکر دورانی، اسپکتروفتومتر، ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم، بالون ژوژه یک لیتری ، ۵۰ و ۱۰۰ میلی لیتری، کاغذ صافی و پی پت ۲۵ میلی لیتری.

مواد موردنیاز:

- محلول عصاره گیری منوکلسیم فسفات (۵۰۰ mg/l) : مقدار ۲/۰۳۳ گرم از نمک منوکلسیم فسفات با دقت وزن و در بالون ژوژه یک لیتری در مقداری آب مقطر حل و به حجم رسانده شد.

- کربن اکتیو: کربن اکتیو با محلول عصاره گیری شستشو داده شد تا عاری از سولفات گردد و پس از خشک کردن در دمای ۴۰۰ درجه سانتی گراد در ظرف در بسته نگهداری گردید.

- محلول استاندارد ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر گوگرد : مقدار ۰/۵۴۳۷ گرم سولفات پتاسیم (K_2SO_4) خالص را توزین و در بالون ژوژه یک لیتری با مقداری آب مقطر حل و به حجم رسید (این محلول بایددر یخچال نگهداری شود).

- سری استانداردها: به ترتیب ۰، ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی لیتر از استاندارد ۱۰۰ میلی گرم در لیتر گوگرد را در بالون های ۱۰۰ میلی لیتری پی‌پت کرده و ۰/۲۵ کربن اکتیو به آن اضافه گردید و با کمی منوکلسیم فسفلت به مدت سه دقیقه شیکر گردید، سپس با همان عصاره گیر آنها را به حجم رسید و صاف شد، به این ترتیب استانداردهای ۰، ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی گرم بر لیتر گوگرد به دست آمد.

- محلول اسید Seed (اسید کلریدریک ۶ مولار حاوی ۲۰ میلی گرم در لیتر گوگرد به صورت سولفات پتاسیم): این محلول از مخلوط ۵۰ میلی لیتر استاندارد ۴۰ میلی گرم در لیتر گوگرد با ۵۰ میلی لیتر اسید کلریدریک غلیظ تهیه گردید.

روش کار:

۱- ده گرم خاک هواخشک و عبور داده شده از الک دو میلی متری را وزن و در ارلن ۵۰ سی سی ریخته، سپس ۲۵ میلی لیتر محلول عصاره گیری به آن اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه (۲۰۰ دور در دقیقه) شیکرگردید. ۰/۲۵ گرم کربن اکتیو به هر نمونه اضافه و پس از ۳ دقیقه شیکر با کاغذ صافی صاف گردید.

۲- ده میلی لیتر از عصاره های صاف شده و استانداردها به ارلن مایر ۵۰ سی سی پی پت شد و یک میلی لیتر محلول اسید Seed به آنها اضافه گردید.

۳- نمونه ها را هم زده و ۰/۵ گرم کریستال کلرید باریم به به هر یک از آنها اضافه گردید.

۴- بعد از اضافه کردن کلرید باریم، نمونه ها را به مدت یک دقیقه به حال خود رها و سپس محلول هم زده شد تا کریستال ها کاملاً حل گردد.

۵- در فاصله زمانی ۳ تا ۸ دقیقه، عبور نور با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۲۰ نانومتر قرائت گردید.

۶- منحنی عبور نور در مقابل غلظت ها رسم و غلظت گوگرد از رابطه ۳-۵ به دست آمد.(۱).

$$SO_4\text{-}S\ mg/kg\ soil = A \times ۲.۵ \qquad (۵-۳)$$

A = غلظت گوگرد قرائت شده بر حسب میلی گرم بر لیتر

۳-۸-۲- اندازه گیری پ هاش خاک (pH)

اندازه گیری پ هاش خاک به روش ته‌یه سوسپانسیون نسبتی (۱به ۵ خاک و آب مقطر) می باشد، ۵ گرم از هر نمونه خاک وزن و با توجه به نسبت سوسپانسیون خاک و آب مقطر ۲۵ میلی لیتر آب مقطر به آن اضافه گردید، سپس به مدت ۳۰ دقیقه توسط شیکر (۲۰۰ دور در دقیقه) به هم زده شد و پس از گذشت ۲ ساعت و ته نشینی خاک، پ هاش خاک در محلول صاف روئی سوسپانسیون توسط دستگاه pH متر قرائت گردید.

۳–۸–۳– روش اندازه گیری هدایت الکتریکی خاک (EC)

محلول سوسپانسیون نسبتی تهیه شده از نمونه‌های خاک توسط کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف گردید و هدایت الکتریکی عصاره زلال بدست آمده توسط دستگاه هدایت سنج اندازه گیری گردید.

۳–۹– محاسبه سرعت اکسایش گوگرد عنصری (S۰)

معادله ای برای محاسبه سرعت اکسیداسیون گوگرد عنصری توسط جانزن و بتانی مطرح گردید که به طور گسترده برای اکسایش گوگرد استفاده شد (۴۳). در این پژوهش از معادله ارائه شده (۳-۶) برای محاسبه سرعت اکسیداسیون ذرات گوگرد پودر (۲۰۰ مش) استفاده شده است.

$$K = \left(1 - \left(1 - m/m_0\right)^{1/3}\right) Z D_. / 2t \qquad (۶-۳)$$

در این فرمول:

K = سرعت اکسایش بر حسب ($\mu g\ s\ cm^{-2}\ day^{-1}$)

m = جرم گوگرد اکسید شده خالص بر حسب µg

$m_.$ = جرم گوگرد عنصری در آغاز هر دوره انکوباسیون بر حسب µg

t = طول هر دوره انکوباسیون بر حسب روز

Z= وزن مخصوص ذرات گوگرد که برابر $\mu g\ cm^{-3}$ 2.07×10^6

$D_.$ = قطر ذرات گوگرد بر حسب سانتی متردر آغاز هر دوره (برای ذرات گوگرد پودر ۲۰۰ مش برابر ۰/۰۰۷۵ سانتی متر می باشد).

۳–۱۰– آنالیز آماری

نتایج بدست آمده از آزمایش خوابانیدن توسط نرم افزار MSTAT-C مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت . مقایسه میانگین ها بوسیله آزمون دانکن انجام شد و برای ترسیم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

فصل چهارم

نتایج و بحث

۴-۱- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر خصوصیات شیمیایی خاک

۴-۱-۱- اثر مقادیر مختلف رس بر میزان سولفات استخراج شده از خاک در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس

نتایج به دست آمده در جدول (۴-۱)، تاثیر مقادیر مختلف رس را در میزان سولفات استخراج شده از نمونه های خاک طی دوره خوابانیدن (۹۰ روز) در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس نشان می دهد، به طوری که در حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس ، میزان سولفات نمونه خاک نسبت به میزان سولفات اندازه گیری شده در روز سوم در رس کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۳/۲ ، ۳/۸ و ۳/۹ برابر افزایش و در شرایط عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس به ترتیب ۲/۵ ، ۳/۲ و ۳/۵ برابر افزایش یافت.

اکسیداسیون گوگرد در خاک ها با افزایش میزان رس بیشتر شد ، این تفاوت در اکسیداسیون گوگرد در خاک های با بافت متفاوت در نتیجه کاهش فعالیت میکروبی است زیرا با افزایش میزان رس خاک فعالیت میکروبی افزایش می یابد(۸۷). اکسیداسیون گوگرد به صورت خطی با بیوماس میکروبی خاک افزایش می یابد و بیشترین تأثیر را باکتری های جنس تیوباسیلوس تیواکسیدانس و تیوباسیلوس فرواکسیدانس دارند(۵۵ و۳۴). میزان اکسیداسیون در خاک لوم شنی نسبت به لوم رسی افزایش نشان داد که می تواند به دلیل تهویه و زهکشی مناسب در خاک شنی باشد (۲۳). نسبت اکسیداسیون گوگرد در شرایط هوازی (تهویه مناسب) نسبت به شرایط غرقاب بیشتر است زیرا انتشار اکسیژن در محیط آبی بسیار کند است(۸۹).

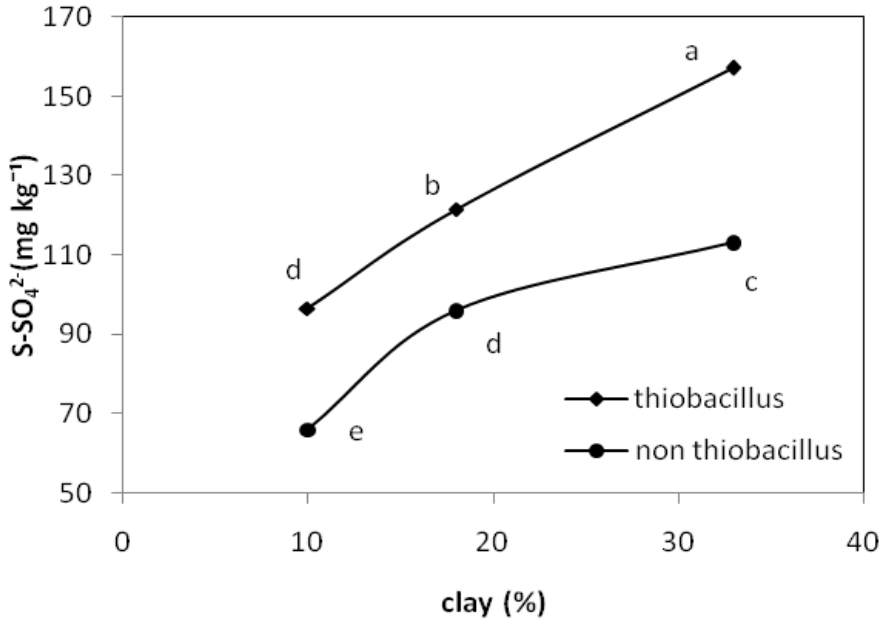
جدول ۴- ۱: اثر متقابل رس و مایه تلقیح تیوباسیلوس بر غلظت سولفات استخراج شده ($mg\ kg^{-1}$) در زمان‌های مختلف خوابانیدن

تیوباسیلوس	میزان رس (٪)	زمان خواباندن (روز)						میانگین
		۳	۱۰	۲۵	۴۰	۶۲	۹۰	
+	۱۰	۴۵/۴	۵۹/۸	۹۰/۳	۱۱۵/۳	۱۴۳/۲	۱۴۳/۶	۹۸/۱ d
+	۱۸	۴۶/۵	۷۱/۵	۱۱۸/۳	۱۴۸/۵	۱۶۶/۲	۱۷۸/۳	۱۲۱/۵ b
+	۳۳	۵۷/۳	۵۸/۶	۱۶۱/۸	۱۹۸/۷	۲۱۴/۲	۲۲۵/۱	۱۵۷/۱ a
میانگین		۴۹/۷ j	۷۲/۳ h	۱۲۳/۴ e	۱۵۴/۱ c	۱۷۱/۵ b	۱۸۲/۳ a	
_	۱۰	۳۷	۴۵/۸	۶۴/۷	۷۶/۸	۸۷/۵	۹۴/۲	۶۷/۶ e
_	۱۸	۴۱/۶	۶۳/۳	۹۷	۱۱۴/۵	۱۲۵/۱	۱۳۴/۲	۹۶ d
_	۳۳	۴۶/۵	۶۴/۵	۱۱۶/۴	۱۳۷/۳	۱۵۱/۲	۱۶۲/۵	۱۱۳/۱ c
میانگین		۴۱/۷ k	۵۷/۶ i	۹۲/۷ g	۱۰۹/۵ f	۱۲۱/۳ e	۱۳۰/۳ d	
LSD (P<۰.۰۵)		۲۹						

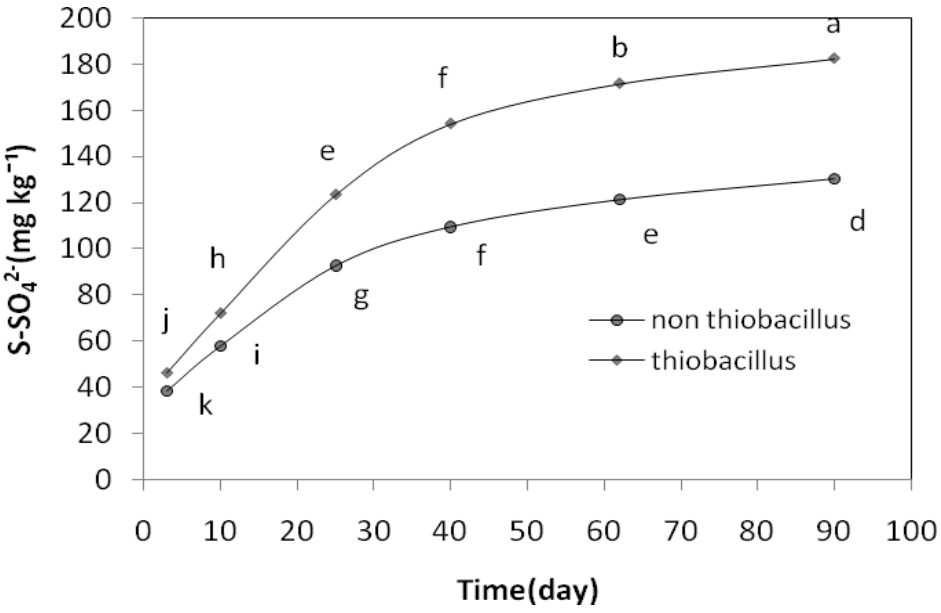
نمودارهای ۴-۱ و ۴-۲ نشان می دهد که اکسیداسیون گوگرد با افزایش مقادیر رس خاک و زمان خوابانیدن، افزایش می یابد. نتایج جدول ۴-۲ نشان می دهد که این افزایش اکسیداسیون در شرایط حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس نسبت به عدم حضور آن معنی دار است.

جدول ۴-۲: تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل تیمارهای A (زمان) ، B (رس) و C (تیوباسیلوس) در میزان سولفات استخراج شده

میانگین مربعات سولفات	منابع
۳۷۸۹۲/۸**	زمان
۲۶۱۳۷/۶**	رس
۹۸۳/۷**	رس× زمان
۳۰۰۱۷/۶**	تیوباسیلوس
۱۵۹۲/۵**	تیوباسیلوس× زمان
۸۲۴/۶**	تیوباسیلوس × رس
۳۰/۶	تیوباسیلوس× رس× زمان
۴/۱۸ درصد	ضریب تغییرات



نمودار ۴-۱- تأثیر مقادیر رس خاک در غلظت سولفات تجمعی ($mg\ kg^{-1}$) استخراج شده در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس



نمودار۴-۲- اثر گذشت زمان خوابانیدن درغلظت سولفات تجمعی ($mg\ kg^{-1}$) استخراج شده در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس

۴-۱-۲- اثر مقادیر مختلف رس بر میزان پ هاش خاک در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس

نتایج به دست آمده در جدول (۴-۳)، تأثیر مقادیر مختلف رس را در میزان پ هاش نمونه های خاک طی دوره خوابانیدن (۹۰ روز) در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس نشان می دهد، به طوری که در حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس پ هاش خاک نسبت به میزان سولفات اندازه گیری شده در روز سوم در رس کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۹/۲ ، ۱۰/۳ و ۱۱ درصد و در شرایط عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس به ترتیب ۵/۳ ، ۷/۳ و ۸/۹ درصد کاهش یافت.

در طی دوره خوابانیدن به مدت ۱۴روز اکسیداسیون گوگرد پ هاش خاک را در دمای ۲۰ و ۳۰ درجه سانتی گراد به ترتیب تا ۳/۶ و ۴ واحد کاهش داد (۴۲). اکسیداسیون گوگرد و تبدیل آن به سولفات و در نهایت تولید اسید سولفوریک باعث کاهش پ هاش خاک می گردد (۴۴). خاصیت بافری قوی خاک ها (به خصوص خاک های رسی) باعث تغییرات کمترپ هاش خاک و افزایش تدریجی آن پس از کاهش اولیه می گردد (۱۹). دلیل دیگر برای برگشت پ هاش پس از کاهش اولیه را می توان در تبدیل بخشی ازگوگرد عنصری به شکل آلی در خاک دانست (۸۶).

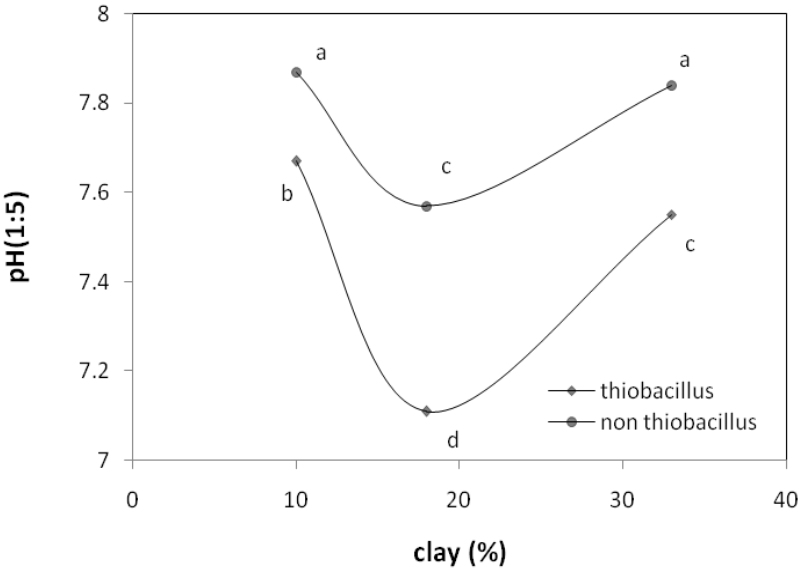
جدول۴- ۳: اثر متقابل رس و مایه تلقیح تیوباسیلوس بر میزان پ هاش خاک در زمان های متفاوت خوابانیدن

تیوباسیلوس	میزان رس (٪)	زمان خواباندن (روز)						میانگین
		۳	۱۰	۲۵	۴۰	۶۲	۹۰	
+	۱۰	۸/۱	۷/۹	۷/۶	۷/۵	۷/۴	۷/۳	۷/۶ b
+	۱۸	۷/۹	۷/۷	۷/۳	۷/۲	۷/۱	۷/۱	۷/۴ d
+	۳۳	۸/۱	۷.۹	۷/۶	۷/۳	۷/۲	۷/۲	۷/۵ c
میانگین		۸/۱ a	۷/۸ c	۷/۵ e	۷/۳ f	۷/۲ g	۷/۲ g	
_	۱۰	۸/۱	۷/۹	۷/۸	۷/۸	۷/۷	۷/۶	۷/۸ a
_	۱۸	۷/۹	۷/۸	۷/۶	۷/۴	۷/۴	۷/۳	۷/۵ c
_	۳۳	۸/۲	۸/۱	۷/۹	۷/۷	۷/۶	۷/۵	۷/۸ a
میانگین		۸/۱ a	۷/۹ b	۷/۷ c	۷/۶ d	۷/۵ e	۷/۵ e	
LSD (P<۰.۰۵)		۰/۱۲						

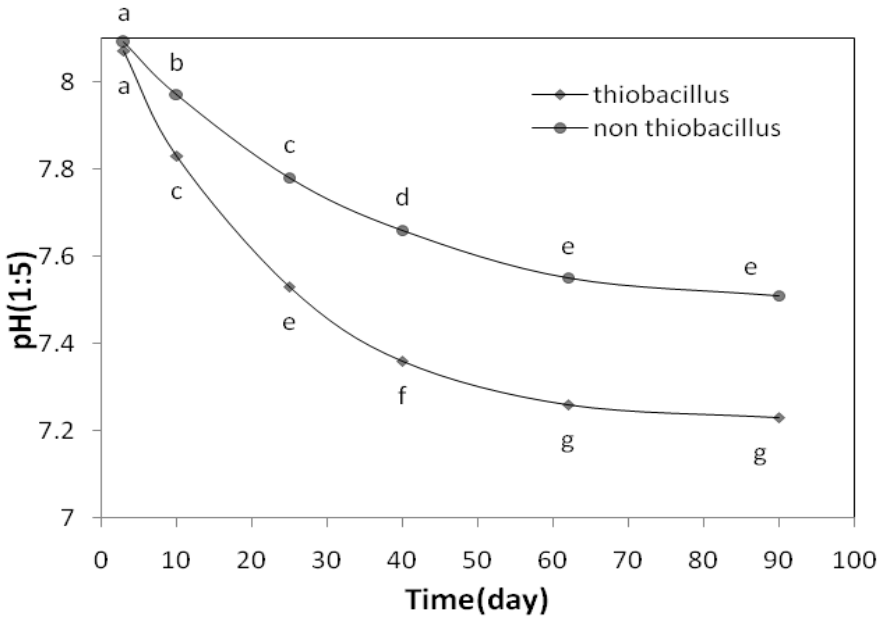
نمودار ۴-۳ نشان می دهد که بیشترین کاهش پ هاش در نتیجه اکسیداسیون گوگرد در خاک با رس متوسط صورت گرفته است. زیرا بدلیل فعالیت میکروبی کمتر در خاک با رس کم (۸۷) و بالا بودن خاصیت بافری در خاک با رس زیاد (۱۹)کاهش پ هاش قابل توجه نیست . نمودار ۴-۴ نشان می ده د که پ هاش خاک با افزایش زمان خوابانیدن کاهش می یابد و همانطور که در نتایج جدول ۴-۴ مشخص است تغییرات پ هاش خاک در شرایط حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس نسبت به عدم حضور آن معنی دار است.

جدول ۴-۴: تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل تیمارهای A (زمان)، B (رس) و C (تیوباسیلوس) در تغییرات پ هاش خاک

منابع	میانگین مربعات پ هاش
زمان	۱/۴**
رس	۰/۷۳**
رس× زمان	۰/۰۲۷**
تیوباسیلوس	۱/۲۲۲**
تیوباسیلوس × زمان	۰/۰۵۵**
تیوباسیلوس × رس	۰/۰۴**
تیوباسیلوس × رس× زمان	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات	۱/۰۰ درصد



نمودار ۴-۳- تأثیر مقادیر رس خاک در میزان پ هاش خاک در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس



نمودار۴-۴- اثر گذشت زمان خوابانیدن در میزان پ هاش خاک در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس

۴-۱-۳- اثر مقادیر مختلف رس بر میزان هدایت الکتریکی خاک در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس

نتایج به دست آمده در جدول (۴-۵)، تاثیر مقادیر مختلف رس را در میزان هدایت الکتریکی نمونه های خاک طی دوره خوابانیدن (۹۰ روز) در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس نشان می دهد، به طوری که در حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس هدایت الکتریکی خاک نسبت به میزان سولفات اندازه گیری شده در روز سوم در رس کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۲/۷۳ ، ۴/۵۲ و ۴/۸۴ برابر و در شرایط عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس به ترتیب ۱/۹۴ ، ۲/۸۳ و ۳/۱۵ برابر افزایش یافت . علت افزایش هدایت الکتریکی خاک به دلیل کاهش پ هاش خاک در اثر اکسیداسیون گوگرد و تولید اسید سولفوریک و نهایتاً انحلال برخی رسوبات مثل آهک در خاک می باشد (۱۲). محصولات اکسیداسیون گوگرد دو یون H^+ و SO_4^{2-} است که ظرفیت نمک خاک را افزایش می دهند همچنین با آزادسازی یون های H^+ و SO_4^{2-} بعد از اکسیداسیون گوگرد، عناصر غذایی دیگر از قبیل فسفر و روی حل می شوند و میزان هدایت الکتریکی افزایش می یابد (۸۶ و ۴۲).

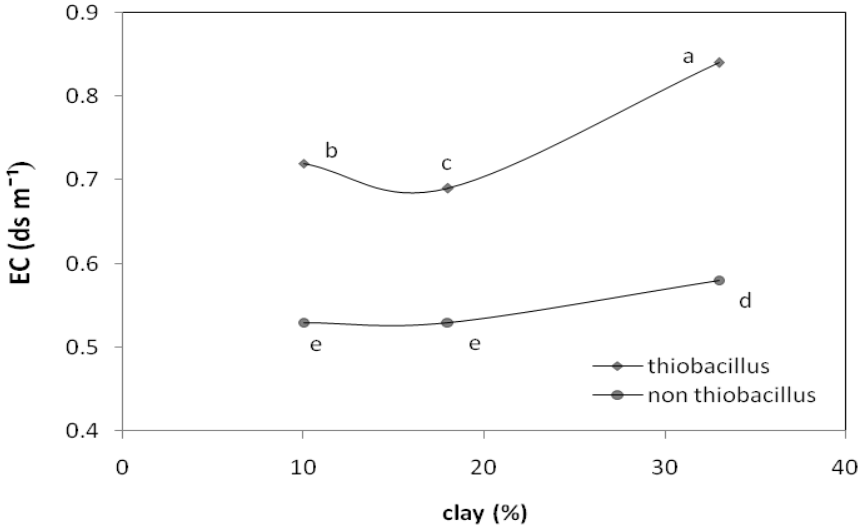
جدول ۴-۵ : اثر متقابل رس و مایه تلقیح تیوباسیلوس بر میزان هدایت الکتریکی خاک در زمان ه‌ای متفاوت خوابانیدن

تیوباسیلوس	میزان رس (٪)	زمان خواباندن (روز)						میانگین
		۳	۱۰	۲۵	۴۰	۶۲	۹۰	
+	۱۰	۰/۳۴	۰/۵۸	۰/۷۹	۰/۸۴	۰/۸۸	۰/۹۳	۰/۷۲ b
+	۱۸	۰/۲۱	۰/۴۷	۰/۷۴	۰/۸۷	۰/۹۲	۰/۹۵	۰/۶۹ c
+	۳۳	۰/۲۵	۰/۵۴	۰/۸۴	۱/۰۸	۱/۱۶	۱/۲۱	۰/۸۴ a
میانگین		۰/۲۶ i	۰/۵۳ g	۰/۷۹ d	۰/۹۳ c	۰/۹۸ b	1/03 a	
_	۱۰	۰/۳۳	۰/۴۳	۰/۵۸	۰/۶۱	۰/۶۲	۰/۶۴	۰/۵۳ e
_	۱۸	۰/۲۴	۰/۳۹	۰/۵۵	۰/۶۵	۰/۶۷	۰/۶۸	۰/۵۳ e
_	۳۳	۰/۲۶	۰/۴۲	۰/۵۸	۰/۶۸	۰/۷۶	۰/۸۲	۰/۵۸ d
میانگین		۰/۲۷ i	۰/۴۱ h	۰/۵۷ g	۰/۶۴ f	۰/۶۸ ef	۰/۷۱ e	
LSD (P<۰.۰۵)		۰/۰۷						

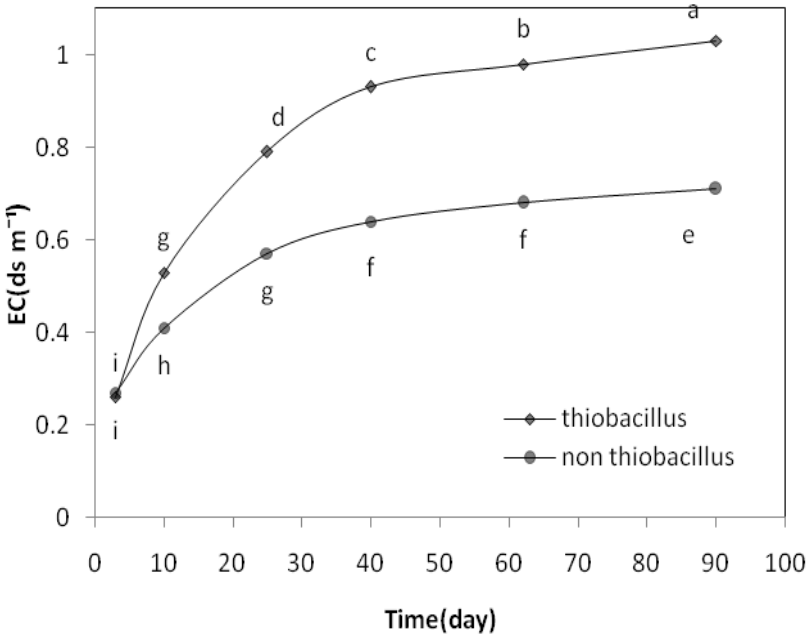
نمودارهای ۴-۵ و ۴-۶ نشان می دهد که هدایت الکتریکی خاک در اثر اکسیداسیون گوگرد با افزایش خاک و همچنین زمان خوابانیدن افزایش می یابد. به طوری‌که با توجه به نتایج جدول ۴-۶ این تغییرات در شرایط حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس نسبت به عدم حضور آن معنی دار است.

جدول ۴-۶ : تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل تیمارهای A (زمان) ، B (رس) و C (تیوباسیلوس) در تغییرات هدایت الکتریکی خاک

منابع	میانگین مربعات EC
زمان	۱/۰۰۲**
رس	۰/۱۱۳**
رس× زمان	۰/۰۲۶**
تیوباسیلوس	۱/۱۳۵**
تیوباسیلوس × زمان	۰/۰۷۴**
تیوباسیلوس × رس	۰/۰۲۲**
تیوباسیلوس × رس× زمان	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات	۶/۴۹ درصد



نمودار ۴-۵- تأثیر مقادیر رس خاک بر روی میزان هدایت الکتریکی خاک در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس



نمودار۴-۶- اثر گذشت زمان خوابانیدن روی میزان هدایت الکتریکی خاک در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس

۴-۲-۴- اثر مقادیر مختلف شوری بر میزان سولفات استخراج شده از خاک در حضور و عدم حضور تیوباسیلوس

نتایج به دست آمده در جدول (۴-۷)، تاثیر مقادیر مختلف شوری را در میزان سولفات استخراج شده از نمونه های خاک طی دوره خوابانیدن (۹۰ روز) در حضور و عدم حضور مایه تلقی ح تیوباسیلوس نشان می دهد، به طوری که در حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس ، میزان سولفات نمونه خاک نسبت به میزان سولفات اندازه گیری شده در روز سوم در شوری کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۳/۶۴ ، ۲/۹۴ و ۲/۷۴ برابر افزایش یافت. اما در شرایط عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس به ترتیب ۳/۲۸ ، ۲/۴۲ و ۲/۰۷ برابر افزایش یافت. اکسیداسیون گوگرد با افزایش میزان آهک و املاح خاک کاهش می یابد (۸۰). کاهش تخلخل خاک توسط غلظت زیاد املاح (به خصوص یون سدیم) ایجاد می گردد، در نتیجه نفوذپذیری خاک کاهش یافته و در نهایت اکسیداسیون گوگرد کاهش می یابد (۶۹). اکسیداسیون گوگرد عنصری با گذشت زمان افزایش می یابد (۴۳)

جدول ۴- ۷: اثر متقابل شوری و مایه تلقیح تیوباسیلوس در غلظت سولفات استخراج شده ($mg\ kg^{-1}$) در زمان های مختلف خوابانیدن

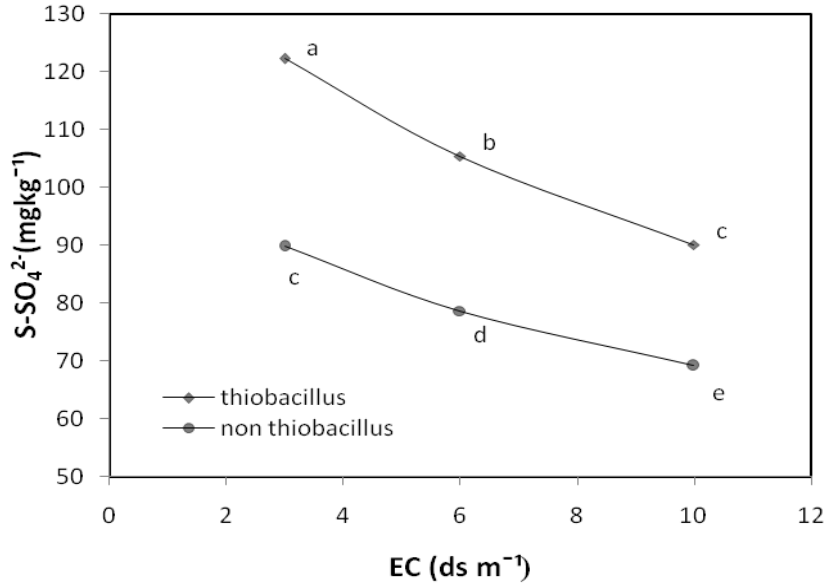
تیوباسیلوس	میزان شوری (ds/m)	زمان خواباندن (روز)						میانگین
		۳	۱۰	۲۵	۴۰	۶۲	۹۰	
+	۳	۴۷/۲	۷۱/۶	۱۳۰/۲	۱۴۸/۱	۱۶۴/۲	۱۷۲/۲	۱۲۲/۲ a
+	۶	۴۸	۸۷/۳	۱۲۰/۳	۱۲۰/۳	۱۳۳/۱	۱۴۱/۲	۱۰۵/۳ b
+	۱۰	۴۲/۱	۹۱/۶	۸۵/۳	۹۸/۴	۱۰۷/۵	۱۱۵/۱	۹۰/۰ c
میانگین		۴۵/۸ j	۸۳/۵ g	۱۰۵/۹ de	۱۲۲/۲ c	۱۳۴/۹ b	۱۴۲/۸ a	
_	۳	۳۹	۶۰/۱	۸۷/۵	۱۰۵/۲	۱۱۸/۲	۱۲۸/۳	۸۹/۷ c
_	۶	۳۴/۳	۶۵/۸	۷۰/۱	۹۲/۱	۱۰۲/۱	۱۰۷/۵	۷۸/۶ d
_	۱۰	۳۲/۶	۷۱/۵	۶۳/۲	۷۶/۱	۸۳/۱	۸۸/۲	۶۹/۱ e
میانگین		۳۵/۳ k	۶۵/۸ i	۷۳/۶ h	۹۱/۱ f	۱۰۱/۱ e	۱۰۸/۰ d	
LSD=(P<۰.۰۵)		۱۱/۲۷						

نمودارهای ۴-۷ و ۴-۸ نشان می دهد که با افزایش میزان شوری خاک اکسیداسیون گوگرد ی کاهش و همچنین با افزایش زمان خوابانیدن نمونه ها اکسیداسیون گوگرد عنصری افزایش می یابد .

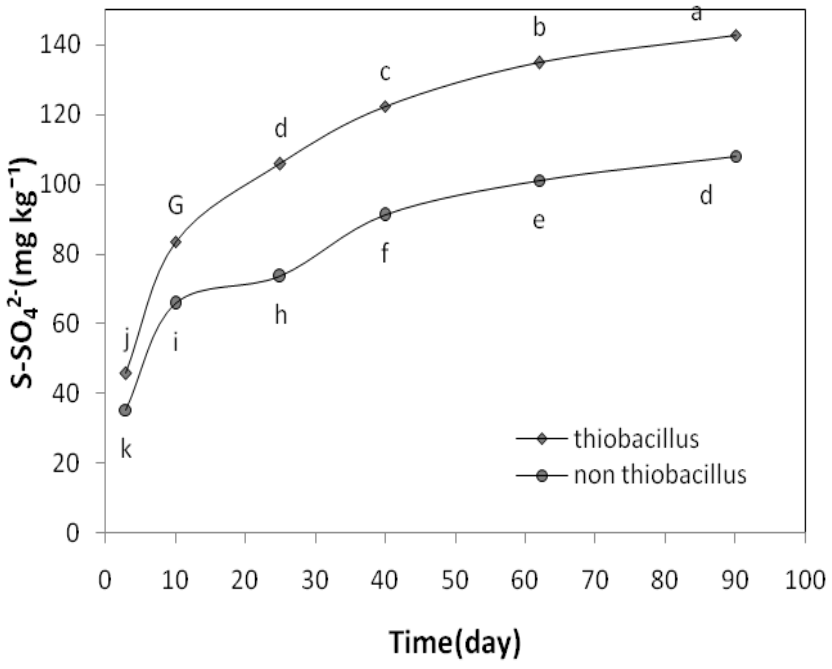
با توجه به نتایج جدول ۴-۸ این تغییرات در شرایط حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس نسبت به عدم حضور آن معنی دار است.

جدول ۴-۸: تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل تیمارهای A (زمان) ، B (شوری) و C (تیوباسیلوس) در میزان سولفات استخراج شده

میانگین مربعات سولفات	منابع
۱۷۸۶۲/۷۳**	زمان
۶۲۸۷/۴۸**	شوری
۱۰۰۷/۲۳**	شوری× زمان
۱۹۲۵۱/۷۶**	تیوباسیلوس
۴۶۰/۰۳**	تیوباسیلوس × زمان
۳۰۵/۶۴**	تیوباسیلوس × شوری
۷۴/۵۴	تیوباسیلوس × شوری× زمان
۷/۴۸ درصد	ضریب تغییرات



نمودار ۴-۷- تأثیر مقادیر شوری خاک در غلظت سولفات تجمعی ($mg\ kg^{-1}$) استخراج شده در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس



نمودار۴-۸- اثر گذشت زمان خوابانیدن درغلظت سولفات تجمعی ($mg\ kg^{-1}$) استخراج شده در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس

۴-۲-۵- اثر مقادیر مختلف شوری بر میزان پ هاش خا ک در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس

نتایج به دست آمده در جدول (۴-۹)، تأثیر مقادیر مختلف شوری را در میزان پ هاش نمونه های خاک طی دوره خوابانیدن (۹۰ روز) در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس نشان می دهد، به طوری که در حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس پ‌هاش خاک نسبت به میزان سولفات اندازه گیری شده در روز سوم، در شوری کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۶/۶ ، ۸/۱ و ۶/۷ درصد و در شرایط عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس به ترتیب ۸/۹ ، ۶/۱ و ۵/۲ درصد کاهش یافت.

اکسیداسیون گوگرد با افزایش میزان آهک و شوری خاک کاهش می یابد بنابراین پ هاش خاک نیز با افزایش شوری خاک کمتر تغییر می کند (۷۹). افزایش املاح به خصوص عنصر سدیم در خاک باعث پراکنش ذرات، کاهش نفوذپذیری و تخریب ساختمان خاک می گردد و در نهایت با کاهش تهویه خاک، اکسیداسیون گوگرد کاهش و پ هاش نیز کاهش کمتری دارد (۸۴).

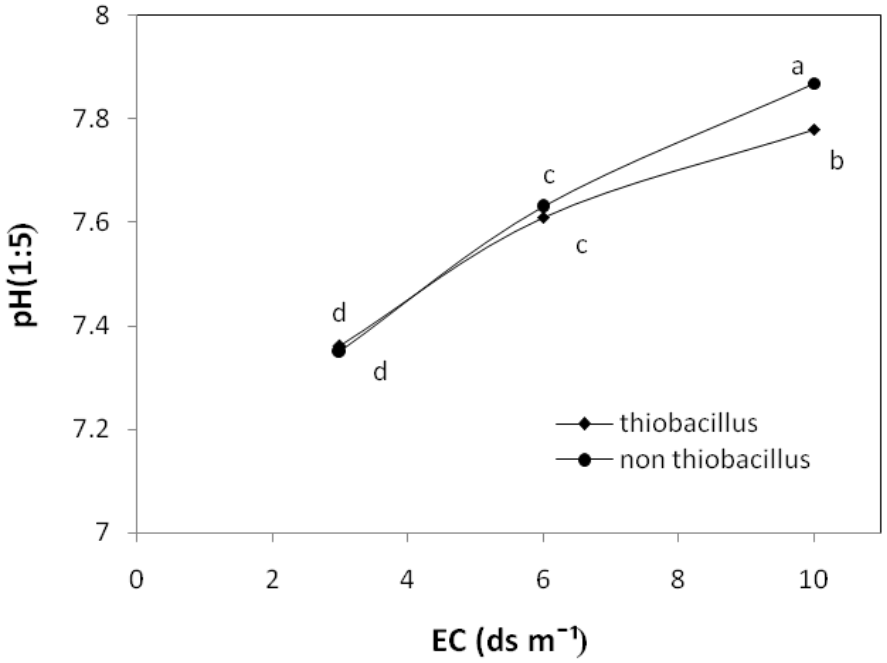
جدول۴-۹- اثر متقابل شوری و مایه تلقیح تیوباسیلوس بر میزان پ هاش خاک در زمان های متفاوت خوابانیدن

تیوباسیلوس	میزان شوری (ds/m)	زمان خواباندن (روز)						میانگین
		۳	۱۰	۲۵	۴۰	۶۲	۹۰	
+	۳	۷/۸	۷/۵	۷/۲	۷/۱	۷/۰	۷/۳	۷/۳ d
+	۶	۷/۹	۷/۸	۷/۶	۷/۴	۷/۳	۷/۳	۷/۶ c
+	۱۰	۸/۱	۷/۹	۷/۷	۷/۶	۷/۶	۷/۶	۷/۷ b
میانگین		۷/۹ a	۷/۷ b	۷/۵ ed	۷/۴ ef	۷/۳ f	۷/۴ ef	
_	۳	۷/۸	۷/۵	۷/۳	۷/۲	۷/۱	۷/۱	۷/۳ d
_	۶	۷/۹	۷/۷	۷/۶	۷/۵	۷/۴	۷/۴	۷/۶ c
_	۱۰	۸/۱	۷/۹	۷/۸	۷/۸	۷/۷	۷/۷	۷/۸ a
میانگین		۷/۹ a	۷/۷ b	۷/۶ c	۷/۵ cde	۷/۴ de	۷/۴ ef	
LSD=(P<۰.۰۵)				۰/۱۸۵				

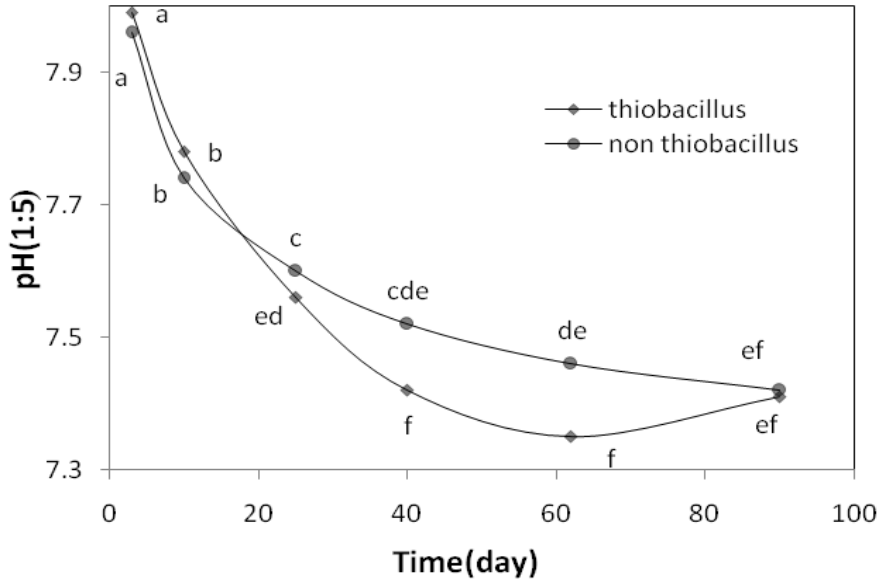
نمودارهای ۴-۹ و ۴-۱۰ نشان می دهد که با افزایش میزان شوری خاک در اثر اکسیداسیون گوگرد پ‌هاش خاک افزایش و با گذشت زمان خوابانیدن کاهش می یابد. نتایج جدول ۴-۱۰ نشان می دهد که این افزایش و کاهش پ هاش خاک در شرایط حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس نسبت به عدم حضور آن معنی دار است.

جدول ۴- ۱۰: تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل تیمارهای A (زمان) ، B (شوری) و C (تیوباسیلوس) در میزان تغییرات پ هاش خاک

مراجع	میانگین مربعات پ هاش
زمان	۰/۹۱۹**
شوری	۱/۹۸۹**
شوری× زمان	۰/۰۲۲
تیوباسیلوس	۰/۰۲۹
تیوباسیلوس × زمان	۰/۰۱۸
تیوباسیلوس × شوری	۰/۰۲
تیوباسیلوس × شوری× زمان	۰/۰۱۴
ضریب تغییرات	۱/۴۸ درصد



نمودار ۴-۹- تأثیر مقادیر شوری خاک در میزان پ هاش خاک در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس



نمودار۴-۱۰- اثر گذشت زمان خوابانیدن در میزان پ هاش خاک در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس

۴-۳- میزان اکسیداسیون گوگرد (K)

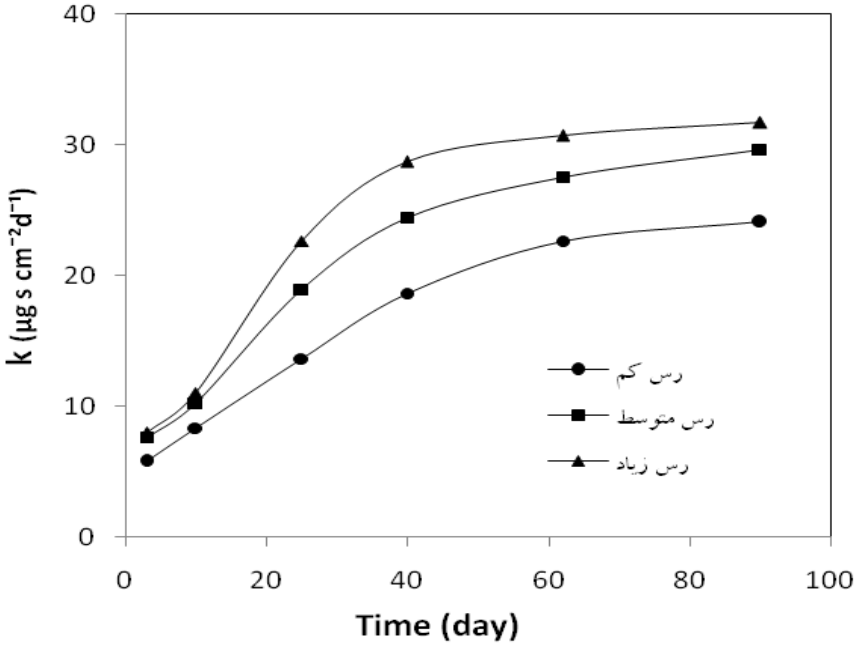
۴-۳-۱- اثر رس

نتایج به دست آمده در جدول(۴-۱۱)، تأثیر مقادیر مختلف رس را در میزان اکسیداسیون گوگرد اضافه شده به نمونه های خاک طی دوره خوابانیدن (۹۰ روز) در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس نشان می دهد، بیشترین میزان اکسیداسیون در روز سوم صورت گرفت، به طوری که در حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس در خاک های با رس کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۵۰/۳ ، ۶۷/۲ و ۷۰/۷ و در شرایط عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس به ترتیب ۳۳/۶ ، ۵۰/۵ و ۵۳ میکروگرم گوگرد بر سانتی متر مربع در روز بدست آمد. با گذشت زمان در تمام نمونه ها میزان اکسیداسیون کاهش می یابد. نتایج نمودار های ۴-۱۳ و ۴-۱۴ نشان می دهد که میزان اکسیداسیون گوگرد در مراحل ا ولیه خوابانیدن قابل توجه بوده و پس از آن کاهش می یابد، به طوری که تا روز بیست و پنجم میزان اکسیداسیون در حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس در نمونه های خاک با رس کم، متوسط و زیاد به ترتیب برابر ۱۸/۶، ۲۴/۴ و ۲۸/۶ و در شرایط عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس به ترتیب ۱۰، ۱۶/۸ و ۱۷/۴ درصد است.

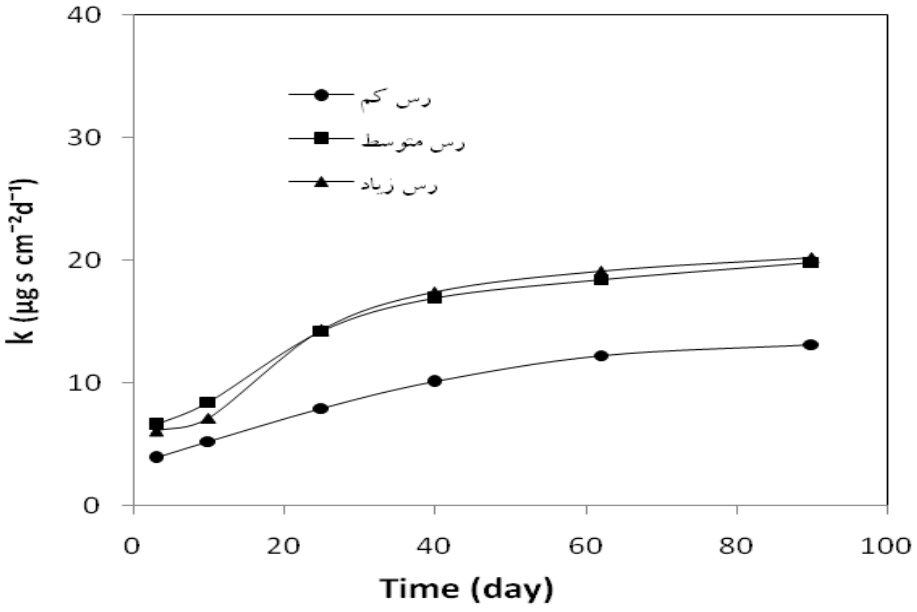
اکسیداسیون گوگرد در خاک همراه با محصول زراعی نسبت به عدم حضور گیاه (به خصوص در شرایط رطوبت کافی) بیشتر است (۴۱). زیرا تعداد کل هتروتروف ها و هتروتروف های اکسید کننده گوگرد در ریزوسفر خاک نسبت به محیط غیر ریزوسفری آن بیشتر است (۳۵). میزان اکسایش گوگرد در روزهای اولیه خوابانیدن بیشتر و با افزایش زمان بتدریج کاهش می یابد. زیرا بیشتر ریزجانداران از سولفات به عنوان منبع گوگرد خود استفاده می کنند و از آن جا که فعالیت میکروبی با افزایش زمان ممکن است کاهش یابد میزان اکسیداسیون کاهش می یابد (۸۶).

جدول ۴-۱۱- میزان اکسیداسیون گوگرد (K) در خاک های با مقادیر متفاوت رس در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس

زمان	Thiobacillus مقادیر رس (٪)			Non Thiobacillus مقادیر رس (٪)		
	۱۰	۱۸	۳۳	۱۰	۱۸	۳۳
۳	۵۰/۳	۶۷/۲	۷۰/۷	۳۳/۶	۵۷/۵	۵۳/۰
۱۰	۹/۹	۱۰/۳	۱۱/۸	۵/۰	۷/۳	۴/۱
۲۵	۱۰/۱	۱۷/۰	۲۳/۳	۴/۹	۱۰/۹	۱۳/۵
۴۰	۱۰/۱	۱۱/۸	۱۳/۷	۴/۰	۵/۴	۶/۳
۶۲	۵/۸	۴/۸	۳/۲	۲/۷	۲/۱	۲/۴
۹۰	۱/۷	۲/۶	۱/۳	۰/۹	۱/۵	۱/۲



نمودار ۴-۱۱- اثر مقادیر مختلف رس بر میزان اکسیداسیون در حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس.



نمودار۴-۱۲- اثر مقادیر مختلف رس بر میزان اکسیداسیون در عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس.

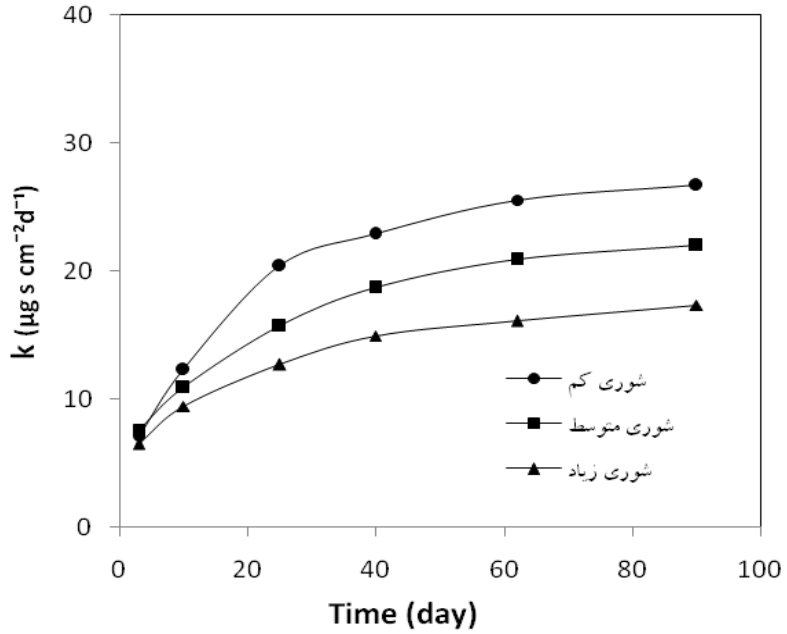
۴-۳-۲- اثر شوری

نتایج به دست آمده درجدول(۴-۱۲)، تأثیر مقادیر مختلف شوری خاک را بر میزان اکسیداسیون گوگرد اضافه شده به نمونه های خاک طی دوره خوابانیدن (۹۰ روز) در حضور وعدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس نشان می دهد، بیشترین میزان اکسیداسیون در روز سوم صورت گرفت، به طوری که در حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس درخاک ها ی با شوری کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۶۲/۷، ۶۶/۷ و ۵۶/۶ و در شرایط عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس به ترتیب ۴۶/۳، ۳۹/۵و ۳۷/۵ میکروگرم گوگرد بر سانتی متر مربع در روز به دست آمد. با گذشت زمان در تمام نمونه ها میزان اکسیداسیون کاهش یافت. نتایج نمودار های ۴-۱۵ و ۴-۱۶ نشان می دهد میزان اکسیداسیون گوگرد در مراحل اولیه خوابانیدن قابل توجه بوده و پس از آن کاهش می یابد، به طوری که تا روز بیست و پنجم میزان اکسیداسیون در حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس در نمونه های خاک با شوری کم، متوسط و زیاد به ترتیب برابر ۲۲/۸، ۱۸/۶و ۱۴/۹ و در شرایط عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس به ترتیب ۱۳/۳، ۱۲/۴ و ۱۰ درصد است.

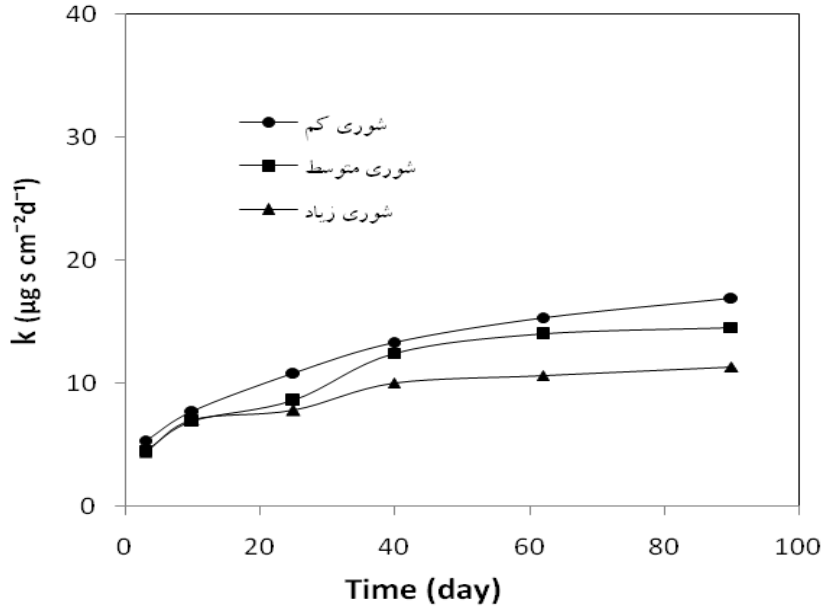
کاهش تخلخل خاک به وسیله غلظت زیاد املاح (به خصوص یون سدیم) ایجاد می گردد، در نتیجه نفوذپذیری خاک کاهش یافته و در نهایت اکسیداسیون گوگرد کاهش می یابد (۶۹). اکسیداسیون گوگرد با کاهش حجم خلل و فرج درشت خاک آهسته تر صورت می گیرد (۸۸). زیرا نسبت انتشار اکسیژن در آب تقریبا نسبت به هوا برابر ا به ۱۰۰۰۰ است (۴۳). میزان اکسیداسیون گوگرد با افزایش زمان خوابانیدن کاهش یافت زیرا با افزایش زمان هدایت الکتریکی خاک افزایش یافته و فعالیت میکروبی خاک کاهش می یابد (۸۰).

جدول ۴-۱۲- میزان اکسیداسیون گوگرد (K) در خاک های با مقادیر متفاوت شوری در حضور و عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس

Non Thiobacillus مقادیر شوری (ds/m)			Thiobacillus مقادیر شوری (ds/m)			زمان
۱۰	۶	۳	۱۰	۶	۳	
۳۷/۹	۳۹/۵	۴۳/۳	۵۶/۶	۶۶/۶	۶۲/۷	۳
۱۰/۱	۸/۹	۹/۴	۱۱/۶	۱۳/۱	۲۰/۶	۱۰
۱/۴	۳/۱	۵/۸	۶/۱	۹/۳	۱۶/۲	۲۵
۴/۱	۷/۳	۴/۷	۴/۴	۶/۱	۵/۴	۴۰
۰/۸	۲/۱	۲/۷	۱/۵	۳/۱	۴/۱	۶۲
۰/۷	۰/۵	۱/۷	۱/۳	۱/۳	۱/۴	۹۰



نمودار ۴-۱۳- اثر مقادیر مختلف شوری بر میزان اکسیداسیون درحضور مایه تلقیح تیوباسیلوس



نمودار ۴-۱۴- اثر مقادیر مختلف شوری بر میزان اکسیداسیون در عدم حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادها

۵-۱- نتیجه گیری

به طور کلی نتایج بدست آمده در این پژوهش نشان داد:

۱- با افزایش مقدار رس خاک اکسیداسیون گوگرد افزایش یافت و در حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس نسبت به شرایط عدم حضور آن تشدید گردید.

۲- با افزایش مقدار شوری خاک اکسیداسیون گوگرد کاهش یافت و این کاهش در شرایط حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس نسبت به عدم حضور آن شدیدتر است.

۳- در تمام خاک ها با افزایش اکسیداسیون گوگرد پ هاش خاک کاهش و هدایت الکتریکی افزایش یافت.

۴- فرایناکسیداسیون گوگرد شامل دو مرحله بود که فاز اول آن سریع و در روزهای ابتدایی خوابانیدن نمونه ها اتفاق افتاد ، فاز دوم که سرعت آن کند و در مراحل پایانی آزمایش اتفاق افتاد.

۵- مشخص گردید که زمان لازم برای اکسیداسیون کامل گوگرد اضافه شده به خاک های با میزان رس کم، متوسط و زیاد در حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس به ترتیب برابر ۵۳۰، ۴۰۸ و ۳۷۵ روز و در شرایط عدم مایه تلقیح تیوباسیلوس برابر ۹۰۶، ۵۴۸ و ۵۷۷ روز است.

۶- مشخص گردید که زمان لازم برای اکسیداسیون کامل گوگرد اضافه شده به خاک های با میزان شوری کم، متوسط و زیاد در حضور مایه تلقیح تیوباسیلوس به ترتیب برابر ۴۲۰، ۴۶۷و ۵۶۸ روز و در شرایط عدم مایه تلقیح تیوباسیلوس برابر ۶۵۷، ۷۵۶و ۸۴۳ روز است.

۷- مشخص گردید میزان اکسیداسیون گوگرد در خاک های رسی به دلیل فعالیت بیشتر میکروبی نسبت به خاک های شنی بیشتر ولی سرعت اکسیداسیون در خاک های شنی به دلیل تهویه بهتر بیشتر است.

۵-۲- پیشنهادها

۱- در خاک های شنی به دلیل آب شویی بیشتر ، بهتر است نسبت گوگرد مصرفی در این خاک ها کاهش و زمان مصرف کوتاه تر گردد.

۲- با افزایش شوری خاک می بایست میزان گوگرد مصرفی افزایش یابد.

۳- باتوجه به فقر خاک های منطقه از نظر مواد آلی بهتر است که افزایش گوگرد و باکتری تیوباسیلوس با مصرف کودهای دامی همراه گردد تا ضمن خصوصیات اصلاحی آن روی خاک منبع غذایی لازم برای باکتری های اکسید کننده گوگرد فراهم گردد.

۴- افزایش کودهای گوگردی بایستی یک ماه قبل از کشت به خاک صورت گیرد تا با توجه به طول دوره زراعی محصول مورد نظر بازدهی لازم را داشته باشد.

منابع :

۱- احیایی علی ، مریم و بهبانی زاده ، علی اصغر (۱۹۷۲) . شرح روش های تجزیه شیمیایی خاک (جلد اول) . وزارت کشاورزی ، سازمان تحقیقات ، آموزش و ترویج کشاورزی ، مؤسسه تحقیقات خاک و آب.

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

۳- بشارتی، ح. و ن. صالح راستین. ۱۳۷۸. بررسی اثر کاربرد مایه تلقیح باکتری های تیوباسیلوس همراه با گوگرد در افزایش قابلیت جذب فسفر. مجله علوم خاک و آب، جلد ۱۳، شماره ۱، ۲۳-۳۹ ص.

۴- بشارتی، ح. ک. خاوازی و ن. صالح راستین. ۱۳۷۹. بررسی قابلیت چند نوع ماده برای تولید مایه تلقیح باکتریهای تیوباسیلوس و مطالعه اثر آن همراه با گوگرد بر افزایش جذب برخی از عناصر غذایی و رشد ذرت. مجله علوم خاک و آب ، جلد ۱۲ ، شماره ۱۱ ، صفحات ۹-۱ ، تهران . ایران

۵- بشارتی، کلایه، ح. ۱۳۷۷ . بررسی اثرات کاربرد گوگرد همراه با گونه های تیوباسیلوس در افزایش جذب برخی عناصر غذایی در خاک. پایان نامه ارشد خاک شناسی. دانشگاه تهران، کرج، ایران، ۱۷۶ ص.

۶- توسلی، ا. ۱۳۶۳. اکسیداسیون گوگرد در خاک. نشریه فنی ۶۵۷. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. وزارت کشاورزی. تهران. ایران.

۷- 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.

۸- رشیدی، ن. و ن. ع. کریمیان. ۱۳۷۸. تأثیر گوگرد و روی بر رشد و ترکیب شیمیایی ذرت در یک خاک آهکی، چکیده مقالات ششمین کنگره علوم خاک ایران، مشهد.

۹- سالاردینی، علی اکبر. ۱۳۷۴. حاصلخیزی خاک. انتشارات دانشگاه تهران.

۱۰- سمر، سید محمود و م. ج. ملکوتی. ۱۳۷۷. اثر گوگرد، سولفات آهن و کود دامی و چگونگی مصرف آنها بر آهن قابل عصاره گیری خاک، مجله علوم خاک و آب، جلد ۱۲، شماره ۵. ۵۵-۶۱ ص.

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

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

۱۳- صالح راستین، ن. ۱۳۷۰ . بیولوژی خاک . انتشارات دانشگاه تهران .

۱۴- عبادی، علی. ۱۳۶۵. گوگرد و مصارف آن در کشاورزی. انتشارات واحد فوق برنامه بخش فرهنگی دفتر مرکزی جهاد دانشگاهی.

۱۵- علی اصغرزاده، ن، س. ساعدی و س . زمزمی . ۱۳۷۷. بررسی کارآیی باکتری های اسیددوست جنس تیوباسیلوس دراکسایش گوگرد و کاهش pH خاک. مجله علمی پژوهشی دانش کشاورزی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تبریز. ۸ : ص ۹۱-۷۵.

۱۶- کریمی نیا، آ. ۱۳۷۶. شناسایی گونه های تیوباسیلوس جدا شده از برخی خاک های ایران و بررسی تأثیرآنها در کاهش پ.هاش خاک های مختلف. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

۱۷- لطف الهی ، محمد ، ا. سپهر ، م.ج. ملکوتی. ۱۳۸۴. نقش گوگرد در افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات کشاورزی در کشور (قسمت دوم دانه های روغن). نشریه فنی شماره ۴۶۹ . مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور. انتشارات سنا.

۱۸- معافپوریان، غ. ر. ۱۳۷۳. اثر منابع روی و سولفوریک اسید بر رشد و جذب روی در گیاه ذرت و شکل های شیمیایی روی در خاک . پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

۱۹- معماری فر، ع.، ا. ا. دادی، غ. غ. اکبری. ۱۳۸۹. مطالعه اثر کاربرد مقادیر مختلف کمپوست زباله شهری بر موجودی عناصر غذایی و خصوصیات خاک و رشد و عملکرد علوفه ای ذرت . مجموعه مقالات پنجمین همایش ملی مدیریت پسماند، مشهد.

۲۰- ملکوتی، م. ج. ۱۳۸۴. کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد با بهینه سازی مصرف کود در ایران،(چاپ سوم با بازنگری کامل)، به سفارش شورای عالی سیاستگزاری توسعه کاربرد مواد بیولوژیک و استفلده بهینه از کود وسم در کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی، کرج، ایران.

21- Attoe , O. J. and R. A.Olson,. 1966. Effecting the rate of oxidation of elimental sulfur and that added in rock – phosphate – sulfur fusion. Soil Sci . 101: 317-327.

22- Barrow, N. J. 1968. j. Sci. Food Agric, 19: 454-6.

23- Blair, G. J. 1987. International Symposium Elemental sulfur in Agriculture, proceeding. Volume 2. Acropolis, Nice, France, March 25-7, 1987. Pp 483-91. Syndicat Farancais du soufre, Marseille.

24- Beitr T. 1976. Rate of elemental sulfur oxidation in some soils of Egypt as affected by the salinity level, moisture, texture, temperature and inoculation,Landwirtsch Veterinarmed. 14: (2): 179-85.

25- Castellano, S.D. Dick, R.P. 1991. Cropping and sulfur fertilization influence on sulfur transformations in soil . Soil Sci Soc Am j 55: 114-121.

26- Chani, A. R. C. Mclaren, R. S. Swift,. 1993. The incorporation and transformation of S-35 in soil- effects of soil conditioning and glucose or sulfate additions. Soil Biology and Biochemistry 25: 327-335.

27-Chani, A., R. G.MClaren and R-S. SWIFT. 1991 . Sulfur mineralization in some Newzealand soil. Biol. Fert. Soils 11: 68-74.

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

29- Dana, M. 1992.Dtermine 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.

30- Eriksen, J., and J.V. Mortensen,. 1999. soil sulfur status following long – Term annual application of animal manure and mineral fertilizers. Biol. fertile . Soils 28:416-421.

31- FOX R. L. A. , H. M. Tesalph, D. H. Kampbell, and H. F. Rhoades,. 1964. S-uptake studies. Soil SCi. Soc. Am. Proc . 28:406-8.

32- Garcia de la faente , R.,C. Carrion , S. Botella , F. Fornes , V. Noguera , and M. Abad. 2006. Biological oxidation of element sulfur added to three composts from different feedstocks to reduce their pH for horticultural purposes .

33- Garcia junior,O. 1992. Oenxofre e suas transform a coes microbianas. In; Cardoso, E.J.B., Tsai, S. M., Neves, M.e.p.(eds) , Microbiologia do Solo Sociedade Brasi-Leira de ciencia do solo , campin as, PP. 1-15.

34- Gauch, H. G. 1972. Inorganic plant nutrition. Dowden, Hutchinson and Ross, Inc.

35- Gragston , s. J. and, J.J. Jermida,. 1990. Influence of crop rizospheres on populations and activity of hetrotrophic sulfur-oxidazing microorganisms. Soil, Bichem. 22:457-463.

36- Gragston , s. J. and, J.J. Jermida,. 1991. SULFUR – Oxidizing bacteria as Plant – growth promoting rhizobacTeria for Conola . Can. J. Microbiol. 37: 521- 529.

37- Gupta , R. K., I. P. Abrol,. 1990. Salt- affected Soil: their reclamation and management for crop production . Adv. Soil- Sci. 11:223-228.

38- Haqe, I. D. Wam,. 1972. Incubation studies on mineralization of organic sulfur and organic nitrogen . Plant Soil 37:255-264.

39- Hu, Z., Z. Yang, C. Xu, S. Haneklaus, Z. Cao, E. Schnug,. 2002. Effect of crop-growth on the distribution and mineralization of soil sulfur fractions in the rhizosphere. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 165, 249–25.

40- Itanna, F. 2005. Sulfur distribution in five Ethiopian Rift Valley soils under humid and semi-arid climate, Jornal of Arid Environments 62: 597-612.

41- Jaggi, R.C., M. S. Aulakh, R. Sharma,. 1999. Tempreture effects on soil organic sulfur mineralization and element sulfur oxidation in subtropical soils of varing pH. Nutr Cycling Agroecosyst 54:175-182.

42- Jaggi R. C., m. s. Aulakh and R. Sharman,. 2005. Impacts of elemental S applied under various temperature and miostur regions on pH and available P in acidic, neutral and alkalin soils, Boil. Fert. Soils. 41: 52-58.

43- Janzen, H.H., J.R. Bettany,. 1987a. The effect of tempreture and water potential on sulfur oxidation in soils. Soil Sci 144:81-99.

44- Janzen, H. H., and J. R. Bettany,. 1987$_b$. Measurement of sulfur oxidation in soils. Soil Sci. 143: 444- 452.

45- Janzen, H. H. R. M. N. Kucey,. 1988. C, N, and S mineralization of crop residues as in fluenced by crop species and nutrient regime. Plant Soil 106: 35-41.

46- Jermida, J. J. and H. H. Janzen,. 1987. Factors affecting the oxidation of elemental sulfur in soils.

47- Kidder, G., M. J. Holsinger, and T. H. Yeayer,. 1990. Lowering of calcareous soil pH in fild – Grow containers . J. Environ . Hort. 8:1-4.

48- Kirchman, H., F. pichlmayer, M. H. Gerzabek,. 1996. Sulfur balances and sulfur- 34 abundance in a long-term fertilizer experiment. Soil Sience Society of America journal 59: 174-178.

49- Kishchuk, B. E., R. P. Brockley,. 2002. Sulfur availability on Lodgepole pine sites in British Columbia. Soil Science Society of America Journal 66, 1325–13.

50- Kittams H. A. and O. J. Attoe,. 1965 Agron. J. 57: 331- 4.

51- konpka, A. E., R. H. Miller , and L . E. Sommers . 1986. Microbiology of the sulfur cycle. In M.A. Tabatabai (ed). Sulfur in agriculture. Agronomy 27:23-55.

52- Kotha S. R. et al .2002. Sulfur mineralization in two Soils amended with organic manures , crop residues, and green manures, J,plant nutr Soil . Sci 165, 167-177.

53- Korb, N., C. Jones, J. Jacobsen,. 2002. Secondry macronutrients: cycling, testing and fertilizer recommendations. Montana state university, USA: Nutrient management Module No.6.

54- Larson, W. E., C. E. Clapp, W. H. pierre and V. B. Morachan,. 1972. Effect of increasing amounts of organic residues on continuous com : II. Organic carbon, nitrogen , phosphorus and sulfur . Agron ,J.64: 205- 208.

55- Lawrence, J. R., and J. J. Germida. 1988. Most-Probable-Number Procedure to enumerate s –oxidation thiosulphat procducting heterotrophs in soil, Soil Biol. Biochem. 20 (4): 577.

56- LaWyenee, J . R. and J.J . Germila,. 1988. Relationship between microbial bioxas and elemental Sulfur Oxidationin agricultural Soils . soils Sci . Soc. Am , J. 52: 672-677.

57- Lettl A, O. Langkromer, V. Lochman,. 1981. Some factors influencing production of sulfate by oxidation of element sulfur and tiosulfate in upper horizons of spruce forest soils. Folia Microbiol 26:158-163.

58- McCaskill, M. R. and G. J. Blair,. 1989, Modelling of sulfur oxidation from element sulfur. Fert. Res. 19: 77-84.

59- Miller, R.W., and . L. Donhu. 1990. Soil. Prentice Hall.

60- Michael A. Kertesz and Mirleau. 2004. The role of soil microbes in plant Sulphur nutrition , journal of Experiment al Botany.

61- Mohammady Aria M., A. Lakzian, G. H. Haghnia, A. R. Berenji,. 2010. Effect of Thiobacillus, sulfur, and vermicompost on the water-soluble phosphorus of hard rock phosphate, Bioresource Technology, Volume 101, Issue 2, Pages 551-554.

62- Naidu, R., P. Rengasmy,. 1993. Ion interactions and constraints to plant nutrition in AustraLian Sodic Soils. AusT. J. Soil Res. 31: 801-819.

63- NorY, M. and M. A. Tabatabai,. 1977. Factors affecting elemental sulfur oxidation. Soil Sci. Soc. Amer.J. 41:736-41.

64- Nor, Y. M. and M. A. Tabatabai,. 1977. Oxidation of elemental sulfur in soils. Soil Sci. Am. J. 40:736-741.

65- Owen, K. M. R.H. Marrs, C. S. R. Snow, C. E. Evans,. 1999. Soil acidification—the use of sulphur and acidic plant materials to acidify arable soils for the recreation of heathland and acidic grassland at Minsmere, Biological Conservation, Volume 87, Issue 1, Pages 105-121.

66-Patgiri , D. K. and T. C. Baruah,. 1993. Effect of sulphur on soil properties, yield and oil content of toria . J.Indian Soc. Soil Sci. 41:391-392.

67-Person, T., A. Wiren, S. Andersson,.1990. Effect of liming on carbon and nitrogen mineralization in Coniferous forests Water, Air and Soil pollution 54: 351-364.

68- Reddy, K. S., M. Singh, A. Swarup, A. S. Rao, and K. N. Singh,. 2002. Sulfur mineralization in soils amended with organic manures, crop residues, and green manures, India Institute of Soil Science. Nabi Bagh, Berasia Road, Bhopal – 462.

69- Rupela, O. P., P. Tanro,. 1973. Utilisation of thiobacillus to reclaim alkali soils . soil Biol. Biochem. 5:899-901.

70- Slaton , N. A., S. N. Tamatungiro, C. E. Wilson , Jr., and R.J. Norman. 1998. In fluence of two elemental sulfur products applied to an alkalin Siltloam on rice growth. P. 326-329. In R. J. Norman and T.H. Johnston (ed) Rice Research series 1997. Res. Ser. 460. Ark. Agric . Exp. Stn, fayeIteville, AR.

71- Shedley C. D. 1982. Ph.D. Thesis, Australia, Armidale, N. S. W.

72-Sheinberg and Shahevet. 1984. Salinity and alkalinity: Processes, dynamics and measurements. Landon Academic Press.

73-Shutian, L., L. Bao, W, Zhou,. 2005. Effect of previous elemental sulfur applications on oxidation of additional applied elemental sulfur in soils. Biol Fertil Soils. 42: 146 – 152.

74-Stratton , M. L., A. Barker and J . Ragsdale,. 2000. Sheet composting overpowers Weeds in restoration project . Biocycle 4:57-59.

75- Suzuki . I., D. Lee, B. Mackay, L. Harahuc and J. K. Oh,. 1999. Effect of various Jons , pH, Osmotic Pressure on oxidation of elemental sulfur by Thiopacillas thiooxidans . Appl. Enuiron. Microbiol. 65: 5163- 5168.

76-Tabatabai, M. A. 1984. Importanc of sulfur in crop production. Biogeochemistry 1: 45-62. Dio: 10.1007 /BF02181120 .

77-Tabatabai, M. A. 1982. Sulfur. In: Page, A. L., Miller, R. H., Keeney, D. R. (Eds), Methods of soil Analysis, part 2. Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 501-538.

78-Tabatabai , M. A. and Y. M. Chae,. 1991. Mineralization of sulfur in soil amended with organic wastes . J.Environ .Qual. 20, 684-690.

79-Tisdale, S. L. and W. L. Nelson. 1966. Soil fertility and fertilizers. Macmillan company, New yourk.

80-Tisdale, S. L., W. L. Nelson, J. D. Beaton, J. L. Havlin,. 1997. Soil Fertility and Fertilizers, fifth ed. Prentice-Hall of India Private Limited, New Delhi, pp. 266–289.

81-Valeur, I., S. Ingvar Nilsson, S. Andersson, G. Sjöberg,. 2002. Net sulphur mineralization in forest soils as influenced by different lime application rates, Soil Biology and Biochemistry, Volume 34, Issue 9, 1 September 2002, Pages 1291-1298.

82-Vitolins, M. I. and R. J. Swahy,. 1969. Oxidation of elemental sulfur contain Tiobasillus. AusTralian Journal of soil Research .7: 171-83.

83- Wain wright, M., W. Nevell, and S. J. Graystone . 1986. Effects of organic matter on sulphur oxidation in soil nitrification . plant & soil . 96: 369- 376.

84- Watkinson,. 1993. Oxidation rate of S^0 with a wide particel size range. Aust, J. soil Res, 31: 67-72.

85- Weir, R. G. 1975. The oxidation of elemenTad sulfur and Sulphides in Soils. In Me Lachlan K. D.(ed.) sulfur in Aus Tralian Agriculture. S ydney Univ . prees , Sedney, Austrialia.pp.40-49.

86- Wei Zhou, M. Wan, P. He, S. Li, B. Lin,. 2002. Oxidation of elimental sulfur in Paddy Soils as in fluenced by flooded condition an plant growth in pot experiment . Bio Fertil 36: 384-389.

87- Zhao, F. J., J. Wu, S. P. McGrath,. 1996. Soil organic sulfur and its turnover. In: piccolo. A . (Ed), Humic substances in terreriol Ecosystems, Elsevier, Amsterdam. pp: 467-506.

88- Zhouw, L., H. Wang, B. HeP lin,. 1999. Mineralization of available sulfur in upland soil of north china. Biol fertile Soils 30:245-250.

89-Zhou, W., J. Pan,. 1999. Soil S^{35} transformation and availability to plants. Pedosphere. 9: 83 – 89.

Abstract

Problems caused by the accumulation of calcium carbonate and soil pH for the plants in arid and semiarid regions of the country due to the nature of soil parent material and little precipitation and increasing levels of saline and alkali soils cause production and application of more fertilizer is sulfur. However , the effects of sulfur in the soil on the biochemical oxidation rate by microorganisms is dependent.The purpose of this study effect different factors soil include the amount of clay soil salinity and also spent time on the biochemical oxidation of sulfur was carried out in controlled conditions.

This study in the labratouar the absence plant a factorial experiment based on completely randomized design with three replications in two experiments were performed. In the first experiment, treatments consisted of clay soil on three levels [low (less than ۱۵ percent), moderate (۱۵ to ۳۰ percent) and high (greater than ۳۰ percent)}, the amount of sulfur in two levels (۰ and ۴۰۰ kg/ha) with the presence or absence Thiobacillus inoculums. In the second experiment the treatments included three levels of soil salinity {to low salinity (less than ۴ $^{ds}/_{m}$), moderate salinity (۴ to ۸ $^{ds}/_{m}$) and high salinity (greater than ۸ $^{ds}/_{m}$) }, sulfur levels in two levels (۰ , ۴۰۰ kg/ha) with the presence or absence of Thiobacillus inoculum is a laboratory method was carried out couch.

Results showed that after ۹۰ days incubation, the soil samples of sulfur oxidation rate

with increasing clay content and soil salinity, respectively, and significantly increased and decreased,

The changes in the presence conditions of Thiobacillus inoculum more sever ocurred.

Results showed that in the presence conditions of Thiobacillus inoculum sulfate soil sample to measure the amount of sulfate The third day in a clay soil with low, medium and high , respectively, ۳.۲, ۳.۸ and ۳.۹ times and in the absence of Thiobacillus inoculums , respectively, ۲.۵, ۳.۲ and ۳.۵ times increased. also the amount of sulfate in soil samples to measure the amount of sulfate Third day, salinity in the soil samples with low, medium and high, respectively, ۳.۶۴, ۲.۹۴ and ۲.۷۴ times and in the absence of Thiobacillus inoculum, respectively, ۳.۲۸ , ۲.۴۲ and ۲.۰۷ times increased.

Most of the sulfur oxidation rater was conducted on the third day so that in the presence of Thiobacillus inoculum in the soil samples With low clay, medium and high , respectively , ۵۰.۳, ۶۷.۲ and ۷۰.۷ and in the absence of Thiobacillus inoculum , respectively, ۳۳.۶ , ۵۰.۳ and ۵۳ micrograms per square centimeter per day of sulfur on was also in samples with low salinity, moderate and high in the presence of Thiobacillus inoculum, respectively, ۶۲.۷ , ۶۶.۶ and ۵۶.۶ and in the absence of Thiobacillus inoculum respectively ۴۶.۳, ۳۹.۵ and ۳۷.۹ micrograms per square centimeter per day of sulfur was achieved.

Key words: sulfur, oxidation, clay content, salinity, pH, electrical conductivity, sulfate, incubation

Shahrood University of Technology
Faculty of Agriculture
Department of Soil and Water

Sulfur mineralization and its relation to the amount of clay and soil salinity

Hasan Ebrahimi

Supervisors:
Dr. Shahin Shahsavan
Dr. Peyman Keshavarz

advisor:
Dr. Hamid Reza Asghari
Dr. Shahrokh Ghranjik

February ۲۰۱۲