فصل دوم:

تست میدانی فرمولاسیون گوگرد بنتونیتی

فصل دوم- تست میدانی گوگرد بنتونیتی

مقدمه

تولید سالیانه گوگرد در جهان با سیری تصاعدی همراه است. چالشی که گریبانگیر کشورهای تولید کننده گوگرد از منابع نفت و گاز شده است حجم بالای تولید و مازاد عرضه این محصول در جهان است. بررسی های انجام شده در ایران نشان می دهد که از حدود ۲ میلیون تن گوگرد تولیدی کشور حداکثر۱/۲ میلیون تن آن برای صادرات برنامه ریزی شده است. با توجه به مصارف محدود آن در داخل کشور، سالانه مقادیری زیادی از گوگرد تولید شده در محل های نامناسب انبار می شود. در این رابطه شرایط موجود ایجاب می نماید که بدنبال راهکارهایی برای مصرف آن در کشور باشیم. چنانچه از مسائل زیست محیطی و خطرات ناشی از انباشت گوگرد از جمله تاثیر بر دستگاه تنفسی و سلامتی انسان، مسائل حمل و نقل، انبارداری و اطفاء حریق آن بگذریم و به مسائل و مشکلات مصرف آن در بخش کشاورزی بپردازیم، با چالش های ذیل روبرو خواهیم شد.

بر اساس تحقیقات انجام شده در یکی دو دهه اخیر توسط بسیاری از محققین داخلی و نتایج حاصله معلوم شده که مصرف گوگرد در بخش کشاورزی می تواند در اولویت اول مصرف قرار گیرد. گوگرد و ترکیبات آن مهمترین و اصلی ترین اصلاح کننده های خاک محسوب می شوند. امروزه به دلایلی چون افزایش برداشت گوگرد از خاک بدلیل استفاده از واریته‌های با عملکرد بالا، کاهش مصرف گوگرد ، افزایش کاربرد کودهای بدون گوگرد ، نیاز بالای گیاهان روغنی کمبود این عنصر روز به روز در جهان افزایش یافته است . (Tandon 1995) . دلایل متعددی برای اهمیت گوگرد در محصولات زراعی وجود دارد. مشکل عمده‌ای که بعد از مصرف گوگرد به خاکهای زراعی مطرح می‌گردد این است که در pH بالا فرم نیترات قابل جذب توسط گیاه

نیست. نیترات در حضور سولفات و در pH پایین می‌تواند توسط گیاه جذب شود. در خاک هایی با pH برابر۷/۵، فسفر با کلسیم موجود در خاک به فرم نامحلول در می آید که غیر قابل دسترس توسط گیاه می باشد. همچنین پتاسیم در pH بالا غیر قابل دسترس گیاه است.pH مناسب برای جذب عناصر غذایی حدود۶/۵ است. تبدیل گوگرد عنصری به سولفات یک فرآیند بیولوژیکی (آهسته) بوده و یک واکنش شیمیایی (سریع) نیست. این فرآیند توسط باکتری های اکسید کننده موجود در خاک انجام می‌شود که مسئول اکسیداسیون گوگرد و تبدیل‌آن به سولفات می‌باشند . این امر با کمک باکتری‌های تیوباسیلوس که در شرایط هوازی در خاک زندگی می‌کنند امکان پذیر است. متأسفانه با عنایت به کاهش شدید درصد مواد آلی در خاکهای زراعی ایران تعداد این باکتریها کاهش یافته است. این فرآیند به عوامل مختلفی از جمله دما و رطوبت خاک، منافذ موجود در خاک و اندازه ذرات گوگرد بستگی دارد. اگردمای خاک کمتر از ۱۵ درجه سانتی گراد باشد باکتری ها غیر فعال می شوند. باکتری ها در زمستان فعال نیستند بنابراین مصرف گوگرد در فصل پاییز هیچ تأثیری بر pH خاک نخواهد داشت. حد بالایی دما تا ۳۵ درجه برای فعالیت باکتری‌ها گزارش شده است. با افزایش رطوبت خاک ازحد ظرفیت زراعی، باکتری های بی هوازی، گوگرد را به هیدروژن سولفید تبدیل می کنند. هیدروژن سولفید باعث از بین رفتن ریشه گیاه می شود. در حال حاضر انواع مختلفی از گوگرد به عنوان کودهای گوگردی در خاکهای زراعی تحت کشت مصرف می گردد که از این جمله می توان به گوگرد پودری، گرانول، بیو گوگرد، گوگرد آلی گرانول و... اشاره کرد. اخیراً نوع دیگری از گوگرد بنام گوگرد پالایشگاهی پاستیل به منظور استفاده در بخش کشاورزی عرضه شده است. فرایند پاستیله کردن، نوعی تکنولوژی در دانه بندی به شمار می رود که در آن جامد شدن گوگرد مایع به صورت پاستیل‌های نیمکره‌ای یکنواخت صورت می‌گیرد. فن آوری تبدیل به پاستیل[1]جهت جامد سازی در راستای دستیابی به مزایایی همچون قابلیت حمل و انتقال و مصرف آسان و بهینه سازی شرایط زیست محیطی و تنوع بخشی به محصول، ارائه شده است و جایگزینی برای تکنولوژی های سنتی همچون پریل و گرانوله شدن و غیره به شمار می آید.

در فعالیت حاضر، پتانسیل و امکان مصرف فرمولاسیون گوگرد بنتونیتی در خاک‌های کشاورزی ایران در فاصله سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۹۲ ، توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب و با نظارت پژوهشگاه صنعت نفت به عنوان مجری سطح یک و با استفاده از محصول تولیدی پالایشگاه شهید هاشمی نژاد، در کشت محصولات استراتژیک نظیرگندم،کلزا، ذرت و پیاز در سطح کشور و در مزارع نمونه مورد بررسی قرار گرفته است.

[1] Pastillation

۲-۱- بررسی منابع

۲-۱-۱- خصوصیات شیمیایی گوگرد

گوگرد با وزن اتمی ۳۲/۴ دارای چندین حالت اکسیداسیون می‌باشد که پائین‌ترین آن ۲- در سولفید (S^{2-}) و بالاترین آن ۶+ در سولفات (SO_4^{2-}) است. گوگرد دارای چهار ایزوتوپ پایدار ^{32}S، ^{33}S، ^{34}S و ^{36}S است که فراوانی طبیعی آنها به‌ترتیب ۹۵/۱، ۰/۷۴، ۴/۲ و ۰/۰۱۷ درصد برآورد شده است. نسبت ^{34}S / ^{32}S در ترکیبات طبیعی گوگرد بسیار متغیر است (Stevenson و Cole، ۱۹۹۹).

۲-۱-۲- گوگرد در خاک

پوسته زمین دارای ۰/۰۶ درصد گوگرد است. گوگرد از نظر مقدار در طبیعت در ردیف ششم و از لحاظ میزان نیاز گیاه، پس از سه عنصر اصلی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در مرتبه چهارم قرار دارد. مقدار گوگرد در خاک از ۰/۰۰۲ درصد تا ۵ درصد متغیر بوده و به‌طور متوسط بین ۰/۵ تا ۰/۰۱ درصد می‌باشد. کمترین مقدار آن در خاکهای شنی (۲۰ mg S Kg^{-1}) و بیشترین مقدار آن در نواحی جزر و مدی که سولفیدها تجمع پیدا می‌کنند (۳۵ mg S Kg^{-1}) می‌باشد (Tisdale و همکاران، ۱۹۹۳).

گوگرد در خاک به دو شکل آلی و معدنی یافت می‌شود. تقریباً تمام گوگرد موجود در نواحی خشک و درصد کمی از گوگرد موجود در مناطق مرطوب به صورت معدنی است. در مناطق مرطوب، نیمه خشک، معتدل و نیمه گرمسیری بیشتر گوگرد موجود در افقهای سطحی خاکهایی با زهکشی خوب در ترکیب با مواد آلی وجود دارد. حدود ۹۰ درصد کل گوگرد موجود در سطح خاکهای غیر آهکی در مواد آلی وجود دارد (ملکوتی و رضایی، ۱۳۸۰).

نسبت مقدار گوگرد آلی و معدنی بسیار متفاوت است و به pH، وضعیت زهکشی، مقدار مواد آلی، ترکیب کانی‌ها و عمق خاک بستگی دارد. توزیع شکل آلی گوگرد در نیمرخ خاک با توجه به نوع و عمق خاک بسیار متفاوت است. معمولاً مقدار گوگرد در لایه‌های زیرین خاک نسبت به افقهای سطحی کمتر می‌باشد (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۲).

گوگرد معدنی در خاک عمدتاً به صورت سولفات است. اگرچه ترکیباتی مانند سولفیدها، سولفیت و تیوسولفات کمتر یافت می‌شوند، اما در شرایط غرقابی گوگرد معدنی به شکلهای احیا شده مانند H_2S و FeS_2 یافت می‌شود. پیریت شکل عمده گوگرد در خاک‌های غرقابی و مردابی است و در برخی شرایط نیز گوگرد عنصری می‌تواند در خاکهای مذکور تشکیل شود. بخش عمده گوگرد در خاک‌های آهکی و شور به شکل گچ ($CaSO_4.2H_2O$) است (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۲).

۳-۱-۲- گوگرد در گیاه

گوگرد یکی از عناصر غذایی ضروری برای رشد گیاه و تولید محصول است. گوگرد به همراه کلسیم و منیزیم جزء عناصر ثانویه است. نیاز گیاهان به این عنصر مشابه فسفر و حتی بیشتر از آن نیز می‌باشد. غلظت گوگرد در برگ گیاهان غالباً بیش از دو برابر فسفر است و این امر اهمیت نسبی گوگرد را در مقایسه با فسفر به وضوح نشان می‌دهد (Tandon، ۱۹۹۱).

گوگرد در ساخت پروتئین و روغن دخالت دارد. نظر به این که شکل قابل جذب گوگرد در گیاهان به صورت یون سولفات می‌باشد، استفاده از گوگرد هنگامی مؤثر و نتیجه بخش خواهد بود که پس از استفاده در خاک به مقدار کافی اکسید و به سولفات تبدیل گردد.

گیاهان خانواده لگومینوز و دانه‌های روغنی بیش از غلات به گوگرد نیاز دارند و از طرفی گوگرد جزء ساختمان آنزیم نیتروژناز می‌باشد، لذا مصرف گوگرد در کشت این گیاهان ضمن افزایش تثبیت بیولوژیک نیتروژن، باعث افزایش غلظت گوگرد در آنها می‌گردد. این امر تولید بیشتر اسید آمینه‌های حاوی گوگرد و در نهایت افزایش درصد و کیفیت پروتئین‌های گیاهی را به‌دنبال دارد. به‌علاوه، گوگرد باعث افزایش درصد روغن در لگوم‌ها و دانه‌های روغنی نیز می‌گردد. در حالی‌که کمبود این عنصر ضمن کاهش کمیت و کیفیت روغن و پروتئین‌های گیاهی، سبب تجمع نیترات در گیاهان می‌گردد (Tisdale و همکاران، ۱۹۹۳؛ Dubey و Billore، ۱۹۹۵).

۴-۱-۲ - اهمیت اکسایش گوگرد

یکی از مهمترین ویژگی‌های گوگرد دارا بودن درجات مختلف اکسیداسیون از ۲- تا ۶+ می‌باشد. این امر به گردش گوگرد در طبیعت کمک می‌کند. چرخه گوگرد شامل چهار مرحله معدنی شدن[1] آلی شدن[2] احیا شدن [3]و اکسید شدن[4]می‌باشد. اکسیداسیون گوگرد مهمترین مرحله چرخه گوگرد محسوب می‌شود، زیرا:

۱- در بسیاری از خاک‌ها منبع اصلی گوگرد، کانی‌های گوگرددار هستند که گوگرد موجود در آنها به فرم احیا شده است. همچنین گوگرد موجود در برخی از کودها و مواد اصلاح کننده نیز به فرم احیاء می‌باشد. درحالی که گوگرد قابل جذب گیاهان و اکثر میکروارگانیسم‌ها عمدتاً به فرم اکسید شده (سولفات) است.

[1] Mineralization
[2] Immobilization
[3] Reduction
[4] Oxidation

۲- افزودن گوگرد به خاک به منظور تأمین نیاز گیاه به این عنصر، اصلاح اراضی و یا بهبود وضعیت تغذیه گیاه از طریق آزاد شدن عناصر غذایی مثل فسفر، آهن، روی و منگنز وقتی مؤثر و نتیجه بخش خواهد بود که گوگرد به میزان قابل توجهی در خاک اکسیده گردد (Janzen و Bettany، ۱۹۸۷).

۳- اکسیداسیون ترکیبات گوگردی در خاک، منبع کسب انرژی برای گروهی از میکروارگانیسم‌های موجود در خاک (انواع اکسید کننده گوگرد به‌خصوص باکتری‌های جنس تیوباسیلوس) می‌باشد که اثرات مفید آنها را در اصلاح اراضی و بهبود تغذیه گیاهان نمی‌توان نادیده گرفت (Janzen و Bettany، ۱۹۸۷).

اکسیداسیون گوگرد به دو شکل شیمیایی و بیولوژیک صورت می‌گیرد. از جمله واکنش‌های شیمیایی اکسیداسیون گوگرد می‌توان به اکسیداسیون پیریت اشاره کرد که گوگرد موجود در پیریت (FeS_2) به گوگرد عنصری اکسید می‌گردد.

از آنجا که اکسیداسیون شیمیایی گوگرد در خاک بسیار کند و بطئی بوده و قسمت اعظم گوگرد موجود در خاک توسط میکروارگانیسم‌ها اکسیده می‌شود، بنابراین هر عاملی که بتواند رشد و نمو و فعالیت میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد را تحت تأثیر قرار دهد، بر میزان اکسیداسیون گوگرد در خاک نیز اثر خواهد گذاشت.

حضور جمعیت کافی از میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد در خاک موجب تشدید اکسیداسیون گوگرد، کاهش pH موضعی خاک، افزایش حلالیت عناصر غذایی و در نتیجه افزایش رشد گیاهان را فراهم می‌کند.

اکسیداسیون بیولوژیک گوگرد توسط طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها (قارچ‌ها، باکتری‌ها و اکتینومیست‌ها) انجام می‌گیرد که در یک تقسیم بندی کلی آنها را در سه گروه میکروارگانیسم‌های هتروتروف، باکتری‌های فتولیتوتروف و باکتری‌های شیمیولیتوتروف قرار می‌دهند.

میکروارگانیسم‌های هتروتروف: این گروه عمدتاً از ترکیبات آلی به‌عنوان منبع کربن و انرژی بهره می‌گیرند و در شرایط هوازی از اکسیژن و در شرایط بی‌هوازی از سولفات به‌عنوان گیرنده الکترون استفاده می‌کنند.

باکتری‌های فتولیتوتروف: باکتری‌هایی هستند که دارای نوع خاصی از کلروفیل به نام باکتریوکلروفیل بوده و فتوسنتز غیر اکسیژنی انجام می‌دهند. این باکتری‌ها اکثراً در شرایط بی‌هوازی فعالیت کرده و آبزی می‌باشند. بنابراین در مقایسه با سایر اکسیدکنندگان گوگرد، در خاک‌های زراعی از اهمیت چندانی برخوردار نیستند.

باکتری‌های شیمیولیتوتروف: این باکتری‌ها از نظر تغذیه‌ای به سه گروه شیمیولیتوتروف اجباری، اختیاری و میکسوتروف تقسیم می‌شوند. این باکتری‌ها از ترکیبات احیاء شده گوگرد (سولفید هیدروژن، سولفیدهای فلزی، پلی‌سولفیدها، گوگرد عنصری و ...) به‌عنوان منبع انرژی استفاده کرده و با اکسیداسیون این ترکیبات

مقداری انرژی کسب می‌کنند، میکروارگانیسم‌های این گروه می‌توانند یون‌های سولفید را به گوگرد عنصری و یا سولفات تبدیل کنند. انرژی آزاد شده در طی این واکنش‌ها قابل توجه می‌باشد.

$$H_2S + 1/2\ O_2 \rightarrow H_2O + S \qquad \Delta G^0 = -52.1 \quad KCal / mol$$

$$KCal / mol\ S + 3/2\ O_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_4 \qquad \Delta G^0 = -145.5$$

بنا بر آنچه که ذکر شد، طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها قادر به اکسایش گوگرد در محیط خاک هستند که باکتری‌های جنس تیوباسیلوس، برخی از باکتری‌های هتروتروف، باکتری‌های گوگردی فتوسنتز کننده و باکتری‌های گوگردی بی رنگ از جمله آنها می‌باشند. از بین این انواع فقط باکتری‌های تیوباسیلوس و هتروتروف‌ها نقش مهمی در اکسایش گوگرد موجود در خاک ایفا می‌کنند (Tate، ۱۹۹۵).

باکتری‌های جنس تیوباسیلوس مهمترین میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد درخاک هستند. جمعیت این باکتری‌ها ممکن است به بیش از یک میلیون در هرگرم خاک نیز برسد (Rupela و Taura، ۱۹۷۳).

باکتری‌های جنس تیوباسیلوس گرم منفی، میله‌ای شکل (به طول ۱-۴ میکرون) و شیمیولیتوتروف بوده و بعضی از گونه‌ها به وسیله تاژک یا تاژک‌های قطبی، قابلیت تحرک دارند. هیچ یک از آنها پاتوژن نیستند. این باکتری‌ها انرژی مورد نیاز را از ترکیبات احیاء شده گوگردی بدست می‌آورند و قادر به تثبیت دی‌اکسیدکربن هستند. بعضی از گونه‌ها شیمیولیتوتروف اجباری، بعضی از آنها شیمیولیتوتروف اختیاری و برخی دیگر میکسوتروف هستند (Kelly و Harrison، ۱۹۸۹).

اکثر گونه‌ها هوازی هستند، یک گونه که تیوباسیلوس دنیتریفیکاتور نام دارد، بی‌هوازی اختیاری بوده و توان احیاء نیترات را در شرایط بی‌هوازی دارد. تاکنون بیست و یک گونه از این جنس شناسایی شده‌اند که این گونه‌ها با توجه به محدوده pH فعالیتشان، به دو گروه خنثی‌دوست[1](pH بهینه حدود ۷) و اسیددوست[2](pH بهینه حدود۳) تقسیم می‌شوند. اکثر گونه‌ها در خاک، چشمه‌ها، رسوبات گوگردی، پساب‌های اسیدی، فاضلاب‌ها، دریاچه‌ها، باتلاق‌های شور و شیرین یافت می‌شوند (Kelly و Harrison، ۱۹۸۹).

اولین گونه شناسایی شده از جنس تیوباسیلوس، تیوباسیلوس تیوپاروس[3](۱۹۰۴ توسط بژرینک) است که گونه تیپیک جنس تیوباسیلوس محسوب می‌شود (Kelly و Harrison، ۱۹۸۹).

باکتری‌های جنس تیوباسیلوس قادرند که ترکیبات مختلف گوگردی از جمله گوگرد عنصری را اکسید نموده و با این عمل انرژی مورد نیاز برای رشد و نمو، فعالیت و تکثیر سلولی را فراهم نمایند. اگرچه میکروارگانیسم‌های اکسید کننده گوگرد دراکوسیستم خاک پراکنش وسیعی دارند ولی در خاک‌های خیلی

1 Neutrophile
2 Acidophile
3 *Thiobacillus thioparus*

خشک و عاری از مواد آلی و رطوبت، جمعیت آنها چندان قابل توجه نمی‌باشد. البته در برخی از خاک‌های خشک به‌رغم شرایط نامساعد تعداد اندکی از باکتری‌ها (۱۰۰ تا ۲۰۰ سلول در هر گرم خاک) وجود دارد، که این جمعیت با افزودن مواد اصلاح کننده گوگردی افزایش می‌یابد و در نتیجه این افزایش، اکسیداسیون گوگرد در فصول بعدی تشدید می‌شود (Tabatabai، ۱۹۸۶).

از آنجا که باکتری‌های جنس تیوباسیلوس شیمیولیتوتروف بوده و از ترکیبات احیاء شده گوگرد به‌عنوان منبع کسب انرژی استفاده می‌کنند، لذا حضور این باکتری‌ها در محیط‌های طبیعی منوط به وجود ترکیبات احیاء شده گوگرد می‌باشد (Kelly و Harrison، ۱۹۸۹).

۵-۱-۲- عوامل مؤثر بر اکسایش گوگرد در خاک

مهمترین عوامل مؤثر بر اکسیداسیون گوگرد را به صورت زیر می‌توان بر شمرد:

۱- میزان عناصر غذایی موجود در خاک (سطح حاصلخیزی خاک): میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد عمدتاً به همان عناصر غذایی مورد نیاز گیاه (احتمالاً به اضافه چند عنصر دیگر) نیازمند هستند و همواره بین گیاه و میکروارگانیسم‌ها در جذب آب و مواد غذایی رقابت وجود دارد. گاهی در اثر افزودن گوگرد به خاک و افزایش فعالیت اکسیدکنندگان گوگرد، به دلیل مصرف نیتروژن علائم کمبود این عنصر به طور موقت در گیاهان ظاهر می‌شود (Tisdale و همکاران، ۱۹۸۴).

اکسایش گوگرد در خاک‌هایی که کودهای فسفری و پتاسیمی دریافت کرده‌اند، نسبت به خاک‌های فقیر از لحاظ فسفر و پتاسیم سریعتر می‌باشد. اگر گوگرد با کودهای دیگر به خاک اضافه شود، اکسیداسیون آن سریعتر از زمانی است که به تنهایی مصرف شود. بر اساس نتایج حاصل از یک بررسی، وقتی گوگرد همراه با کودهای سوپر فسفات تریپل و فسفات آمونیم مصرف شود، اکسیداسیون آن نسبت به زمانی که به تنهایی مصرف می‌شود، سریعتر خواهد بود. محققین تأثیر مصرف کودهای مختلف در افزایش اکسیداسیون گوگرد را به اثرات مفید عناصر غذایی پتاسیم،کلسیم، نیتروژن و فسفر موجود در کودها، ایجاد شرایط رطوبتی مناسب در اطراف کودها و همچنین کاهش pH خاک در اثر انحلال برخی از کودها و در نتیجه افزایش فعالیت اکسیدکنندگان اسید دوست، مرتبط دانسته اند (Deluca و همکاران، ۱۹۸۹).

۲ - مقدار مصرف گوگرد: افزایش مقدار گوگرد مصرف شده، معمولاً تأثیری بر درصد گوگرد اکسید شده ندارد ولی مقدار گوگرد اکسید شده را می‌تواند تا حدی افزایش دهد. بنابراین در موارد خاص، اکسیداسیون کند دانه‌های درشت گوگرد را می‌توان با افزایش مقدار مصرف جبران کرد، زیرا هر قدر مقدار گوگرد مصرف شده افزایش یابد، سطحی که در معرض استفاده میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد قرار می‌گیرد نیز بیشتر می‌شود و این امر افزایش اکسیداسیون گوگرد را به دنبال خواهد داشت (Stevenson، ۱۹۸۶). البته

در خاک‌هایی که خاصیت بافری کمی دارند این مسئله ممکن است برعکس باشد و با افزایش مقدار گوگرد مصرف شده، درصد اکسایش گوگرد کاهش یابد (بشارتی، ۱۳۷۹).

۳- نحوه مخلوط کردن گوگرد با خاک: نحوه مصرف گوگرد در خاک از جمله عواملی است که میزان و سرعت اکسیداسیون گوگرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مخلوط کردن گوگرد با خاک نسبت به روش نواری یا روش پخش در سطح خاک، برتری دارد. مخلوط کردن و توزیع یکنواخت گوگرد در خاک به چند دلیل باعث افزایش سرعت اکسیداسیون آن می‌شود:

الف) قابلیت دسترسی گوگرد برای میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد بیشتر می‌شود و گوگرد به راحتی در اختیار میکروارگانیسم‌هایی که در قسمت‌های مختلف خاک هستند، قرار می‌گیرد.

ب) شرایط رطوبتی مناسب‌تری برای اکسیداسیون گوگرد در خاک فراهم می‌شود.

ج) مخلوط کردن یکنواخت گوگرد با خاک باعث افزایش سطح تماس آن با ذرات خاک می‌شود. این موضوع در خنثی نمودن اثرات سوء اسید حاصل از اکسایش گوگرد مؤثر است (Tabatabai، ۱۹۸۶؛ Stevenson، ۱۹۸۶).

۴- درجه حرارت: از آنجا که اکسیداسیون گوگرد در خاک یک فرآیند بیولوژیک است، افزایش درجه حرارت تا حدی که با افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده همراه باشد، باعث افزایش میزان اکسیداسیون گوگرد می‌شود. اکسایش گوگرد در دمای بین ۴ تا ۵۵ درجه سانتی‌گراد صورت می‌گیرد. در دماهای کمتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد اکسیداسیون گوگرد کند بوده و در دماهای بالا به علت مرگ میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده، اکسایش گوگرد متوقف می‌شود. بهترین درجه حرارت برای اکسایش گوگرد در خاک، دمای ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد است (Wainwright، ۱۹۸۴).

۵- تهویه و رطوبت خاک: با افزایش رطوبت خاک خشک، اکسیداسیون گوگرد افزایش یافته و به حد مطلوب می‌رسد، سپس با افزایش مجدد رطوبت به دلیل کاهش اکسیژن در منافذ خاک، از سرعت اکسایش گوگرد کاسته می‌شود. در رطوبت‌های کمتر از ظرفیت زراعی به دلیل محدودیت آب برای میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده و در رطوبت‌های بالاتر به واسطه کمی اکسیژن در خاک، اکسیداسیون گوگرد کاهش می‌یابد (بشارتی، ۱۳۷۹).

۶- pH خاک: سولفاتی شدن گوگرد بر خلاف نیتراتی شدن نیتروژن از نظر pH محدودیتی ندارد، زیرا اکسیداسیون گوگرد در خاک‌هایی با pH بین ۲ تا ۹ قابل انجام است (Janzen و Bettany، ۱۹۸۷).

۷- مواد آلی: مواد آلی با بهبود خواص فیزیکی (تهویه، نفوذپذیری خاک، ظرفیت نگهداری رطوبت) و خواص شیمیایی خاک (ظرفیت تبادل کاتیونی، خاصیت بافری خاک و...) باعث افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها و افزایش اکسیداسیون گوگرد می‌شوند. به‌طورکلی درجه تأثیر مواد آلی در افزایش

اکسیداسیون گوگرد به نوع میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده نیز بستگی دارد، هر قدر جمعیت میکروارگانیسم‌های هتروتروف اکسیدکننده گوگرد نسبت به اتوتروف‌های اکسید کننده گوگرد بیشتر باشد، تأثیر افزودن مواد آلی در تشدید اکسیداسیون گوگرد بیشتر خواهد بود. زیرا در اثر فراوانی مواد آلی (سوبسترا مورد نیاز هتروتروف‌ها) تعداد و شدت فعالیت انواع هتروتروف نیز افزایش می‌یابد، درحالی‌که جمعیت انواع اتوتروف تغییر چندانی نمی‌کند.

۸- اندازه ذرات گوگرد: حلالیت ذرات گوگرد در آب بسیار کم می‌باشد و تماس مستقیم سلول میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد با ذرات گوگرد برای اکسیداسیون آن ضروری است، بنابراین سطح ویژه ذرات گوگرد کنترل کننده میزان اکسایش آن می‌باشد. اکسایش ذرات گوگرد با کاهش قطر ذرات به طور نمایی افزایش می‌یابد. با کاهش قطر و افزایش سطح ویژه ذرات گوگرد، مقدار گوگرد اکسید شده به طور خطی افزایش می‌یابد (McCaskill و Blair، ۱۹۸۷؛ Janzen و Bettany، ۱۹۸۷).

۹- شوری خاک: شوری خاک به دو علت باعث کاهش سرعت اکسیداسیون گوگرد در خاک می‌گردد:

الف) شوری باعث افزایش پتانسیل (اسمزی) آب در خاک شده و قابلیت دسترسی آب برای میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده را کاهش می‌دهد.

ب) غلظت زیاد آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود در خاک شور با اثرات سمی که روی میکروارگانیسم‌ها دارد، فعالیت آنها را کند یا متوقف ساخته و بر سرعت اکسایش گوگرد اثر منفی می‌گذارد (بشارتی، ۱۳۷۹).

۱۰- آفت‌کش‌ها: به طور کلی آفت‌کش‌ها برحسب نوع ترکیبات شیمیایی که در خود دارند، اثرات متفاوتی را بر اکسیداسیون گوگرد اعمال می‌کنند. برخی از آفت‌کش‌ها دارای گوگرد هستند و به راحتی در خاک تجزیه می‌شوند، در حالی‌که گروهی دیگر اثر سمی روی میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد داشته و به سهولت قابل تجزیه نیستند (بشارتی، ۱۳۷۹).

۱۱- تلقیح خاک با باکتری‌های تیوباسیلوس: باکتری‌های تیوباسیلوس مهمترین اکسیدکنندگان گوگرد در خاک به‌شمار می‌روند. تلقیح خاک با این باکتری‌ها باعث افزایش سرعت اکسیداسیون گوگرد خواهد شد. در یک بررسی مشخص شد که میزان اکسیداسیون گوگرد در خاک‌های تلقیح شده با باکتری‌های تیوباسیلوس حدود ۱۱ برابر بیشتر از خاک‌های تلقیح نشده است. در شرایط مزرعه گاهی تلقیح، کمتر مؤثر واقع می‌شود زیرا اکثر خاک‌های زراعی دارای میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد هستند ولی تعداد این میکروارگانیسم‌ها به دلیل فقدان ترکیبات گوگردی ناچیز است. مصرف گوگرد موجب افزایش تعداد آنها و بالارفتن توان اکسایش در خاک می‌شود، بنابراین اختلاف تیمارهای تلقیح شده و نشده در بعضی موارد چندان چشمگیر نیست (Tisdale و همکاران، ۱۹۸۴).

۲-۲- اثرات اکسایش گوگرد در خاک

۲-۲-۱- افزایش حلالیت عناصر غذایی در خاک‌های آهکی

رویاندن گیاه و تولید محصول در خاک‌های آهکی و خاک‌هایی که دارای pH بالایی هستند، همواره با مشکلاتی مواجه بوده است. بخش مهمی از این مشکلات از آنجا ناشی می‌شود که در این خاک‌ها به دلیل وجود pH بالا و غلظت زیاد یون کلسیم، عناصر غذایی که قابلیت جذب آنها وابسته به pH است، مانند فسفر و همچنین برخی از عناصر کم مصرف، تثبیت شده و از دسترس گیاه خارج می‌شوند (Deluca و همکاران، ۱۹۸۹؛ Pathiratn و همکاران، ۱۹۸۹؛ Rosa و همکاران، ۱۹۸۹).

در بین موادی که برای اسیدی کردن خاک به‌کار می‌روند، گوگرد متداولترین و مقرون به صرفه‌ترین آنها می‌باشد (Tisdale و همکاران، ۱۹۸۴). استفاده از گوگرد برای کاهش pH خاک‌های قلیایی، افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی، تأمین سولفات برای گیاه و کنترل بعضی از بیماری‌ها از دیر باز مورد توجه محققین بوده است.

کلباسی و همکاران (۱۹۸۸) به منظور بررسی اثر گوگرد در جذب آهن، روی و منگنز به وسیله سه گیاه ذرت، سورگوم و سویا در یک خاک لوم رسی با ۴۰ درصد آهک یک آزمایش مزرعه‌ای انجام دادند. در این تحقیق مقادیر ۰، ۱۰۰ ، ۲۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد پودری را قبل از کشت به خاک اضافه کردند. نتایج نشان داد که مصرف گوگرد نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری، pH و غلظت بی‌کربنات خاک را کاهش داده و میزان آهن، منگنز و روی قابل استخراج با DTPA را در خاک افزایش داد. همچنین میزان عملکرد، مقدار آهن و روی جذب شده توسط گیاهان نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشته و در تمام تیمارها به غیر از شاهد، کلروز ناشی از کمبود آهن برطرف شد. نتایج، گویای این مطلب است که مصرف گوگرد برای برطرف کردن کلروز آهن و افزایش محصول در خاک‌های آهکی مؤثر می‌باشد.

میلر[1](۱۹۶۵) در یک آزمایش گلخانه‌ای اثرات سولفات کلسیم و گوگرد را بر قابلیت استفاده فسفر خاک فسفات مقایسه کرد و به این نتیجه رسید که سولفات‌کلسیم بر رشد شبدر اثر مشخصی نداشته درحالی‌که مصرف گوگرد به میزان ۶۰۰ تا ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌طور قابل توجهی باعث افزایش محصول و میزان فسفر جذب شده در شبدر گردید.

در تحقیقی مشابه میلر (۱۹۶۵) اثر مصرف گوگرد در کاهش pH خاک را در گلخانه بررسی کرد و دریافت که مصرف ۶۰۰ تا ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد می‌تواند پس از ۵ سال pH خاک را از ۸/۰۳ به ۵/۴۸ کاهش دهد. به منظور بررسی اثرات گوگرد در افزایش قابلیت جذب عناصر در خاک‌های آهکی

[1] Miller

استرالیا و آمریکا بررسی‌های زیادی انجام شده است. در یکی از این بررسی‌ها، با مصرف گوگرد مقدار عملکرد سورگوم تا ۴۲۰ درصد افزایش یافت (جدول۱) (Miller، ۱۹۶۵).

جدول۲-۱- تأثیر مصرف گوگرد عنصری بر مقدار عملکرد سورگوم در یک خاک آهکی (Miller، ۱۹۶۵)

سال	مقدارمصرف (پوند بر ایکر)	محصول بدون مصرف گوگرد (بوشل بر ایکر)	محصول با مصرف گوگرد	افزایش عملکرد در اثر مصرف گوگرد	درصد افزایش
۱۹۶۶	۱۰۰۰	۱۵	۵۳	۳۸	۲۵۳/۳
۱۹۶۶	۴۰۰۰	۱۵	۷۸	۶۳	۴۲۰/۰
۱۹۶۷	۱۰۰۰	۳۶	۵۱	۱۵	۴۱/۶
۱۹۶۷	۴۰۰۰	۳۶	۵۶	۲۰	۵۵/۵

در مرکز پژوهش وزارت نفت ایران اثر مصرف گوگرد بر اصلاح خاک‌های قلیایی مورد بررسی قرار گرفت و تأثیر مقادیر مختلف گوگرد بر pH خاک و قابلیت جذب فسفر در خاک ارزیابی شد. نتایج نشان دادند که افزودن ۲ تن در هکتار گوگرد عنصری باعث کاهش pH خاک شده و به‌طور همزمان مقدار فسفر قابل جذب خاک، بدون افزودن کودهای فسفری تا حد قابل توجهی متناسب با نیاز گیاه، افزایش یافت (بشارتی، ۱۳۷۷).

خان و همکاران[1] (۱۹۸۶) در یک آزمایش با مصرف پنج سطح گوگرد (۰، ۹، ۱۸، ۲۷ و ۶۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در دو سال متوالی در یک خاک آهکی به این نتیجه رسیدند که اضافه کردن گوگرد به خاک سبب افزایش عملکرد علوفه به میزان ۴۱ تا ۷۸ درصد شده و میزان پروتئین آن ۸۰ تا ۱۲۳ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت.

مدیهش و همکاران[2] (۱۹۸۹) به منظور بررسی اثر گوگرد بر خصوصیات شیمیایی و قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک‌های آهکی، آزمایش گلخانه‌ای را انجام دادند. در این آزمایش به سه خاک آهکی که از نظر بافت، مقدار آهک، میزان فسفر و عناصر کم مصرف با یکدیگر تفاوت داشتند، معادل ۰/۵، ۱/۵ و ۳ درصد وزنی خاک گوگرد به خاک اضافه شد. ستون‌های خاک در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد

[1] Khan *et al.*,
[2] Modaihsh *et al.*,

انکوباسیون شدند و پس از ۳، ۶، ۹ و ۱۸ هفته جهت اندازه‌گیری عناصر غذایی و خصوصیات شیمیایی خاک از آنها نمونه‌برداری شد. میزان EC، pH و سولفات محلول و همچنین مقدار آهن، روی، مس، منگنز و فسفر قابل دسترس موجود در خاک‌ها اندازه‌گیری شدند. نتایج این تحقیق نشان داد که مصرف ۰/۵ درصد گوگرد در هر سه نوع خاک، pH را به طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش داد. همچنین میزان سولفات محلول،EC، آهن، منگنز، مس و فسفر قابل دسترس نیز نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند ولی در میزان روی قابل دسترس خاک تأثیری نداشت. این محققین اظهار داشتند که تغییر قابلیت دسترسی عناصر غذایی به مقدار آهک و نسبت آهک به رس در خاک بستگی دارد. در خاک‌هایی که آهک و نسبت آهک به رس کمتری داشتند، تأثیر مصرف گوگرد بیشتر نمایان بود. در خاک‌هایی که خاصیت بافری بالاتری داشته‌اند، مقدار آهن و مس فقط در سطوح بالای گوگرد به طور معنی داری افزایش یافت.

سیفوئنتز و لیندمن[1](۱۹۹۳) تأثیر مصرف گوگرد عنصری همراه با مواد آلی را بر قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک‌های آهکی در شرایط گلخانه و مزرعه مورد بررسی قرار دادند. میزان آهک در خاک گلخانه‌ای ۱۱/۲ درصد و در خاک مزرعه ۲۲/۵ درصد بود. در آزمایش گلخانه‌ای مقدار ۲/۵ گرم گوگرد و ۶ گرم کربن آلی به هر کیلوگرم خاک اضافه شدند، گوگرد اضافه شده به صورت پودری (۴۲۵ میکرون) و کربن آلی اضافه شده به خاک به صورت گلوکز، نشاسته، سلولز و خاک اره بودند. گلدان‌هایی که حاوی ۶۵۰ گرم خاک بودند به مدت ۹۴ روز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. در تیمارهای حاوی مواد آلی و گوگرد pH، ۰/۲۴ واحد نسبت به تیمارهای حاوی گوگرد کاهش یافت و میزان EC خاک ۰/۴۲ dS/m و سولفات خاک ۲۴۶ میکروگرم بر گرم افزایش یافت.

افزودن مواد آلی باعث افزایش فعالیت هتروتروف‌های اکسیدکننده گوگرد شده و افزایش تعداد آنها را به‌دنبال داشت، در حالی‌که تعداد شیمیولیتوتروف‌های اکسیدکننده ثابت ماند و یا کاهش پیدا کرد، که این امر به حالت بازدارندگی مواد آلی بر فعالیت این باکتری‌ها، نسبت داده شد.

پپر و میلر[2](۱۹۷۸) نیز در طی آزمایشات مشابه، نظیر همین نتایج را بدست آوردند. در آزمایش مزرعه‌ای مقدار ۱۵ گرم ماده آلی به صورت کمپوست کود اسبی، کود گاوی تازه و کود سبز برموداگراس و میزان ۵ گرم گوگرد به هر کیلوگرم خاک اضافه شد. پس از اعمال تیمارها و گذشت ۲۷۰ روز، نتایج آزمایش نشان داد که مصرف توأم گوگرد و مواد آلی در خاک، pH خاک را ۰/۱۶ واحد کاهش داده و میزان شوری خاک ۰/۴۸ dS/m و سولفات محلول ۱۴۵۵ میکروگرم بر گرم افزایش یافت. بر اساس همین نتایج در آزمایش گلخانه‌ای ۲۰ درصد و در آزمایش مزرعه‌ای ۲۲ درصد گوگرد مصرف شده به سولفات تبدیل شد و درصد آهک خنثی شده در آزمایش گلخانه‌ای فقط ۲/۳ درصد و در آزمایش مزرعه‌ای ۵/۱ درصد بوده است.

[1] Cifuentes and Lindemann
[2] Pepper and Miller

در آزمایش گلخانه‌ای میزان منگنز و آهن افزایش یافت ولی میزان فسفر و روی قابل دسترس تغییری نکرد. در آزمایش مزرعه‌ای فقط میزان منگنز به طور معنی‌داری افزایش نشان داد (Cifuentes و Lindemann، ۱۹۹۳).

کاپلان و ارمان[1] (۱۹۹۸) در یک خاک آهکی (pH =۷/۸۸ و ٪۳۷/۳ = $CaCO_3$) پس از افزودن مقادیر ۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار، در گلدان‌های ۵ کیلوگرمی، سورگوم کشت نمودند. نتایج آزمایش آنها نشان داد که مصرف گوگرد تأثیر معنی‌داری در کاهش pH خاک و افزایش قابلیت جذب فسفر دارد. به‌طوری‌که در تیمارهای مذکور pH خاک به ترتیب ۷/۹۰، ۷/۶۷، ۷/۶۲، ۷/۵۵ و مقدار فسفر قابل جذب خاک ۲/۴۵، ۳/۵۱، ۴/۰۵ و ۳/۴۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بودند. آهن و روی قابل جذب خاک در نتیجه مصرف گوگرد افزایش معنی‌داری نشان ندادند، درحالی‌که مس و منگنز قابل جذب خاک در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌دار افزایش یافتند. کاهش pH و افزایش قابلیت جذب فسفر و عناصر کم مصرف در تیمارهای حاوی گوگرد، وزن خشک و جذب عناصر غذایی را در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری افزایش داد. در تیمارهای مذکور وزن خشک سورگوم به ترتیب ۵/۴۶، ۱۰/۰۷، ۱۰/۴۴ و ۸/۰۱ گرم در گلدان، فسفر جذب شده ۸/۳۵، ۱۳/۸۴، ۱۳/۵۷ و ۱۱/۱۳، آهن جذب شده ۰/۳۹، ۰/۶۳، ۱/۰۷ و ۰/۶۱، روی جذب شده ۰/۶۲، ۰/۸۱، ۰/۸۹ و ۰/۷۴، مس جذب شده ۰/۰۹، ۰/۲، ۰/۲ و ۰/۱۶ و منگنز جذب شده نیز ۰/۳۷، ۰/۶۷، ۰/۶۹ و ۰/۵۵ میلی‌گرم در گلدان بودند. در تمام موارد مذکور، مصرف گوگرد در مقایسه با شاهد باعث افزایش معنی‌دار شاخص‌های اندازه‌گیری شده گردید.

در یک بررسی مشابه که در خاک آهکی (pH= ۸ و ٪۴۰ = $CaCO_3$) صورت گرفت، مقادیر ۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به خاک مزرعه اضافه و سورگوم، سویا و ذرت کشت گردیدند. مصرف گوگرد در مقایسه با شاهد pH و بی‌کربنات خاک را به‌طور معنی‌داری کاهش ولی آهن، روی و منگنز قابل جذب خاک را افزایش داد. به‌طوری‌که در تیمارهای مذکور pH خاک به ترتیب ۸/۱، ۷/۸، ۷/۷ و ۷/۷، غلظت بی‌کربنات در عصاره اشباع خاک ۳/۸، ۲/۵، ۲/۲ و ۲/۳ میلی‌مول در لیتر، آهن قابل جذب خاک ۳/۳، ۴/۷، ۴/۹ و ۵/۲، منگنز قابل جذب ۵/۷، ۷/۷،۰/۳ و ۸/۸ و روی قابل جذب خاک نیز ۰/۴، ۰/۶، ۰/۶ و ۰/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بودند. کاهش pH و افزایش حلالیت عناصر کم مصرف، ضمن رفع کلروز در گیاهان باعث افزایش جذب عناصر غذایی و در نتیجه افزایش وزن خشک گیاهان گردید. در تیمارهای ۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار، وزن خشک سورگوم به‌ترتیب ۵۱/۹۶، ۶۴/۸، ۶۸/۴ و ۷۰/۹، وزن خشک ذرت ۸۲/۶، ۸۳/۸، ۹۳/۲ و ۱۰۳/۶ و عملکرد دانه سویا ۲/۶۸، ۳/۲، ۳/۳ و۳/۳ کیلوگرم در هر کرت بودند. در هر سه محصول، جذب آهن و روی در اثر مصرف گوگرد در مقایسه با شاهد به طور معنی‌دار افزایش، در

[1] Kaplan and orman

حالی‌که جذب منگنز کاهش یافت. با توجه به نتایج آزمایش، مصرف گوگرد یک روش مؤثر و ارزان برای رفع کلروز، افزایش جذب عناصر غذایی و افزایش عملکرد در خاک‌های آهکی معرفی گردید (Kalbasi و همکاران، ۱۹۸۸).

جاجی[1] و همکاران (۲۰۰۵)، تأثیر کاربرد گوگرد عنصری را در سه رژیم رطوبتی مختلف (۴۰، ۶۰ و ۱۲۰٪) و سه رژیم دمایی متفاوت (۱۲، ۲۴ و ۳۶ درجه سانتی‌گراد) بر تغییرات pH و قابلیت دسترسی فسفر در سه نوع خاک، اسیدی (pH=۴/۹)، خنثی (pH=۷/۱) و قلیایی (pH=۱۰/۲) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که اکسیداسیون گوگرد باعث کاهش pH خاک قلیایی گردید و در نتیجه باعث افزایش غلظت فسفر قابل دسترس شد. اکسیداسیون گوگرد وابسته به رطوبت و دمای خاک می‌باشد و می‌تواند باعث اصلاح pH خاک و غلظت فسفر قابل دسترس گردد. کاهش pH خاک در خاک قلیایی بدون گوگرد، در شرایط غرقاب بیشترین مقدار بود و در خاک آهکی با گوگرد در شرایط رطوبتی ۶۰٪ در مرحله‌ای که اکسیداسیون گوگرد سریع بود، باعث بهبود شرایط خاک جهت دسترسی به عناصر گردید.

۲-۲-۲- تأمین سولفات مورد نیاز گیاه

فرسایش، آبشویی، کاهش مواد آلی خاک و جذب سولفات توسط گیاهان و میکروارگانیسم‌ها باعث کاهش ذخیره سولفات خاک می‌شوند. طی چند دهه اخیر استفاده از ارقام پر محصول، کشت و کار مداوم و مصرف کودهای بدون گوگرد، کاهش سولفات خاک را تشدید نموده‌اند به طوری که در بسیاری از خاک‌ها، گوگرد به عامل محدود کننده تغذیه گیاه تبدیل شده است (Shock و همکاران، ۱۹۸۴؛ Singh و همکاران، ۱۹۹۱).

در چنین شرایطی استفاده از گوگرد عنصری و اکسایش آن توسط میکروارگانیسم‌ها با تأمین سولفات مورد نیاز گیاه، باعث افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات می‌گردد.

سینگ[2] و همکاران (۱۹۹۱) در یک آزمایش گلخانه‌ای در خاکی که pH آن ۸ و سولفات قابل جذب آن ۹ میلی‌گرم در کیلوگرم بود، تأثیر سطوح مختلف گوگرد عنصری را بر عملکرد و جذب سولفات در عدس بررسی نمودند. عملکرد دانه عدس در تیمارهای ۱۲/۵، ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم گوگرد در کیلوگرم نسبت به شاهد به‌ترتیب ۷/۴، ۱۶/۸ و ۱۱/۷ درصد افزایش یافت. این ارقام در مورد عملکرد کاه به ترتیب ۷/۹، ۱۴/۴ و ۷/۹ درصد بودند. مصرف گوگرد جذب سولفات در عدس را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد و تفاوت بین سطوح گوگرد نیز از لحاظ آماری معنی‌دار بود. به‌طوری‌که مقدار سولفات جذب شده در کاه

[1] Jaggi
[2] Singh

عدس در تیمارهای ۰، ۱۲/۵، ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم گوگرد در کیلوگرم به‌ترتیب ۵/۲، ۶/۳، ۷/۷ و ۷/۹ میلی‌گرم در گلدان بودند درحالی‌که این ارقام در مورد سولفات جذب شده توسط دانه عدس ۷/۷، ۹/۰، ۱۰/۳ و ۱۰/۶ میلی‌گرم در گلدان گزارش شدند. بیشترین عملکرد و جذب سولفات در کاه و دانه عدس با مصرف ۲۵ میلی‌گرم گوگرد در کیلوگرم خاک حاصل گردید.

سینگ و چائوداری[1](۱۹۹۷) کلروز و کاهش محصول بادام زمینی کشت شده در خاک‌های آهکی را ناشی از کمبود گوگرد و عناصر کم مصرف دانستند، لذا در یک خاک آهکی (pH=۷/۶ و ۱۸/۴٪ = $CaCO_3$) تأثیر مصرف گوگرد (۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار)، کلریدآهن، روی و منگنز (۲، ۴ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار) را بر بادام زمینی در شرایط مزرعه بررسی نمودند. مصرف گوگرد عملکرد بادام زمینی را در مقایسه با شاهد ۸/۶ تا ۹/۸ درصد افزایش داد. به‌علاوه وزن غده، ارتفاع بوته، وزن غلاف و درصد روغن نیز در نتیجه مصرف گوگرد در مقایسه با شاهد بدون گوگرد به‌طور معنی‌دار افزایش یافتند (جدول۲). مقدار گوگرد جذب شده در بادام زمینی در سال اول در دو تیمار شاهد و ۲۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به‌ترتیب ۸/۶ و ۹/۳ و در سال دوم ۸/۵ و ۹/۱ کیلوگرم در هکتار بودند. با عنایت به این‌که مقدار سولفات خاک کمتر از حد بحرانی برای بادام زمینی بوده، احتمالاً بخش زیادی از پاسخ گیاه، به جذب سولفات مربوط می‌شود.

جدول۲-۲- تأثیر مصرف گوگرد بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده در بادام زمینی در طی دو سال آزمایش (Singh و Chaudhari، ۱۹۹۷)

گوگرد	وزن غلاف	روغن	ارتفاع بوته	وزن غده	عملکرد
	کیلوگرم در هکتار		سانتیمتر	گرم در متر مربع	
سال اول					
۰	۱۱۰۹	۳۷۶	۶۸	۳/۰۳	۳۹۰
۲۰	۱۲۰۴	۴۰۹	۷۳	۴/۵۰	۴۳۵
LDS (۰/۰۵)	۲۵	۲۹	۲/۱	۰/۲۲	۲۳
سال دوم					
۰	۱۲۹۴	۴۳۹	۴۲	۲/۹۴	۳۴۰
۲۰	۱۴۲۱	۵۰۵	۴۳	۳/۱۴	۳۵۷
LDS (۰/۰۵)	۳۸	۳۶	۱	۰/۱۴	۱۶

[1] Singh and Chaudhari

کوچار[1] و همکاران (۱۹۹۰) مقادیر ۰، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌گرم گوگرد را به سه کیلوگرم خاکی که pH آن ۷/۸ و سولفات قابل جذب آن ۴/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بود، اضافه کردند. عملکرد ذرت که در تیمار شاهد بدون گوگرد ۶/۴ گرم در گلدان بود، در تیمارهایی که گوگرد دریافت کرده بودند به‌طور متوسط به ۱۳/۶ گرم در گلدان رسید. بیشترین عملکرد ذرت (۱۴/۹۵ گرم در گلدان) با مصرف ۳۰ میلی‌گرم گوگرد در گلدان حاصل شد و مصرف مقادیر بیشتر گوگرد تأثیری در افزایش عملکرد نداشت. جذب سولفات توسط گیاه نیز با افزایش مقادیر گوگرد، به‌طور معنی‌داری افزایش یافت به‌طوری‌که مقدار سولفات جذب شده توسط ذرت در تیمارهای ۰، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌گرم گوگرد به‌ترتیب ۲/۵، ۱۲/۴، ۱۳/۳ و ۱۸/۱ میلی‌گرم در گلدان بودند.

سینگ و چهیبا[2] (۱۹۹۱) در دو آزمایش جداگانه که در گلخانه انجام شد، ۲۰ میلی‌گرم گوگرد از منابع سولفات‌آمونیم، سوپرفسفات‌ساده، گچ، گوگرد عنصری و پیریت را به خاک افزوده و در یک سری از گلدان‌ها ذرت و در سری دوم گندم کشت کردند. نتایج آزمایش آنها نشان داد که مصرف ۲۰ میلی‌گرم گوگرد در مقایسه با شاهد عملکرد و مقدار سولفات جذب شده توسط ذرت را به ترتیب ۴۰ تا ۶۰ و ۳۶ تا ۶۶ درصد افزایش داد. در گندم نیز عملکرد ۲۴/۳ تا ۷۱ درصد و مقدار گوگرد جذب شده ۳۳ تا ۸۲ درصد افزایش یافتند، محققین مذکور افزایش عملکرد و گوگرد جذب شده را به افزایش گوگرد قابل جذب خاک مرتبط دانستند. در هر دو محصول، سولفات آمونیم بیشترین و پیریت کمترین تأثیر را در افزایش عملکرد و جذب سولفات ایجاد نمودند (جدول ۳). این درحالی بود که تأثیر گوگرد عنصری معادل گچ و سوپرفسفات ارزیابی گردید.

جدول ۲-۳- مقایسه کارایی گوگرد عنصری با گچ، پیریت و سوپر فسفات ساده از لحاظ جذب سولفات و عملکرد ذرت و گندم (Sing و Chhibba، ۱۹۹۱)

نوع کود*	گندم		ذرت	
	سولفات جذب شده (میلی‌گرم در گلدان)	عملکرد (گرمدر گلدان)	سولفات جذب شده (میلی‌گرم در گلدان)	عملکرد (گرم در گلدان)
شاهد	۱۱/۴	۱۰/۷	۱۳/۴	۹/۶
سولفات آمونیوم	۲۰/۸	۱۸/۳	۲۲/۳	۱۵/۴
سوپرفسفات	۱۶/۵	۱۶/۰	۱۹/۵	۱۴/۴

[1] Kochar
[2] Sing and Chhibba

گچ	۱۵/۷	۱۴/۳	۱۹/۱۴	۱۴/۰
گوگرد عنصری	۱۵/۱	۱۳/۳	۱۸/۳	۱۳/۶
پیریت	۱۵/۲	۱۳/۷	۱۶/۴	۱۳/۴
LSD (۰/۰۵)	۳/۶	۲/۰	۴/۲	۱/۹

*مقدار کودهای مصرفی معادل ۲۰ میلی‌گرم گوگرد در کیلوگرم خاک می‌باشد.

دوبی و بیر[1](۱۹۹۵) به منظور بررسی تأثیر مصرف گوگرد بر عملکرد، تثبیت نیتروژن و تعداد غده در سویا، مقادیر ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار را در یک خاک آهکی به کار بردند. وزن خشک سویا در دو تیمار ۰ و ۱۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار با هم تفاوت معنی‌دار نداشتند. در حالی‌که تیمارهای ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۱۷/۴۴، ۲۹/۶۵، ۲۹/۹ و۳۲/۳۲ درصد وزن خشک گیاه را افزایش دادند.

شرر و لانک[2](۱۹۹۶) در یک بررسی گلدانی اثر مقادیر ۰، ۲/۵ و ۲۰ میلی‌گرم گوگرد در کیلوگرم، بر عملکرد، جذب نیتروژن و احیاء استیلن لگوم‌هایی از قبیل ماش، شبدر، یونجه و نخود را مثبت ارزیابی نمودند. بیشترین وزن خشک اندام هوایی گیاهان از تیمار ۲۰ میلی‌گرم گوگرد در کیلوگرم خاک حاصل شد. در این بررسی تعداد غده‌های تثبیت کننده نیتروژن و مقدار احیاء استیلن با افزایش گوگرد در گیاهان همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان دادند.

۳-۲-۲- نقش باکتری‌های تیوباسیلوس در تشدید اکسایش گوگرد (افزایش حلالیت عناصر)

در بسیاری از مناطق دنیا (نیوزلند، سریلانکا، استرالیا و...) جهت افزایش بازدهی کودهای فسفری، آنها را با گوگرد مخلوط می‌کنند. گاهی اکسیداسیون گوگرد در خاک کند بوده و جهت تشدید آن از میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد (به‌ویژه تیوباسیلوس‌ها) استفاده می‌شود، مثلاً در سریلانکا که دارای معادن فراوان آپاتیت می‌باشد، از مخلوط کردن آپاتیت، گوگرد و باکتری‌های تیوباسیلوس یک کود فسفری به نام بیوسوپر[3] تولید می‌کنند که اثر آن معادل با کود سوپرفسفات می‌باشد (Pathiratna و همکاران، ۱۹۸۹).

در تحقیقی عوامل مؤثر بر میزان اکسیداسیون گوگرد در خاک‌هایی که با گوگرد عنصری و سنگ فسفات تیمار شده بودند، بررسی شدند. در این تحقیق یک سری از خاک‌ها با باکتری‌های تیوباسیلوس

[1] Dubey and Biore
[2] Scherer and Longe
[3] Biosuper

تلقیح و سری دیگر به عنوان شاهد تلقیح نشده باقی ماندند. سوسپانسیون خاکی که قبلاً با گوگرد تیمار شده و غنی از باکتری‌های تیوباسیلوس بود به عنوان مایه تلقیح استفاده شد.

نتایج این بررسی نشان داد که پس از دو هفته انکوباسیون، مقدار گوگرد اکسید شده در خاک‌های تلقیح شده ۱۱ برابر بیشتر از خاک‌های تلقیح نشده است و پس از چهار هفته میزان اکسیداسیون گوگرد در خاک‌های تلقیح نشده ۲۳ درصد و در خاک‌های تلقیح شده ۵۴ درصد تعیین شد. تعداد و نوع باکتری‌های تیوباسیلوس موجود در خاک‌ها عامل ایجاد اختلاف در میزان اکسیداسیون گوگرد ذکر گردید. این بررسی همچنین نشان داد که عملکرد و مقدار فسفر جذب شده به‌وسیله گیاه چاودار، به نسبت سنگ فسفات به گوگرد بستگی دارد و چون مقدار فسفر آزاد شده از سنگ فسفات به مقدار اکسیداسیون گوگرد و اسید سولفوریک تولید شده بستگی دارد، بنابراین میزان عملکرد و فسفر جذب شده با نسبت سنگ فسفات به گوگرد رابطه معکوس داشت (Attoe و Olson، ۱۹۶۶).

کیتامز و آتو[1](۱۹۶۵) در یک آزمایش گلخانه‌ای امکان استفاده از مخلوط سنگ فسفات و گوگرد را به عنوان کود فسفری مورد بررسی قرار دادند. در این آزمایش گوگرد و سنگ فسفات با نسبت‌های مختلف با یکدیگر مخلوط شده و به صورت پودر یا گرانول به خاک اضافه شدند. تیمارهای دیگر شامل کود سوپر فسفات و تلقیح با باکتری‌های تیوباسیلوس بودند. پس از اعمال تیمارها تعداد ۵۰ عدد بذر چاودار در هر گلدان کاشته شد. پس از ۸ هفته گیاهان برداشت شده و میزان عملکرد و فسفر جذب شده در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شدند. نتایج این آزمایش نشان داد که مخلوط سنگ فسفات و گوگرد به طور معنی‌داری عملکرد و میزان فسفر جذب شده را در مقایسه با سنگ فسفات تنها، افزایش داد. البته میزان این افزایش در خاک‌هایی که آهک بیشتری داشتند کمتر بود. حداقل مقدار گوگرد اکسید شده (حدود ۱۰ درصد) مربوط به گوگرد گرانوله و حداکثر آن مربوط به گوگرد پودری (۸۲ درصد) بود.

میزان عملکرد و فسفر جذب شده با نسبت سنگ فسفات به گوگرد رابطه عکس نشان دادند. میزان عملکرد در تیمارهای سنگ فسفات، گوگرد و سنگ فسفات، سوپرفسفات نسبت به شاهد به‌ترتیب ۲/۵، ۴/۸ و ۴/۹ برابر افزایش یافت. همچنین مصرف مخلوط سنگ فسفات و گوگرد باعث شد که ۴۹ درصد فسفر مصرف شده، بازیافت شود، میزان این بازیافت در تیمار سنگ فسفات ۲۱ درصد و در تیمار سوپرفسفات ۶۲ درصد بود. تلقیح خاک با باکتری‌های تیوباسیلوس میزان اکسیداسیون را نسبت به تیمارهای تلقیح نشده، ۱۱ برابر افزایش داد (Kittams.و Attoe، ۱۹۶۵).

رزا و همکاران[2](۱۹۸۹) با انجام یک آزمایش گلخانه‌ای در یک خاک اکسی‌سل تأثیر مصرف مخلوط گوگرد و کودهای فسفری، مواد آلی (کمپوست) و تلقیح خاک با باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس[1] بر

[1] Kittams & Attoe
[2] Rosa *et al.*,

عملکرد سورگوم و میزان جذب فسفر توسط آن را مورد بررسی قرار دادند. سنگ فسفات و سوپر فسفات تریپل به نسبت ۵:۱ با گوگرد مخلوط شدند، نتایج نشان داد که تلقیح مخلوط گوگرد و سنگ فسفات با باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس موجب کاهش سریع pH خاک گردید و فسفر قابل دسترس موجود در خاک را به اندازه کافی برای رشد سورگوم افزایش داد، به‌طوری‌که عملکرد سورگوم در این تیمار به اندازه عملکرد حاصل از مصرف کود سوپر فسفات تریپل بود. تیمار حاوی سوپرفسفات‌تریپل+ گوگرد + باکتری چهار برابر تیمار آپاتیت + گوگرد + ماده آلی + تیوباسیلوس فسفر جذب شده را افزایش داد ولی میزان عملکرد این دو تیمار یکسان بود. محققین مذکور نتیجه گرفتند که افزودن سنگ فسفات همراه با گوگرد و باکتری تیوباسیلوس به اندازه کود سوپرفسفات‌تریپل در افزایش عملکرد مؤثر بوده و روشی برای افزایش فسفر خاک بدون استفاده از کودهای فسفری محسوب می‌شود.

مک‌کردی و کروس (۱۹۸۲[2]) یک خاک سولونتزی که قبلاً با گوگرد تیمار شده بود را با باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس[3] و تیوباسیلوس تیواکسیدانس تلقیح کردند، سپس میزان سولفات، pH و مقدار گوگرد اکسید شده در خاکهای تلقیح نشده و تلقیح شده را اندازه‌گیری کردند. نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان داد که در خاک‌های تلقیح شده سولفات محلول و مقدار گوگرد اکسید شده نسبت به خاک‌های تلقیح نشده به طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین کاهش pH در خاک‌های تلقیح شده نسبت به خاک‌های تلقیح نشده معنی‌دار بود .

پتی‌رانتا و همکاران[4](۱۹۸۹) در طی دو آزمایش گلخانه‌ای و یک آزمایش انکوباسیون اثر مخلوط گوگرد و آپاتیت بر رشد و میزان فسفر جذب شده در یک گیاه لگوم را در سریلانکا بررسی کردند. اقتصادی نبودن تولید کودهای فسفری از آپاتیت با درصد فسفر کم از یک سو و مؤثر نبودن مصرف آپاتیت به عنوان کود فسفری از سوی دیگر، محققین مذکور را بر آن داشت تا از مخلوط آپاتیت و گوگرد استفاده کرده و مؤثر بودن آن را به عنوان کود فسفری مورد بررسی قرار دهند.

در آزمایش نخست تیمارها شامل آپاتیت، گوگرد، مخلوط آپاتیت و گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بودند. آپاتیت در سه سطح (۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میکروگرم بر گرم) و گوگرد در سه سطح (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میکروگرم بر گرم) به خاک اضافه شدند. آزمایش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در نه تیمار و سه تکرار در گلخانه انجام شد. نتایج نشان داد که مصرف گوگرد به تنهایی، تأثیر کمی بر عملکرد و فسفر جذب شده و کاهش pH خاک داشت. مصرف آپاتیت به‌طور معنی‌داری عملکرد و فسفر جذب شده را افزایش داد ولی در کاهش pH خاک تأثیری نداشت. مصرف آپاتیت همراه با گوگرد و باکتری تیوباسیلوس به‌میزان قابل

[1] *Thiobacillus thiooxidans*
[2] Mc cready & Krouse
[3] *Thiobacillus thioparus*
[4] Pathiratna *et al.*,

توجهی عملکرد و فسفر جذب شده را افزایش داد، زیرا اکسیداسیون گوگرد توسط تیوباسیلوس‌ها باعث انحلال آپاتیت و آزاد شدن مقدار زیادی فسفر می‌شود.

در آزمایش دوم ۱۰۰۰ میلی‌گرم آپاتیت و ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم گوگرد به هر کیلوگرم خاک اضافه شد. همانند آزمایش اول آپاتیت به‌طور معنی‌داری عملکرد و جذب فسفر را افزایش داد.

در آزمایش سوم (انکوباسیون) پس از اعمال تیمارها مقداری خاک در پلیت‌ها ریخته شد و به مدت ۴۰ روز در رطوبت و حرارت مناسب انکوباسیون شد.

نتایج نشان داد که مصرف توأم گوگرد، آپاتیت و باکتری تیوباسیلوس باعث کاهش سریع pH شد به‌طوری‌که پس از ۲۰ روز pH را از ۷/۵ به ۴ کاهش داد و در فاصله ۲۰ تا ۴۰ روز تغییر چندانی نکرد. همچنین در اثر کاهش pH میزان فسفر محلول خاک افزایش یافت. با توجه به نتایج حاصل از این آزمایشات محققین اظهار داشتند که مخلوط گوگرد، آپاتیت و باکتری‌های تیوباسیلوس (کود بیوسوپر یا بیوسوپرفسفات) می‌تواند به عنوان یک کود مناسب برای گیاهان استفاده شود.

دلوکا و همکاران[1] (۱۹۸۹) تأثیر مصرف گوگرد و تلقیح تیوباسیلوس را بر افزایش فسفر قابل دسترس در سه خاک آهکی در گلخانه و مزرعه مورد بررسی قرار دادند. تیمارها شامل تلقیح با تیوباسیلوس تیوپاروس، گوگرد، گوگرد و تلقیح، کود سوپرفسفات‌تریپل، سوپرفسفات‌تریپل و گوگرد، سوپر فسفات‌تریپل و تلقیح، سوپرفسفات و گوگرد و تلقیح بودند. پس از ۸ هفته گندم برداشت شده و میزان عملکرد، فسفر جذب شده توسط گندم و pH خاک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که مصرف گوگرد همراه با تیوباسیلوس نسبت به مصرف گوگرد بدون تلقیح، به‌طور معنی‌داری pH خاک را کاهش داد. مصرف گوگرد همراه با سوپرفسفات‌تریپل در تیمارهای تلقیح شده و تلقیح نشده به‌طور معنی‌داری pH خاک را نسبت به تیمارهای گوگرد تنها و سوپر فسفات تنها کاهش داد، احتمالاً مصرف فسفر باعث افزایش فعالیت تیوباسیلوس‌ها شده است. در هر سه نوع خاک میزان فسفر جذب شده و فسفر قابل دسترس موجود در خاک در تیمار گوگرد و سوپر فسفات به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار سوپر فسفات بود.

در تحقیقی که پسندیده و همکاران (۱۳۸۲) بر روی اثر گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس انجام دادند، گزارش کردند که pH چالکودها کاهش محسوسی پیدا کرد و pH از ۷/۱۳ به ۶/۴۶ کاهش و غلظت فسفر قابل جذب در چالکود از ۶۳ به ۱۰۳/۷ میلی گرم در کیلوگرم افزایش یافت.

در تحقیقی که بشارتی و صالح راستین (۱۳۷۸) بر روی گیاه ذرت انجام دادند، اثر چهار نوع تیمار باکتری تیوباسیلوس (گونه‌های اتوتروف اجباری، انواع اتوتروف اختیاری، مخلوط این دو نوع و شاهد تلقیح نشده) و دو سطح گوگرد (۰ و ۰/۵ درصد) و سه تیمار کود فسفری (بدون فسفر، آپاتیت و کود سوپر

[1] Deluca *et al.*,

فسفات‌تریپل) بر روی گیاه ذرت اعمال شد. pH خاک مورد استفاده ۷/۸ و فسفر قابل جذب آن کمتر از حد بحرانی برای گیاه ذرت بود. در طی ۷۰ روز دوره رشد گیاه مراقبت‌های لازم برای تنظیم رطوبت گلدان‌ها در حد ۸۰ درصد رطوبت زراعی، دمای روزانه ۲۸ و شبانه ۲۱ درجه سانتی‌گراد و نور به مدت ۱۶ ساعت در شبانه‌روز با شدت حدود ۱۰ هزار لوکس اعمال گردید. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که استفاده از مایه تلقیح تیوباسیلوس همراه با مصرف گوگرد (۰/۵ درصد) در خاک روی تمام شاخص‌های اندازه‌گیری شده در خاک (بجز مقدار روی قابل جذب) و گیاه تأثیر معنی‌داری در سطح احتمالی ۱٪ داشته است. تیوباسیلوس‌های اتوتروف اجباری بازدهی بیشتری داشتند، همچنین مصرف همزمان گوگرد با باکتری‌های اکسیدکننده آن، اثری معادل کودهای فسفری نشان داد.

بشارتی (۱۳۷۷) اثر چهار گونه باکتری تیوباسیلوس (گونه‌های اتوتروف اجباری، انواع اتوتروف اختیاری، مخلوط این دو نوع و شاهد تلقیح نشده)، دو سطح مصرف گوگرد (۰ و ۰/۵ درصد) و سه تیمار کود فسفره (بدون فسفر، آپاتیت و کود سوپرفسفات‌تریپل) را بر جذب آهن در گیاه ذرت در شرایط گلخانه‌ای را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که مصرف گوگرد ۳۶/۵ درصد و مصرف گوگرد همراه با مایه تلقیح تیوباسیلوس ۱۳۷/۲ درصد مقدار آهن جذب شده توسط ذرت را در مقایسه با شاهد افزایش داد.

تحقیق صورت گرفته توسط خاوازی و همکاران (۲۰۰۱) بیانگر پتانسیل خوب باکتری تیوباسیلوس وگوگرد در افزایش آزادسازی فسفر از منبع خاک فسفات می‌باشد. به‌طوریکه با انتخاب گونه مناسب از باکتری تیوباسیلوس، ماده آلی مناسب و نسبت مناسبی از گوگرد به خاک فسفات می‌توان ۹۰ تا ۱۰۰ درصد از عملکرد ناشی از سوپر فسفات‌تریپل را تأمین کرد.

در آزمایشی در آرکانزاس اثر کود سولفات‌پتاسیم و گوگرد عنصری بر گندم مورد بررسی قرار گرفت و به‌ترتیب افزایش ۹۰ و ۱۹۰ درصدی در عملکرد گندم با کودهای گوگرد عنصری و سولفات‌پتاسیم گزارش شد. علت پایین بودن افزایش عملکرد در تیمار گوگرد عنصری نسبت به سولفات‌پتاسیم، زمان کم اکسیداسیون گزارش شده است. از آنجا که اکسیداسیون گوگرد در خاک‌ها عمدتاً به صورت بیولوژیک صورت می‌گیرد، بنابراین هر عامل محیطی که بتواند جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده از جمله تیوباسیلوس‌ها را تحت تأثیر قرار دهد، قدرمسلم بر اکسیداسیون گوگرد نیز مؤثر خواهد بود. شدت اکسیداسیون بیولوژیک گوگرد در خاک‌ها به جمعیت باکتری تیوباسیلوس در خاک، اندازه ذرات گوگرد عنصری و شرایط محیطی بستگی دارد. همچنین این باکتری‌ها به عناصر غذایی نیاز دارند. بنابراین فرایند اکسیداسیون گوگرد در خاک‌های حاصلخیز سریعتر صورت می گیرد (Agrifacts، ۲۰۰۳).

در اثر کاربرد مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس میزان اکسایش گوگرد افزایش یافت (بشارتی، ۱۳۷۷). در یک بررسی تلقیح خاک با باکتری‌های تیوباسیلوس میزان اکسایش گوگرد را ۱ تا ۱۱ برابر افزایش داد

(Kittams و Attoe، ۱۹۶۵). وقتی باکتری‌ها بدون مصرف گوگرد به خاک تلقیح شده‌اند، فقط مقادیر جزئی ترکیبات گوگردی احیاء شده‌ایی که نتیجه چرخه طبیعی گوگرد در خاک هستند (Bardiya و همکاران، ۱۹۸۲؛ Killham، ۱۹۹۴؛ Tabatabai، ۱۹۸۶) اکسید کرده‌اند.

۴-۲-۲- تغییرات pH در محیط ریزوسفر

عمده مطالعات صورت گرفته در خاک تغییرات pH در ریزوسفر و نقش تعیین کننده این تغییرات در جذب عناصر غذایی در زمره کارهای اولیه‌ای بود که در بررسی تغییرات شیمیایی ریزوسفر مورد مطالعه قرار گرفت (Riley و Barber، 1971؛ Nye، 1981؛ Marschner و همکاران، ۱۹۸۲؛ Marschner و Romheld، 1983؛ Nye، 1986). ریزوسفر حجمی از خاک اطراف ریشه‌های زنده است که تحت تأثیر فعالیت ریشه قرار می‌گیرد (Darrah، 1993؛ Hinsinger، 1998). تغییرات بیوشیمیایی، شیمیایی و فیزیکی خاک اطراف ریشه در مقایسه با توده خاک حاصل فرایند هایی است که یا به طور مستقیم تحت تاثیر ریشه‌ها است و یا حاصل فعالیت ریزجاندارانی است که در مجاورت ریشه ها در نتیجه آزادسازی ترشحات ریشه ای تهییج می شوند (Bowen و Rovira، 1999). ارتباط بین گیاهان، ریزجانداران و خاک اغلب در مجاورت ریشه ها و در جایی است که واکنش‌های شیمیایی و بیوشیمیایی در آنجا متمرکز است (Corti، 2005). بنابراین، این بخش خاک ریزوسفری در قابلیت جذب عناصر غذایی برای گیاه و تشدید فعالیتهای میکروبی اهمیت خاصی دارد (Hinsinger، 1998). وسعت این تغییرات به قدرت بافری خاک بستگی دارد. (Nye 1981) مدلی را ارائه نمود که با استفاده از آن می توان تغییرات pH خاک ریزوسفر را به طور تقریب از پروتون یا بیکربنات ترشح شده، شعاع ریشه، قدرت بافری pH خاک، مقدار رطوبت، pH اولیه خاک و فشار جزئی گاز دی اکسید کربن محاسبه نمود.(Youssef و Chino 1987) با استفاده از ریشه دان نشان دادند که pH خاک در قسمت مرکزی که در ارتباط مستقیم با ریشه‌های گیاه جو قرار داشتند به اندازهٔ نیم واحد افزایش یافت. آنان بیان داشتند که تجمع کلسیم و منیزیم محلول و نیترات در اطراف ریشه‌ها در افزایش pH ریزوسفر دخیل است. Chung و (1994) Zasoski، Seguin و همکاران (۲۰۰۴) مشاهده کردند که pH خاک ریزوسفر نهال‌های هلو، ذرت و درختان جنگلی کمتر از توده خاک است. Jahiruddin و (Cresser 1993) گیاه جو را در دو خاک اسیدی کشت کرده و مشاهده نمودند که با گذشت زمان، pH خاک ریزوسفر افزایش ولی pH توده خاک کاهش یافت. (۱۹۹۷ Hinsinger و Gilkes) پنج گونه گیاه را در یک خاک با pH برابر ۴، کشت کرده و مشاهده نمودند که pH خاک ریزوسفر کلزا نسبت به توده خاک تا سه واحد افزایش یافت در حالی که در ریزوسفر گونه های دیگر میزان تغییر کمتر بود و یا هیچ تغییری مشاهده نشد.(Tang 1998) گزارش داد که pH خاک ریزوسفر بقولات کمتر از توده خاک بود و میزان پروتون تولید شده به وسیله ریشه به ازای یک

کیلوگرم زیست توده تولید شده، در گیاهان مبتلا به کمبود پتاسیم بیشتر بود. Schottelndreier و Grerup 1999)) با کشت ۱۰ گونه گیاه در یک خاک اسیدی با pH برابر ۴/۲ مشاهده کردند که pH خاک ریزوسفر نسبت به توده خاک افزایش یافت. این افزایش با جذب نیترات بوسیله گیاهان همبستگی بسیار معنی داری داشت. Zoysa و همکاران (۱۹۹۹) گزارش دادند که pH خاک ریزوسفر گیاه چای نسبت به توده خاک کاهش یافت. Bagoyoko و همکاران (۲۰۰۰) سه گونه گیاه را در خاکهای اسیدی با pH برابر۳/۹ تا ۵/۳ کشت و مشاهده کردند که pH ریزوسفر گیاهان سورگوم و لوبیا چشم بلبلی نسبت به توده خاک کاهش، در حالی که برای ذرت تا دو واحد افزایش یافت. این افزایش pH باعث کاهش آلومینیم تبادلی و افزایش کلسیم و منیزیم تبادلی در خاک ریزوسفری گردید. نتایج نشان دهنده نقش مهم افزایش pH ریزوسفر در مقابله با کمبود عناصر غذایی و سمیت آلومینیم در خاک های اسیدی است. Chaignon و همکاران (۲۰۰۲) گزارش دادند که pH خاک ریزوسفر گیاهان گوجه فرنگی و کلزا، در خاک اسیدی بیشتر و در خاک آهکی کمتر از توده خاک بود. Gollany و (Schumacher 1993) مشاهده کردند که میزان تغییر pH و الگوی آن در سیستم ریشه گیاهان متفاوت است. Dakora و (Phillips 2002) گزارش دادند که تعدادی از گیاهان مانند Aspalatus linearis L. به طور فعال pH ریزوسفر خود را با ترشح یون های هیدروکسیل و بی‌کربنات افزایش می دهند تا بتوانند رشد خود را در خاکهای با pH پایین (۳ تا ۵) تسهیل نمایند.

(Barber 1995) گزارش داد که افزایش pH محلول غذایی پس از کشت گیاه معمولاً با افزایش غلظت بی‌کربنات همراه است. Tao و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که pH خاک آهکی در ریزوسفر گندم و ذرت کاهش یافت.

Bertrand و همکاران (۱۹۹۹) گزارش دادند که ریشه گیاهان با ترشح پروتون یا یون هیدروکسیل یا آنیون های اسیدهای آلی، ویژگی های شیمیایی خاک ریزوسفر را به طور مشخص تغییر می‌دهند.

۵-۲-۲- تاثیرمصرف گوگرد بر عملکرد محصولات زراعی

آزمایش‌های زیادی در تایید نقش گوگرد در افزایش محصول در داخل و خارج کشور اجرا شده است. شرما و گیوپتا (Sharma and Gupta, 1992) گزارش کردند که مصرف ۸۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد عنصری به‌طور معنی‌داری مقدار جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم و گوگرد را به‌وسیله سویا افزایش می‌دهد. خان و همکاران (Khan et al, 1986) در در یک تحقیق دو ساله در یک خاک آهکی به این نتیجه رسیدند که اضافه کردن گوگرد به خاک سبب افزایش عملکرد علوفه به میزان ۴۱ تا ۷۸ درصد و میزان پروتئین آن ۸۰ تا ۱۲۳ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. در پژوهشی تأثیر مصرف گوگرد بر عملکرد، تثبیت نیتروژن و تعداد غده در سویا در یک خاک آهکی بررسی و گزارش کردند که وزن خشک سویا در دو تیمار 0 و 10

کیلوگرم گوگرد در هکتار با هم تفاوت معنی داری نداشتند. در حالی که تیمارهای ۲۰، ۳۰ و 40 کیلوگرم گوگرد در هکتار در مقایسه با شاهد به ترتیب ۱۷/۴۴، ۲۹/۶۵ و ۲۹/۹ درصد وزن خشک گیاه افزایش یافت (Dubey and Billore, 1995). در تحقیق دیگری کلروز و کاهش محصول بادام زمینی که در خاک‌های آهکی کشت شده بودند به کمبود گوگرد و عناصر کم مصرف مرتبط دانستند. همچنین مصرف گوگرد عملکرد بادام زمینی را در مقایسه با شاهد ۸/۶ تا ۹/۸ درصد افزایش داد (Singh and Chaudhari, 1997).

گیوپتا و همکاران (Gupta et al., 1997) گزارش کرد که بیشترین عملکرد دانه ذرت با ۶۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد بود همچنین مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد متوسط عملکرد ذرت را ۹۹۰کیلوگرم افزایش داد (Sakal et al., 2000). خان و همکاران (Khan et al., 2006) گزارش کرد ۴۳ درصد افزایش در عملکرد ذرت دانه‌ای با مصرف ۹۰ کیلوگرم فسفر و ۶۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار بدست آمد. کاپلان و اورمان (Kaplan and Orman, 1998) و آردل و همکاران (Erdal et al., 2004) گزارش کردند با مصرف گوگرد عنصری pH خاک، ۰/۱۱ الی ۰/۳۷ واحد کاهش داشت و درنتیجه غلظت عناصر غذایی، مقدار جذب عناصر غذایی توسط گیاهان، غلظت کلروفیل و عملکرد گیاهان افزایش یافت.

کلباسی و همکاران (Kalbas et al., 1988) اثر گوگرد در جذب آهن، روی و منگنز به وسیله سه گیاه ذرت، سورگوم و سویا در یک خاک لوم رسی با ۴۰ درصد آهک یک آزمایش مزرعه‌ای بررسی و دریافتند که مصرف گوگرد نسبت به شاهد به طور معنی‌داری، pH و غلظت بی‌کربنات خاک را کاهش داده و میزان آهن، منگنز و روی قابل استخراج با DTPA را در خاک افزایش داد. همچنین میزان عملکرد، مقدار آهن و روی جذب شده توسط گیاهان نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشته و در تمام تیمارها به غیر از شاهد، کلروز ناشی از کمبود آهن برطرف شد. نتایج، گویای این مطلب است که مصرف گوگرد برای برطرف کردن کلروز آهن و افزایش محصول در خاک‌های آهکی مؤثر می‌باشد و با ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد حداکثر عملکرد محصول ذرت بدست آمد.در بررسی تاثیر کاربرد کود آلی، فسفات، گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر عملکرد ذرت نیز مشخص گردید که کاربرد توام فسفات، گوگرد و باکتری تیوباسیلوس موجب بیشترین تولید عملکرد ذرت می‌شود و اضافه نمودن کود آلی در این شرایط موجب بهبود عملکرد شده و بر ویژگی های فیزیکی خاک نیز تاثیر مثبتی دارد (نورقلی پور و همکاران، ۱۳۸۵). گزارش شده است که مصرف توام گوگرد و ماده آلی سبب افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی و در نهایت افزایش عملکرد محصول می‌شود (Deluca et al., 1989).

در بررسی صفاری و همکاران (۱۳۹۰) با افزایش مقدار گوگرد عملکرد دانه، تعداد قوزه، تعداد دانه در قوزه و درصد روغن گلرنگ به طور معنی داری افزایش یافت. مصطفوی راد و همکاران (۱۳۹۰) طی آزمایشی عملکرد، ترکیب اسیدهای چرب و میزان عناصر ریزمغذی بذر را در ارقام پر محصول کلزا با مصرف مقادیر

مختلف گوگرد مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که کاربرد گوگرد فراهمی و جذب عناصر ریزمغذی را افزایش می‌دهد و در افزایش کیفیت و کمیت کلزا تأثیرگذار است. راوی و همکاران (Ravi et al., 2010) گزارش کردند که با مصرف ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار، عملکرد گلرنگ بیشترین افزایش را داشت. بناری و همکاران (۱۳۹۲) گزارش کردند که افزایش گوگرد تا ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی، عملکرد دانه و درصد روغن آفتابگردان شد.

رحیمیان(۱۳۹۰) در تحقیق تحت عنوان بررسی اثر گوگرد و باکتری تیوباسیلوس به همراه ماده آلی بر صفات کمی و کیفی کلزا گزارش کرد که با افزایش میزان گوگرد تا سطح ۵۰۰ کیلوگرم درهکتار، عملکرد دانه و ماده خشک کل و درصد روغن به ترتیب ۴/۳۹، ۱۵/۳۸ و ۱/۶۹ درصد افزایش یافت. همچنین خادمی و همکاران (۱۳۹۰)، مصرف۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد عنصری و در زمان های۲ الی۴ ماه قبل از کشت و یا مصرف ۴۰۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم درزمان کاشت بهترین تیمار برای افزایش عملکرد کمی و کیفی گندم در استان های خراسان رضوی ، فارس و کرمانشاه پیشنهاد کردند.

چقازردی و همکاران (۱۳۹۱) گزارش کردند که کاربرد ۷۵۰ کیلوگرم گوگرد به همراه ۸ یا ۱۲ تن کود دامی در هکتار باعث بیشترین میانگین برای عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت در خاک‌های آهکی استان کرمانشاه شد.کریمی و همکاران (Karimi et al., 2012) گزارش کردند که مصرف گوگرد عنصری دارای تأثیر معنی‌داری روی pH خاک، ازت کل و مقدار فسفر و روی قابل‌استفاده در خاک دارد. همچنین اشاره کردند که کمترین مقدار pH خاک، بیشترین مقدار فسفر، پتاسیم و نیتروژن کل در خاک و بیشترین مقدار ازت، فسفر و پتاسیم دردانه کلزا با مصرف ۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و ۵۰ تن در هکتار کود کمپوست بود. همچنین اشاره کردند که مصرف توام گوگرد عنصری و کود دامی موجب افزایش ماده خشک گیاه کلزا می‌شود و بیشترین مقدار ماده خشک کل و درصد روغن با کاربرد ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد عنصری همراه با ۵۰ تن در هکتار کمپوست **بود.**

غلامی و انصوری (Ansori and Gholami, 2015) گزارش کردند گوگرد عنصری باعث کاهش pH خاک و افزایش عملکرد دانه، مقدار روغن و غلظت فسفر و آهن دردانه ذرت شدند و کمترین pH خاک و بیشترین مقدار عملکرد، روغن، آهن و فسفر دردانه با کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم گوگرد عنصری همراه با باکتری تیوباسیلوس بود.

جلیلی و همکاران (۱۳۹۲) گزارش کردندکه با افزایش گوگرد وکود دامی عملکرد و اجزای عملکرد گندم افزایش یافتند، به طوری که بیشترین عملکرد دانه با ۵۲۴۹ کیلوگرم در هکتار مربوط به مصرف ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد همراه با ۲۰ تن درهکتار کمپوست بود که نسبت به تیمار شاهد آن ۱۶۲۵ کیلوگرم افزایش نشان داد.

بشارتی و همکاران (۱۳۹۵) درتحقیقی تحت عنوان بررسی اثر تیوباسیلوس، گوگرد و فسفر بر شاخص‌های رشد ذرت در برخی ازمناطق ایران به این نتیجه رسیدند که اثر گوگرد و فسفر و اثر متقابل آن‌ها بر وزن تر و خشک ذرت در سطح یک درصد معنی دار بود و سطوح گوگرد در مقایسه با شاهد وزن تر و خشک ذرت را افزایش داد و کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس در مزارع ذرت پیشنهاد کردند.

۳-۲- مواد و روش‌ها

۱-۳-۲- شناسائی و مکان یابی مناطق مناسب برای اجرای طرح گوگرد

این طرح در قالب دو پروژه تحقیقاتی اجرا شد. بنابراین در اینجا روش های انجام دو پروژه به اختصـار ارائـه می گردد.

پروژه اول با عنوان پهنه بندی آهک و بررسی وضعیت کربن آلی و pH خاک در نواحی زراعی-زیستگاهی کشور به منظور مکان یابی سایت های آزمایشی برای اعمال گوگرد به خاک مزارع و تعمیم نتایج، انجام شده است. این پروژه با هدف انتخاب هدفمند نواحی مطالعاتی در دشت های محل انجام طرح اجرا شد. در این پروژه هدف تعیین مناطق وسیع جغرافیائی است که مجموعاً بتوانند به لحاظ خصوصیات اقلیمی، انواع اقلیم های غالب کشور (خصوصا به لحاظ بارندگی و دما) را نمایش دهند. در این پروژه علاوه بر نقشه نواحی زراعی زیستگاهی کشور و نقشه رژیم های رطوبتی و حرارتی خاک ها که توسط موسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شده است (بنائی،۱۳۷۹) از داده ها و اطلاعات مندرج در مطالعات خاکشناسی و نقشه پراکنش جغرافیایی پ هاش، آهک و کربن آلی خاک در سه استان خوزستان، فارس و گلستان نیز استفاده شد. مراحل انجام پروژه به شرح زیر خلاصه میشود.

۱- رقومی سازی نقشه نواحی زراعی-زیستگاهی کشور(اسناد کاغذی موجود).
۲- تهیه نقشه خاک های متاثر از آهک کشور با استفاده از اطلاعات و داده های نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ خاک های ایران.
۳- تعیین پراکنش جغرافیایی خاک های متاثر از آهک در هر ناحیه زراعی-زیستگاهی کشور از طریق تلفیق لایه اطلاعاتی نواحی زراعی-زیستگاهی کشور ونقشه خاک های آهکی تولید شده در این تحقیق در محیط نرم افزار آرک/ جی ای اس.

۴- بررسی اطلاعات مندرج در نقشه ها و گزارش مطالعات خاک شناسی دشت های کشاورزی کشور به تفکیک نواحی زراعی-زیستگاهی به منظور تعیین مقدار آهک و کربن آلی در خاک های متاثر از آهک.

۵- بررسی وضعیت pH ، آهک و کربن آلی در خاک های سه استان فارس، خوزستان و گلستان به صورت تفصیلی و ارائه لایه اطلاعات آماری مربوط به پ هاش خاک در این استان ها.

۶- تعیین نقاط مطالعاتی دارای مقادیر مختلف آهک، ماده آلی و pH خاک

پروژه دوم با عنوان بررسی اطلاعات خاک‌شناسی موجود و انجام مطالعات خاک‌شناسی جدید به منظور تعیین خصوصیات خاک محل های اجرای طرح گوگرد در نواحی زراعی-زیستگاهی کشور حدود گسترش جغرافیایی خاک های مورد مطالعه در دشت های محل اجرای گوگرد به شرح زیر تعیین شد. در ابتدا داده ها و اطلاعات حاصل از انجام پروژه اول این طرح به عنوان ورودی در این پروژه مورد استفاده قرار گرفت. به منظور تعیین میزان تعلق خاک های مطالعه شده به سری های غالب خاک دشت های محل اجرای طرح گوگرد، خاکرخ سری های غالب خاک دشت ها از نظر خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی مورد بررسی قرار گرفت. بافت خاک، مقدار آهک، مقدار ماده آلی خاک و واکنش خاک (pH) به ویژه در لایه سطحی خاک (عمق۳۰-۰سانتی متر) که گسترش آن‌ها در کشور مشخص شده است از مهم ترین خصوصیات مورد بررسی در این پروژه است که به عنوان شاخص های تحقیقاتی بکار رفت. خصوصیات خاکرخ های حفر شده در محل های اجرای طرح گوگرد تعیین و درجه تشابهشان با خاکرخ های شاهد سری های غالب خاک دشت های محل اجرای طرح گوگرد ارزیابی گردید. بدین ترتیب مشابهت خاک های اجرای طرح به سری های خاک موجود در دشت مورد مطالعه تعیین شد. بطور خلاصه، در این پروژه با انطباق خصوصیات خاک محل های اجرای طرح گوگرد با مشخصات سری های خاک دشت های مطالعاتی، محدوده های جغرافیائی تعمیم پذیری نتایج طرح به خارج از سایت های تحقیقاتی مشخص شد.

این پروژه که با اهداف تعیین سری خاک های غالب و جانمائی محل نمونه برداری از خاک دشت های محل اجرای طرح گوگرد اجرا شد شامل مراحل زیر بود:

۱- شناسایی و تعیین مختصات جغرافیائی محل خاکرخ های شاهد سری های غالب خاک دشت های مطالعاتی با استفاده از گزارش ها و نقشه های خاک شناسی موجود در آرشیو موسسه تحقیقات خاک و آب.

۲- انجام عملیات میدانی خاک شناسی به منظور حفر، تشریح و نمونه برداری از خاکرخ های سری های انتخابی و طبقه بندی تاکسونومیکی خاک ها در محل حفر خاکرخ ها.

۳- تهیه یک نمونه ۷۰ کیلوگرمی از خاک سطحی محل حفر هر خاکرخ برای انجام آزمایش های گلدانی.

۴- انجام تجزیه های آزمایشگاهی (طبق جدول شماره ۱) به منظور تعیین خصوصیات و طبقه بندی خاک ها تا سطح فامیل خاک و تعیین کلاس اراضی.

جدول شماره۲-۴- نوع و روش انجام تجزیه های آزمایشگاهی نمونه های خاک

متغیر اندازه گیری شده	واحد اندازه گیری	روش انجام آزمایش
بافت	-	هیدرومتر (Bouyoucos, ۱۹۶۲)
کربن آلی (OC)	٪	وکلی و بلاک (Wakley and Black, ۱۹۳۴)
ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)	me/100g	جانشینی کاتیون‌ها با استا ت سدیم (Chapman, ۱۹۶۵)
هدایت الکتریکی (EC)	dS/m	توسط دستگاه هدایت سنج در عصاره گل اشباع
پتاسیم قابل دسترس (K)	ppm	عصاره گیری با استات آمونیوم (Richards ۱۹۸۴)
فسفر قابل دسترس (P)	ppm	اولسن؛ با استفاده از دستگاه رنگ سنج (Olsen et al., ۱۹۵۴).
عناصر آهن (Fe)، منگنز (Mn)، مس (Cu) و روی (Zn)	ppm	عصاره‌گیری شده توسط دی‌تی‌پی‌اِ (DTPA) با دستگاه جذب اتمی (Lindsay and Norvell, ۱۹۷۹).
کلر (Cl)	me/l	تیتراسیون توسط نیترات نقره (Richards ۱۹۸۴)
کلسیم (Ca) و منیزیم (Mg)	me/l	کمپلکسومتری (Richards ۱۹۸۴)
سولفات (SO_4)	me/l	استون (Richards,۱۹۵۴)
pH	-	اندازه گیری در عصاره گل اشباع

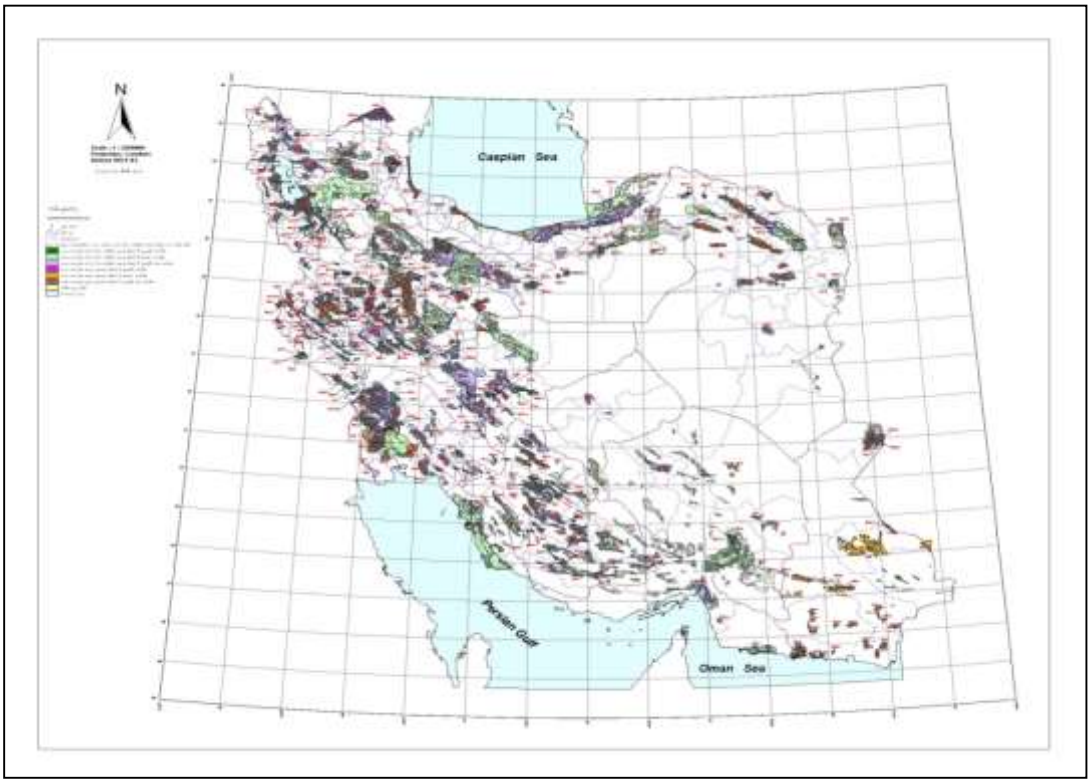
۱-۱-۳-۲- مطالعات خاکشناسی

مطالعات خاکشناسی مجموعه عملیاتی است که برای جمع آوری داده ها و تجزیه و تحلیل عوامل کنترل کننده پراکنش خاک ها، تشریح، طبقه بندی، آزمایش، تهیه نقشه و گزارش خاک‌های یک منطقه معین به

طور اصولی انجام می گیرد. نتایج این مطالعات به صورت نقشه خاک و راهنمای آن ارائه می‌گردد و توصیف خاک ها در گزارش هر مطالعه خاکشناسی درج می‌گردد. راهنمای نقشه برای معرفی واحدهای نقشه خاک و انواع آن ها طراحی می‌شود. در گزارش خاکشناسی شرح واحدهای نقشه و سری های خاک، تفسیر خصوصیات خاکها و تجزیه و تحلیل نتایج آزمایشگاهی و توصیه هایی برای استفاده و مدیریت آن ها در اختیار کاربران قرار می‌گیرد.

۲-۱-۳-۲- *وضعیت مطالعات خاکشناسی و طبقه بندی اراضی در موسسه تحقیقات خاک و آب*

نقشه پراکنش مناطق خاکشناسی شده در سطح کشور در شکل شماره ۲-۱ ارائه شده است. این نقشه حدود جغرافیائی مطالعات خاکشناسی در کشور را نشان می دهد.



شکل۲-۱- پراکنش جغرافیائی مطالعات خاکشناسی در کشور (۱۳۳۲-۱۳۸۰)

۳-۱-۳-۲- انواع نقشه های خاکشناسی از نظر سطوح دقت مطالعات

به طور کلی نقشه‌های خاکشناسی و طبقه بندی اراضی با سه سطح دقت در دشت های کشاورزی کشور تهیه شده اند که شامل مطالعات اجمالی، نیمه تفصیلی و تفصیلی می‌گردد.
مطالعات اجمالی اکثراً بر اساس درخواست مجریان طرح‌های عمرانی در مرحله شناخت انجام می شود. در ایران حدود ۱۲/۵ میلیون هکتار از اراضی با دقت اجمالی مطالعه شده اند. مقیاس انجام این نوع مطالعات از ۱:۵۰۰۰۰ تا ۱:۲۵۰۰۰۰ متفاوت است.
مطالعات نیمه تفصیلی در کشور اکثراً بر اساس درخواست مجریان طرح‌های عمرانی توسعه منابع آبیاری و کشاورزی انجام شده اند و کاربرد اطلاعات آنها در مرحله صلاحیت اجرای طرح های عمرانی است. در استان‌های مختلف کشور حدود ۹/۲ هکتار از اراضی با دقت نیمه تفصیلی مورد مطالعه خاکشناسی قرار گرفته اند. مقیاس نقشه‌های این نوع مطالعات از ۱: ۵۰ ,۰۰۰ تا ۱: ۲۰ ,۰۰۰ متغییر است. نتایج این نوع مطالعات در قالب نقشه‌های خاک و طبقه بندی اراضی و در بعضی مطالعات نقشه های طبقه بندی قابلیت آبیاری و نقشه های شوری و قلیائیت منتشر شده است.
مطالعات تفصیلی به طور کلی بر اساس درخواست مجریان طرح های عمرانی در بخش کشاورزی و یا در اراضی ایستگاه های تحقیقاتی در مرحله اجرای طرح های مذکور صورت گرفته است. مساحت این نوع مطالعات ۶۵۰،۰۰۰ هکتار است و داده ها آن در قالب نقشه‌های خاک، طبقه بندی اراضی، طبقه بندی قابلیت آبیاری اراضی و شوری و قلیائیت تهیه و به انضمام نشریات فنی همراه گزارش ها ارائه شده است. بطورکلی، امکان استخراج نقشه های موضوعی مانند بافت خاک یا دیگر خصوصیات خاک از نقشه های خاکشناسی با دقت های مختلف و مقیاس های متفاوت امکان پذیر است.

از آنجاکه انجام مطالعات و پژوهش های مربوط به بررسی وضعیت خصوصیات خاک و اراضی بر روی تمامی گستره جغرافیائی یک دشت کشاورزی به لحاظ ملاحظات زمانی و اقتصادی قابل توجیه نمی باشد، لذا پژوهشگران علوم خاک شناسی پیوسته به دنبال راهکارهائی هستند تا بتوانند از طریق آن ها مکان یا سایت های تحقیقاتی را شناسائی کنند که بیشترین مشابهت را به لحاظ خصوصیات خاک و اراضی و در نهایت جنبه های مدیریتی با سایر مناطق گستره جغرافیائی وسیع مورد نظر دارا باشند.

هدف این طرح این بود که با استفاده از اطلاعات و داده های ستادی و میدانی واحدهائی از خاک را در دشت های کشاورزی مناطق زراعی زیستگاهی کشور شناسائی نماید که علاوه بر دارا بودن خصوصیات و ویژگی های از پیش تعیین شده (از جمله دامنه های مختلف آهک، مواد آلی و pH) می تواند امکان دسترسی به

یکی از اهداف کلی طرح کلان تحقیقاتی که همان تعمیم نتایج از سطح سایت های تحقیقاتی به سطح دشت است را فراهم آورد.

انواع شرایط اقلیمی ایران از لحاظ کشاورزی و مناطق ده گانه کشاورزی

در ایران سه نوع شرایط اقلیمی متمایز از لحاظ آب و هوا بچشم می خورد که عبارتند از مرطوب، خشک فصلی و خشک (شکل ۲-۹). در نتیجه، تجزیه و تحلیل های اولیه مناطق کشاورزی ده گانه کشور در محدوده این شرایط اقلیمی مشخص شده اند. خلاصه مشخصات کشاورزی در این سه محدوده اقلیمی و شرح مختصری از مناطق کشاورزی در این بخش ارائه می شود.

- **آب و هوای مرطوب**

قسمت اعظم نواحی دارای آب و هوای مرطوب کشور با میزان بارندگی متجاوز بر ۷۰۰ م.م. در سال منحصراً در نوار ساحلی دریای خزر، دشت شرقی دریای خزر و اراضی اطراف زاگرس شرقی و مرکزی واقع شده است.

- **آب و هوای خشک فصلی**

دارای آب و هوای خشک، با میزان بارندگی معادل ۲۵۰ الی ۷۰۰ م.م. در سال در فاصله ماههای آذر تا فروردین (تقریباً پاییز و زمستان) است.

- **آب و هوای خشک**

اراضی واجد آب و هوای خشک با میانگین باران سالیانه کمتر از ۲۵۰ م.م.

شکل ۲-۲- وضعیت آب و هوائی ایران از لحاظ کشاورزی (ماخذ: وزارت جهاد کشاورزی،۱۳۵۴)

- مناطق ده گانه زراعی-زیستگاهی کشور

با توجه به آب و هوای نواحی سه گانه کشور، هر یک از این مناطق ده گانه دارای شرایط مشابه از لحاظ آب و هوایی و تناسب کشت محصولات کشاورزی به شرح زیر می باشند.

۱-منطقه مرکزی (اکثراً دارای آب و هوای خشک فصلی تا خشک)

قسمتهای جنوب شرقی منطقه در محدوده اراضی دارای آب و هوای خشک واقع شده است. در حالیکه قسمت وسیع غربی منطقه دارای آب و هوای خشک فصلی می باشد. هر دو بخش از لحاظ توسعه کشاورزی دارای شرایط مشابهی هستند.

۲-منطقه ساحلی خزر (دارای آب و هوای مرطوب)

در اراضی ساحلی خزر میزان بارندگی برای اعمال کشت مضاعف در بعضی موارد کافی است بـه هـر حـال از آنجا که منابع آب به فراوانی در این منطقه یافت می شوند اکثر محصولات در تابستان آبیاری (تکمیلی) هـم می شوند.

۳-منطقه شمال غربی (دارای آب و هوای خشک فصلی)

این منطقه شامل آذربایجان شرقی غربی کردستان و زنجان است. کشاورزی دیم ثابت در قسـمتی از اراضـی این منطقه عملی است که میانگین بارندگی سالیانه آن حدود ۲۵۰ م.م. حداقل در هشـت سـال از ده سـال متوالی باشد

۴-منطقه زاگرس مرکزی (دارای آب و هوای خشک فصلی)

کشت محصولات زمستانه بدون آبیاری در این منطقه که از میزان بارندگی سـالیانه ای معـادل ۲۷۵ م.م. یـا بیشتر برخوردار است میسر می باشد. این منطقه شامل کرمانشاهان، همدان، ایلام و لرستان می باشد.

۵-منطقه خوزستان (دارای آب و هوای خشک فصلی)

احتمالاً شرایط این منطقه نامساعدتر از شرایط سایر مناطق دارای آب و هوای خشک فصلی اسـت. اسـتعداد زیاد تبخیر آب در منطقه موجب می شود احتیاج به آبیاری تقریباً ماهانه به طور مسلم پـیش آیـد. قسـمت جنوب غربی خوزستان که در کنار مرز عراق واقع شده است را بهتر می توان تحت عنوان منطقه دارای آب و هوای خشک طبقه بندی کرد. اراضی این قسمت اکثـراً شـور یـا بـاطلاقی بـوده و اهمیـت کمـی از لحـاظ کشاورزی دارد.

۶-منطقه خشک شمالی (دارای آب و هوای خشک)

اراضی قابل کشت آبی چشمگیری در اطراف دو مرکز اصلی منطقه اصفهان و یزد ملاحظه می گـردد کـه در این اراضی در زمستان غلات زمستانه و در تابستان انواع محصولات تابستانه کشت می شود. در سمت مشرق منطقه خشک شمالی دشت کویر واقع شده و از حوالی اراضی نیمه بیابانی برای دامپروری استفاده می شود.

۷-منطقه زاگرس جنوبی (دارای آب و هوای خشک فصلی)

در قسمتی از اراضی این منطقه که میزان بارندگی سالیانه آن از ۱۷۰ م.م. تجاوز می کند اقدام به کشت دیم منظم میسر است ولی در اراضی دارای بارندگی سالیانه بین ۲۱۰ م.م. تا ۲۷۰ م.م. امکان کشت دیم تنها در هشت سال از ده سال متوالی میسر است.

۸-منطقه ساحلی جنوب (اکثراً خشک)

این منطقه را می توان بدین علت که در بوشهر هوا بطور فصلی خشک ولی در منطقه ساحلی واقعاً خشک است منطقه متحول نامید. در این منطقه هرچه از سمت شمال غربی بطرف مرز پاکستان پیش برویم شرایط آب و هوای استوائی به نحو فزاینده ای محسوس تر می شود. میانگین درجه حرارت بندرت از ۱۵ درجه سانتیگراد پائین می آید و مقدار تبخیر در زمستان بالا است. درجه رطوبت نسبی بندرت از ۵۰ درصد در نیمروز تنزل می کند.

۹-منطقه خشک جنوبی (دارای آب و هوای خشک)

کشت محصولات دیم با موفقیت منحصراً محدود به اراضی کوهستانی خنک امتدادهای جنوبی سلسله جبال زاگرس در اطراف کرمان است. با تعدادی موارد استثنائی جزئی، سایر قسمتهای این منطقه دارای زمستانهای سرد و تابستانهای بسیار خشک است. قسمت جنوبی باطلاق هامون جازموریان از لحاظ اینکه حداقل درجه حرارت آن در طی زمستان از ۱۵ درجه سانتیگراد بندرت پائین تر می رود شبیه منطقه ساحلی جنوب است.

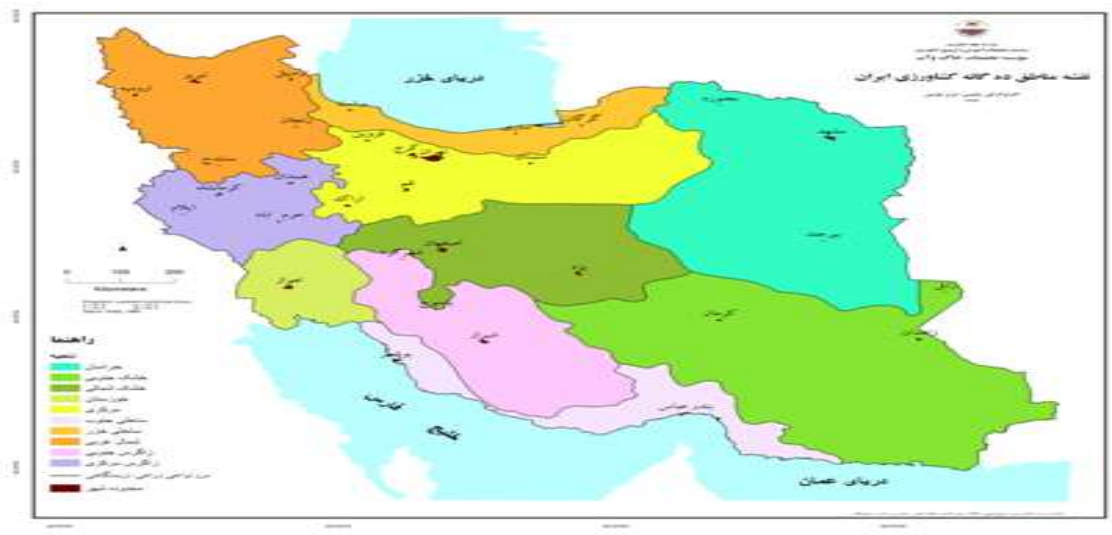
۱۰-منطقه خراسان (دارای آب و هوای خشک فصلی تا خشک)

زمستانهای سخت و طولانی و بارندگی های دیر و بی هنگام استفاده از غلات دیررس زمستانه را الزامی کرده و محصولات آبی تابستانه نیز فقط در مدت زمان محدودی کشت می شوند.

مناطق ده گانه کشاورزی ایران

مناطق ده گانه کشاورزی کشور به عنوان یکی از ضروریات تهیه برنامه جامع کشت سالانه کشور توسط وزارت کشاورزی و منابع طبیعی وقت در سال ۱۳۵۴ تهیه شده است (شکل ۲-۸). نظر به اینکه یکی از اهداف مهم این پروژه ایجاد زمینه برای تعمیم دادن یافته های تحقیقاتی پروژه از مقیاس سایت های آزمایشی به مقیاس دشت های کشاورزی کشور می باشد، لذا مناطق ده گانه کشور بعنوان مبنائی برای انتخاب خاک های زراعی کشور قرار داده شد و نمونه های خاک از سری های خاک اراضی مناطق ده گانه کشور انتخاب گردید. علاوه بر خصوصیات خاک ها، شرایط آب و هوائی کشور از جمله فاکتورهای تاثیرگذار بر فعالیت جامعه میکروبی خاک و در نتیجه میزان اکسیداسیون گوگرد در خاک می باشند. در عین حال،

شرایط اقلیمی یکی از معیارهای مهم تفکیک مناطق ده گانه کشاورزی بوده است. بنابراین شرح مختصری از شرایط اقلیمی کشور در رابطه با مناطق ده گانه کشاورزی و توضیحات اجمالی در مورد خصوصیات، گسترش جغرافیایی و نوع محصولات مناطق فوق ارائه می گردد.



شکل شماره ۲-۳- مناطق ده گانه کشاورزی ایران ماخذ: وزارت جهاد کشاورزی(۱۳۵۴)

اراضی کشور ایران بطور کلی به ده منطقه کشاورزی متمایز تقسیم شده است. به منظور دست یابی به یک پایگاه آماری منطقی، کوشش بعمل آمده است که مرزهای مناطق کشاورزی طرح ریزی شده با حدود استانها حتی المقدور تطبیق داده شود. در جدول ۲ فهرست مناطق کشاورزی ده گانه با ذکر استانها و یا فرمانداریهای کلی که در محدوده این مناطق واقع میشوند ارائه گردیده است.

جدول شماره ۲- ۵- مناطق کشاورزی ایران

منطقه کشاورزی	استانها و فرمانداریهای کل واقع در محدوده مناطق	
۱- منطقه مرکزی	الف) مرکزی	ب) سمنان
۲- منطقه ساحلی خزر	الف) گیلان	ب) مازندران
۳- منطقه شمال غربی	الف) آذربایجان شرقی	ب) آذربایجان غربی
	ج) کردستان	د) زنجان

۴- منطقه زاگرس مرکزی	الف) کرمانشاهان	ب) همدان
	ج) ایلام	د) لرستان
۵- منطقه خوزستان	الف) خوزستان	
۶- منطقه خشک شمالی	الف) اصفهان	ب) یزد
۷-منطقه زاگرس جنوبی	الف) فارس	ب) چهارمحال
	ج) بویراحمد و کهکیلویه	
۸- منطقه ساحلی جنوب	الف) بوشهر	ب) ساحلی
۹- منطقه خشک جنوبی	الف) کرمان	ب) سیستان و بلوچستان
۱۰- منطقه خراسان	الف) خراسان شمالی و جنوبی	

در این پروژه حدود گسترش جغرافیایی خاک های مورد مطالعه در دشت های محل اجرای گوگرد به شرح زیر تعیین شد:

در ابتدا داده ها و اطلاعات حاصل از انجام سایر پروژه های زیر طرح گوگرد به عنوان ورودی در این پروژه مورد استفاده قرار گرفت. به منظور تعیین میزان تعلق خاک های مطالعه شده به سری های غالب خاک دشت های محل اجرای طرح گوگرد، خاکرخ سری های غالب خاک دشت ها از نظر خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی بررسی شد. بافت خاک، مقدار آهک، مقدار ماده آلی خاک و واکنش خاک (**pH**) به ویژه در لایه سطحی خاک (عمق۳۰-۰سانتی متر) که با اجرای دو پروژه دیگر زیر این طرح گسترش آنها در کشور مشخص شده است از مهم ترین خصوصیات مورد بررسی در این پروژه بود که به عنوان شاخص های تحقیقاتی بکار گرفته شد. خصوصیات خاکرخ های حفر شده در محل های اجرای طرح گوگرد تعیین و درجه تشابهشان با خاکرخ های شاهد سری های غالب خاک دشت های محل اجرای طرح گوگرد مورد ارزیابی قرار گرفت و بدین ترتیب مشابهت خاک های اجرای طرح به سری های خاک موجود در دشت مورد مطالعه تعیین شد. بطور خلاصه، در این پروژه با انطباق خصوصیات خاک محل های اجرای طرح گوگرد با مشخصات سری های خاک دشت های مطالعاتی، محدوده های جغرافیائی تعمیم پذیری نتایج طرح به خارج از سایت های تحقیقاتی مشخص اعمال گردید.

در تعمیم نتایج تحقیقاتی که بر روی اراضی با توجه به تفسیرهای داده هـای مطالعـات خـاک شناسـی مربوط به خاک (های) یک محدوده و بر اساس مشابهت خاک شاخص با خاک هـای محـدوده وسـیع تـری انجام می گیرد، صرفا بایستی تفسیرها بر مبنای داده هائی باشد که در زمان مطالعه جمـع آوری شـده انـد. بویژه در رابطه با جابجائی فیزیکی، متراکم شدن خاک و تغییر ساختمان، تغییر در الگوی وضعیت ایجاد شده برای آب ها با انجام آبیاری، زهکشی، یا تغییر در روان آب بر اثر ایجاد سازه ها که ممکن است به مرور زمان ایجاد شده باشد، داده های قدیمی از ارزش کمتری برخوردار بوده و نیاز به تفسیر های جدیـد را طلـب مـی نماید.

۲-۳-۲-بررسی تاثیر کاربرد گوگرد در کاهش pH و سایر ویژگی های خاک در کشت گندم،کلزا، پیاز و ذرت، پایش تغییرات عملکرد و جذب عناصر غذایی در ۴ تناوب پی‌درپی در خاک‌های گوگرد داده شده

به منظور بررسی اثرات مصرف گوگرد پالایشگاهی پاستیل بر روی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و اصلاحی خاک های مناطق مختلف کشور و همچنین تاثیر این نوع گوگرد بر عملکرد کمی و کیفی محصولات زراعی (گندم، کلزا، ذرت و پیاز) درسه تناوب گندم– ذرت ، کلزا- ذرت و گندم – پیاز ، طرحی در قالب بلوک های کامل تصادفی با ۷ تیمار و ۳ تکرار در کرتهای دائم به مدت ۴ سال در مزارع آزمایشی ۸ استان به شرح ذیل اجراء گردید.

جدول۲-۶- الگوی کاشت در استان های محل آزمایش

ردیف	نوع کشت	استان محل اجرا
۱	کلزا – ذرت	خوزستان(صفی آباد دزفول)
۲	کلزا – ذرت	ساری
۳	کلزا- ذرت	تهران(ورامین)
۴	گندم – ذرت	خوزستان(صفی آباد دزفول)
۵	گندم – ذرت	فارس
۶	گندم – ذرت	قزوین
۷	گندم- پیاز	خراسان
۸	گندم – پیاز	آذربایجان شرقی
۹	اصلاح خاک شور و سدیمی	ستاد
۱۰	فیزیک خاک	فارس

۱-۲-۳-۲- تیمارها:

تیمار اول : شاهد بدون مصرف گوگرد در کشت اول (گندم یا کلزا) و بدون مصرف گوگرد در کشت دوم(ذرت یا پیاز)

تیمار دوم : مصرف ۷۵۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به همراه دو درصد باکتری در کشت اول (گندم یا کلزا) و بدون مصرف گوگرد در کشت دوم(ذرت یا پیاز)

تیمار سوم : مصرف ۱۵۰۰کیلوگرم گوگرد در هکتار به همراه دو درصد باکتری در کشت اول (گندم یا کلزا)و بدون مصرف گوگرد در کشت دوم(ذرت یا پیاز)

تیمار چهارم : مصرف۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به همراه دو درصد باکتری در کشت اول (گندم یا کلزا)و بدون مصرف گوگرد در کشت دوم(ذرت یا پیاز)

تیمار پنجم : بدون مصرف گوگرد در کشت اول (گندم یا کلزا)و مصرف ۷۵۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به همراه دو درصد باکتری در کشت دوم(ذرت یا پیاز)

تیمار ششم: بدون مصرف گوگرد در کشت اول (گندم یا کلزا)و مصرف ۱۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به همراه دو درصد باکتری در کشت دوم(ذرت یا پیاز)

تیمار هفتم : بدون مصرف گوگرد در کشت اول (گندم یا کلزا)و مصرف ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به همراه دو درصد باکتری در کشت دوم(ذرت یا پیاز)

جدول ۲-۷- شمای کلی از مقدار گوگرد مصرفی (کیلوگرم در هکتار)در تناوب های گندم-ذرت و کلزا- ذرت در سال های مختلف

		Plot 1	Plot2	Plot3	Plot4	Plot5	Plot6	Plot7
سال اول	**wheat/canola**	0	750	1500	3000	0	0	0
	corn	0	0	0	0	750	1500	3000
سال دوم	**wheat/canola**	0	750	1500	3000	0	0	0
	corn	0	0	0	0	750	1500	3000
سال سوم	**wheat/canola**	0	750	1500	3000	0	0	0
	corn	0	0	0	0	750	1500	3000
سال چهارم	**wheat/canola**	0	750	1500	3000	0	0	0
	corn	0	0	0	0	750	1500	3000

ابعاد زمین :

ابعاد کرت : ۶۰ متر مربع شامل شش متر عرض و ده متر طول

برای کاشت گندم و کلزا ۱۰ خط یا پشته با فاصله ۶۰ سانتی متری

برای کاشت ذرت ۸ ۱۰ خط یا پشته با فاصله ۷۵ سانتی متری

فاصله بین تیمار ها : ۲ پشته ۷۵ سانتی متری (حدود یک و نیم متر)

فاصله بین تکرار ها : بین ۳ تا پنج متر (حسب شرایط زمین)

جدول۲-۸- برنامه نمونه برداری و اندازه گیری ها در هر کشت

نوع گیاه	نوع نمونه برداری	زمان آماده سازی/کاشت	۲ ماه پس از کاشت	۴ ماه پس از کاشت	۶ ماه پس از کاشت	۸ ماه پس از کاشت (همزمان با برداشت)
گندم	خاک و آب	تجزیه کامل خاک و آب	pH,EC,SO4	pH,EC,SO4	pH,EC,SO4	pH,EC,SO4,Fe,Zn,Mn, P,N,K
	گیاه					ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکردکاه (کیلوگرم در هکتار)
کلزا	خاک و آب	تجزیه کامل خاک و آب	pH,EC,SO4	pH,EC,SO4	pH,EC,SO4	pH,EC,SO4,Fe,Zn,Mn, P,N,K
	گیاه					ارتفاع بوته ،تعداد کپسول در هر بوته ، تعداد دانه در کپسول ، وزن هزار دانه و عملکرد دانه(کیلوگرم در هکتار) ، درصد روغن
نوع گیاه	نوع نمونه برداری	زمان آماده سازی/کاشت	در زمان ۱/۴ کل دوره رشد	در زمان ۲/۴ کل دوره رشد	در زمان ۳/۴ کل دوره رشد	زمان برداشت
ذرت	خاک و آب	تجزیه کامل خاک و آب	pH,EC,SO4	pH,EC,SO4	pH,EC,SO4	pH,EC,SO4,Fe,Zn,Mn, P,N,K
	گیاه					عملکرد تر و خشک علوفه (کیلوگرم در هکتار)
نوع گیاه	نوع نمونه برداری	زمان آماده سازی/کاشت	در زمان ۱/۴ کل دوره رشد	در زمان ۲/۴ کل دوره رشد	در زمان ۳/۴ کل دوره رشد	زمان برداشت
پیاز	خاک و آب	تجزیه کامل خاک و آب	pH,EC,SO4	pH,EC,SO4	pH,EC,SO4	pH,EC,SO4,Fe,Zn,Mn, P,N,K
	گیاه					عملکرد، درصد مواد جامد محلول، میزان سفتی ، نیترات غده ،پروتین غده، خاصیت انبار مانی

۲-۲-۳-۲- نمونه برداری از خاک:

نمونه برداری از خاک ، پس از کنار گذاشتن یک لایه سطحی از خاک (حداکثر ۵ سانتی متر) صورت گرفت و نمونه ها از عمق ۰-۲۰ سانتی متری و با استفاده از مته (آگر) تهیه شد. محل نمونه برداری از بغل پشته در کنار گیاه محل داغ آب بوده و هرنمونه حداقل با استفاده از ۵ زیر نمونه تهیه شد.برای هر سه تکرار هر تیمار نمونه تهیه شد تا امکان تجزیه تحلیل اماری وجود داشته باشد.

جدول۲-۹- مقدار گوگرد مصرفی(کیلوگرم در هکتار) در کشت گندم و ذرت در سال های مختلف

سال اول	**wheat**	Plot 1	Plot2	Plot3	Plot4	Plot5	Plot6	Plot7
	Rep. 1	0	750	1500	3000	0	0	0
	Rep. 2	3000	0	1500	0	750	0	0
	Rep. 3	0	1500	750	3000	0	0	0
	corn							
	Rep. 1	750	0	0	0	1500	0	3000
	Rep. 2	0	3000	0	0	0	1500	750
	Rep. 3	0	0	0	0	3000	1500	750
سال دوم	**wheat**	Plot 1	Plot2	Plot3	Plot4	Plot5	Plot6	Plot7
	Rep. 1	0	750	1500	3000	0	0	0
	Rep. 2	3000	0	1500	0	750	0	0
	Rep. 3	0	1500	750	3000	0	0	0
	corn							
	Rep. 1	750	0	0	0	1500	0	3000
	Rep. 2	0	3000	0	0	0	1500	750
	Rep. 3	0	0	0	0	3000	1500	750
سال سوم	**wheat**	Plot 1	Plot2	Plot3	Plot4	Plot5	Plot6	Plot7
	Rep. 1	0	750	1500	3000	0	0	0
	Rep. 2	3000	0	1500	0	750	0	0
	Rep. 3	0	1500	750	3000	0	0	0
	corn	0	0	0	0	750	1500	3000
	Rep. 1	750	0	0	0	1500	0	3000
	Rep. 2	0	3000	0	0	0	1500	750
	Rep. 3	0	0	0	0	3000	1500	750
سال چهارم	**wheat**	Plot 1	Plot2	Plot3	Plot4	Plot5	Plot6	Plot7
	Rep. 1	0	750	1500	3000	0	0	0
	Rep. 2	3000	0	1500	0	750	0	0
	Rep. 3	0	1500	750	3000	0	0	0
	corn	Plot 1	Plot2	Plot3	Plot4	Plot5	Plot6	Plot7
	Rep. 1	750	0	0	0	1500	0	3000
	Rep. 2	0	3000	0	0	0	1500	750
	Rep. 3	0	0	0	0	3000	1500	750
Total Sulfur input/4 years	**W/C**	Plot 1	Plot2	Plot3	Plot4	Plot5	Plot6	Plot7
	Rep. 1	3000	3000	6000	12000	6000	0	12000
	Rep. 2	12000	12000	6000	0	3000	6000	3000
	Rep. 3	0	6000	3000	12000	12000	6000	3000

جدول۲-۱۰- مقدار گوگرد مصرفی (کیلوگرم در هکتار)در کشت کلزا و ذرت در سال های مختلف

سال اول	**canola**	**Plot 1**	**Plot2**	**Plot3**	**Plot4**	**Plot5**	**Plot6**	**Plot7**
	Rep. 1	0	750	1500	3000	0	0	0
	Rep. 2	3000	0	1500	0	750	0	0
	Rep. 3	0	1500	750	3000	0	0	0
	corn							
	Rep. 1	750	0	0	0	1500	0	3000
	Rep. 2	0	3000	0	0	0	1500	750
	Rep. 3	0	0	0	0	3000	1500	750
سال دوم	**canola**	Plot 1	Plot2	Plot3	Plot4	Plot5	Plot6	Plot7
	Rep. 1	0	750	1500	3000	0	0	0
	Rep. 2	3000	0	1500	0	750	0	0
	Rep. 3	0	1500	750	3000	0	0	0
	corn							
	Rep. 1	750	0	0	0	1500	0	3000
	Rep. 2	0	3000	0	0	0	1500	750
	Rep. 3	0	0	0	0	3000	1500	750
سال سوم	**canola**	Plot 1	Plot2	Plot3	Plot4	Plot5	Plot6	Plot7
	Rep. 1	0	750	1500	3000	0	0	0
	Rep. 2	3000	0	1500	0	750	0	0
	Rep. 3	0	1500	750	3000	0	0	0
	corn	0	0	0	0	750	1500	3000
	Rep. 1	750	0	0	0	1500	0	3000
	Rep. 2	0	3000	0	0	0	1500	750
	Rep. 3	0	0	0	0	3000	1500	750
سال چهارم	**canola**	Plot 1	Plot2	Plot3	Plot4	Plot5	Plot6	Plot7
	Rep. 1	0	750	1500	3000	0	0	0
	Rep. 2	3000	0	1500	0	750	0	0
	Rep. 3	0	1500	750	3000	0	0	0
	corn	Plot 1	Plot2	Plot3	Plot4	Plot5	Plot6	Plot7
	Rep. 1	750	0	0	0	1500	0	3000
	Rep. 2	0	3000	0	0	0	1500	750
	Rep. 3	0	0	0	0	3000	1500	750
Total Sulfur input/4 years	**C/C**	Plot 1	Plot2	Plot3	Plot4	Plot5	Plot6	Plot7
	Rep. 1	3000	3000	6000	12000	6000	0	12000
	Rep. 2	12000	12000	6000	0	3000	6000	3000
	Rep. 3	0	6000	3000	12000	12000	6000	3000

جدول ۲-۱۱- شمای کلی از مقدار گوگرد مصرفی (کیلوگرم در هکتار) در تناوب های گندم – پیاز در سال های مختلف

سال اول	**wheat**	Plot 1	Plot2	Plot3	Plot4	Plot5	Plot6	Plot7
	Rep. 1	0	750	1500	3000	0	0	0
	Rep. 2	3000	0	1500	0	750	0	0
	Rep. 3	0	1500	750	3000	0	0	0
سال دوم	**onion**							
	Rep. 1	750	0	0	0	1500	0	3000
	Rep. 2	0	3000	0	0	0	1500	750
	Rep. 3	0	0	0	0	3000	1500	750
سال سوم	**wheat**	Plot 1	Plot2	Plot3	Plot4	Plot5	Plot6	Plot7
	Rep. 1	0	750	1500	3000	0	0	0
	Rep. 2	3000	0	1500	0	750	0	0
	Rep. 3	0	1500	750	3000	0	0	0
سال چهارم	**onion**							
	Rep. 1	750	0	0	0	1500	0	3000
	Rep. 2	0	3000	0	0	0	1500	750
	Rep. 3	0	0	0	0	3000	1500	750
Total Sulfur input/4 years	**W/C**	Plot 1	Plot2	Plot3	Plot4	Plot5	Plot6	Plot7
	Rep. 1	۱۵۰۰	۱۵۰۰	۳۰۰۰	۶۰۰۰	۳۰۰۰	0	۶۰۰۰
	Rep. 2	۶۰۰۰	۶۰۰۰	۳۰۰۰	0	۱۵۰۰	۳۰۰۰	۱۵۰۰
	Rep. 3	0	۳۰۰۰	۱۵۰۰	۶۰۰۰	۶۰۰۰	۳۰۰۰	۱۵۰۰

جدول ۲-۱۲- شمای کلی از مقدار گوگرد مصرفی(کیلوگرم در هکتار) در تناوب های گندم-پیاز در سال های مختلف

سال اول		Plot 1	Plot2	Plot3	Plot4	Plot5	Plot6	Plot7
	wheat	0	750	1500	3000	0	0	0
سال دوم	**onion**	0	0	0	0	750	1500	3000
سال سوم	**wheat**	0	750	1500	3000	0	0	0
سال چهارم	**onion**	0	0	0	0	750	1500	3000

۳-۲-۳-۲- تجزیه و تحلیل‌های آماری

برای جمع آوری و ثبت داده‌ها ابتدا فرم‌هایی به صورت یکنواخت در نرم افزار Excel تهیه و به کلیه مجریان مناطق ارسال شد. پس از انجام آزمایش و ثبت داده ها فرمها از مراکز جمع آوری شد و کلیه داده‌ها به صورت متمرکز در ستاد مؤسسه تحقیقات خاک و آب جمع آوری و تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم افزار آماری SAS پس از نرمال سازی داده ها انجام شد. پس از انجام تجزیه واریانس و

مقایسه میانگین، نمودار مربوطه برای هر صفت با نرم افزار Excel رسم شد. آزمایش به روش آماری فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد.

۳-۳-۲- بررسی کاربرد گوگرد در کاهش pH محیط ریزوسفر گیاه گندم و ذرت

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو عامل نوع خاک و مصرف گوگرد در سه تکرار انجام شد. شش نوع خاک با خصوصیات متفاوت از نظر بافت، مقدار کربنات کلسیم معادل، کربن آلی وقدرت بافری متفاوت نسبت به تغییرات pH انتخاب شد(جدول ۱). خاکهای سری سروستان، دره بید دامنه و قاسم خانی در کشت گندم و خاکهای سری طالخونچه، قاسم خانی، زرینه رود و قزلر در کشت ذرت مورد استفاده قرار گرفتند. گوگرد پودری در مقادیر صفر، ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف گردید. گوگرد به همراه ۴ درصد وزنی مایه تلقیح تیوباسیلوس پودری به کار رفت.

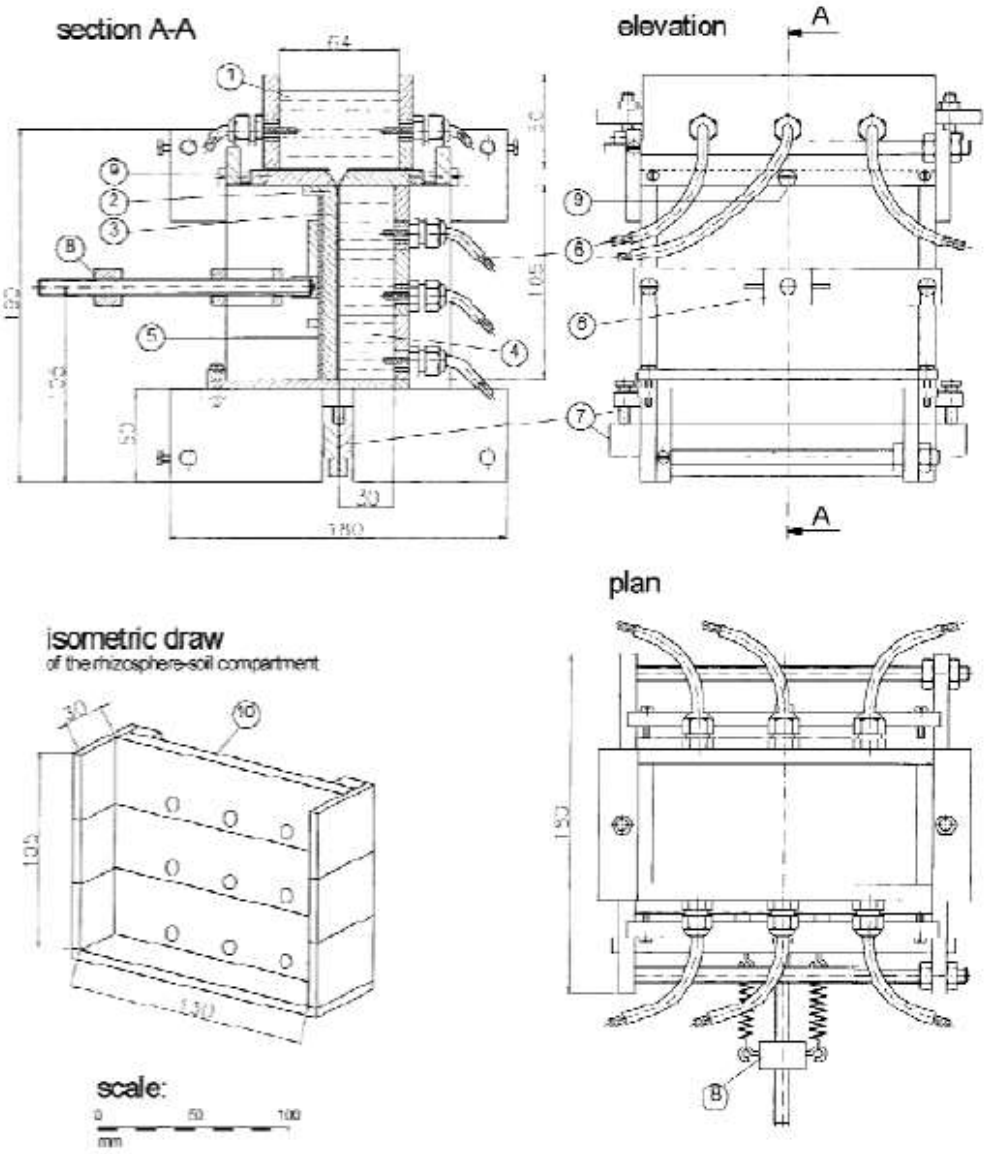
۱-۳-۳-۲- کشت گیاه (گندم و ذرت) در ریشه دان (رایزوباکس)

برای این بررسی از ریشه دان (رایزوباکس) استفاده شد. در شکل ۲-۲ نمایی شماتیک از سیستم ریشه دان مورد استفاده نشان داده شده است. سیستم، شامل یک **بخش خاک- گیاه** بالایی است که شکاف باریکی به عرض یک سانتی متر در زیر آن تعبیه شده است. از میان این شکاف، ریشه‌های گیاه می تواند به طور عمودی به سمت پایین حرکت کرده و یک صفحه ریشه‌ای را تشکیل دهد که از یک طرف بوسیله پنجره شفاف و از طرف دیگر بوسیله غشای نایلونی محدود می‌شود. غشای نایلونی، پارچه نایلونی متخلخلی است که منافذی با قطر ۴۰ میکرومتر دارد. این غشا، صفحه ریشه‌ای را از **بخش خاک رایزوسفری** (بخش پایینی) جدا می‌کند. این منافذ اجازه عبور سلول‌های ریشه را نداده ولی مولکول‌های آب، مواد غذایی و ترکیبات آلی به راحتی می‌توانند عبور کنند. به عبارت دیگر، تبادل مواد بین ریشه و خاک رایزوسفری بدون اینکه سلول‌های ریشه در تماس مستقیم با خاک قرار گیرند صورت می‌گیرد.

خاک ها قبل از قرار گرفتن در ریشه دان با گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس تیمار شدند. هر دو بخش خاک-گیاه و خاک رایزوسفری، از خاک تیمار شده تا رسیدن به چگالی ظاهری ۱/۴ گرم در سانتی متر مکعب پر شدند. تعداد ۱۰ عدد بذر گندم و ۵ عدد بذر ذرت در بخش خاک-گیاه کشت شد. دو هفته پس از کشت، تعداد ۵ گیاه گندم و ۳ گیاه ذرت یکنواخت نگه داشته شد. پس از گذشت ۴ هفته و هنگامی که ریشه گیاهان در محل شکاف زیرین بخش خاک-گیاه ظاهر شد، این بخش به قسمت زیرین ریشه دان حاوی بخش خاک رایزوسفری متصل گردید.

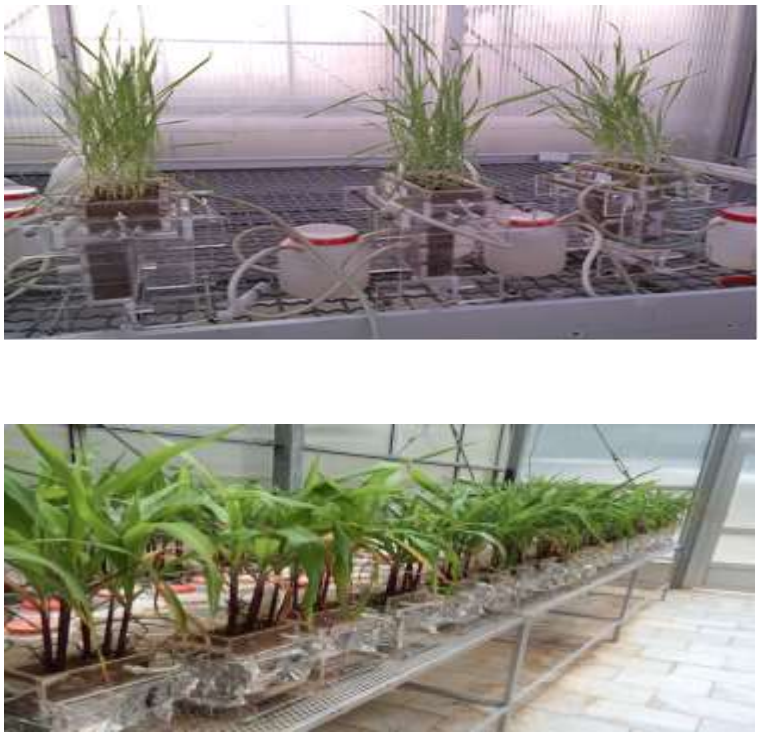
جدول ۲-۱۳- برخی خصوصیات فیزیکی وشیمیایی خاکهای مورد بررسی

شماره خاک	استان	سری خاک	مختصات جغرافیایی		pH	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	کربنات کلسیم (درصد)	کربن آلی (درصد)	گوگرد قابل جذب	آهن قابل استفاده	روی قابل استفاده	فسفر قابل استفاده	بافت
			عرض شمالی	طول شرقی				(میلی گرم در کیلوگرم)					
۱	اصفهان	طالخونچه	۲۳/۵۷۵' ۳۲°	۲۶/۹۸۵' ۵۱°	۸/۴۷	۰/۱۶	۸۴/۲	۰/۰۶	۱۰/۲۵	۵/۸	۱/۹	۶/۰	لوم شنی
۲	خراسان رضوی	قاسم خانی	۵۵/۰۸۲' ۳۶°	۱۷/۲۷۲' ۵۷°	۸/۷۵	۰/۲۷	۴۵/۸	۰/۲۲	۱۲/۷۵	۴/۰	۰/۲	۷/۶	لوم
۳	گلستان	قزلر	۰۷/۵۰۷' ۳۷°	۲۴/'۵۹۲ ۵۴°	۸/۲۵	۰/۲۶	۱۳/۵	۰/۲۶	۷/۵	۷/۶	۱/۰	۷/۰	رس سیلتی
۴	آذربایجان غربی	زرینه رود	۴۰/۱۱۲' ۳۶°	۳۳/'۵۶۱ ۴۶°	۸/۱۶	۰/۳۶	۱۴	۱/۲۹	۱۹	۷/۱	۳/۱	۲۹/۰	لوم
۵	اصفهان	سری دره بید دامنه	۰۴/۸۸۳ ۳۳°	۲۸/۹۳۸ ۵۰°	۷/۹۰		۱۴/۹	۰/۵۴		۸/۸	۰/۵	۲۰/۲	
۶	فارس	سروستان			۸/۰۰		۲۱/۷	۰/۳		۲/۴	۰/۲	۲/۰	



شکل ۲-۴- مقطع عرضی سیستم ریشه دان ریشه دان. (۱) بخش خاک - گیاه، (۲) پنجره شفاف از جنس اکریلیک، (۳) غشاینایلونی، (۴) بخش خاک ریزوسفری، (۵) پوشش غیر شفاف ومتحرک پنجره شفاف، (۶) فتیله آبیاری از جنس فیبر گلاس، (۷)ابزار کشنده غشای نایلونی، (۸) ابزارمحکم کننده پنجره شفاف، (۹) پیچ تنظیم فاصله بین غشای نایلونی و پنجره شفاف برای عبور ریشه، (۱۰) مشخصات جزئی بخش خاک ریزوسفری(wenzel,2001).

پس از گذشت ۴ هفته، هنگامی که صفحه ریشه‌ای متراکمی تولید شد، بخش‌های مختلف ریشه دان از هم جدا و خاک ریزوسفری برش داده شد. گیاهان از محل طوقه قطع شده و پس از شستشو با آب معمولی و آب مقطر، در دمای ۶۵ درجه سلسیوس خشک شدند. ریشه گیاهان نیز از خاک جدا شده و با آب معمولی و آب مقطر شستشو داده شد و در آون خشک گردید. وزن خشک اندام هوایی و ریشه اندازه گیری گردید.



شکل ۲-۵- نمایی از آزمایش ریشه دان در گیاه گندم (الف) و ذرت (ب) در گلخانه

۲-۳-۳-۲- برش خاک رایزوسفری

برای برش خاک ریزوسفری از وسیله ای بکار رفته توسط Fitz و همکاران (۲۰۰۳) استفاده گردید (شکل۲-۳). این ابزار، وسیله‌ای دست ساز از جنس صفحات پلی اکریلیک است که خاک را درهمان رطوبت طبیعی برش می‌دهد. در این آزمایش، خاک ریزوسفری در امتداد سطح ریشه، در فواصل یک میلی‌متری تا

فاصله ۵ میلی‌متر برش داده شد. باقیمانده خاک به عنوان خاک غیر ریزوسفری یا توده خاک در نظر گرفته شد.

۳-۳-۳-۲- تجزیه آزمایشگاهی خاک

- **اندازه گیری pH وقابلیت هدایت الکتریکی (EC) خاک**

برای اندازه گیری pH و EC ابتدا ۴ گرم از هر یک از نمونه های خاک توزین و به ظروف پلی اتیلنی منتقل شد. ۱۰میلی لیتر آب مقطر به ظروف اضافه شد و به مدت ۲ ساعت با شیکر رفت و برگشتی تکان داده شد. سپس نمونه ها به مدت یک شب (۲۴ ساعت) در دمای آزمایشگاه نگه داشته شد. بعد از گذشت این مدت، نمونه ها برای یک ساعت با شیکر رفت و برگشتی و با سرعت ۱۸۰ دور در دقیقه تکان داده شد. نمونه ها به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۳۰۰۰ سانتریفیوژ شدند. PH عصاره با pH متر و قابلیت هدایت الکتریکی با EC متر قرائت گردید.

- **اندازه گیری سولفات محلول خاک**

در لوله های فالکون پلی اتیلنی ۲ میلی لیتر از عصاره ۲/۵ : ۱ (آب مقطر:خاک)، با یک میلی لیتر کلرور کلسیم و۲۰ میلی لیتر استون مخلوط شد. نمونه ها به مدت ۱۰ دقیقه به حال خود رها شده و سپس با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. مایع رویی با احتیاط در یک ظرف خالی شد. به نمونه ها ۱۰میلی لیتر استون اضافه شد و اندکی با دست تکان داده شد. پس از ۵ دقیقه نمونه ها سانتریفیوژ گردید. مجدد مایع رویی با احتیاط در ظرف نگه داری عصاره خالی شد. نمونه عصاره حاصل داخل آون ۵۰ درجه گذاشته تا گچ سفید رنگ کاملا ته نشین و خشک شود. سپس، ۴۰ میلی لیتر آب مقطر به آنها اضافه گردید و کاملا بهم زده شد تا گچ ته ظرف در آن حل شود. مقدار هدایت الکتریکی محلول باEC متر قرائت شد. در انتها با استفاده از قرائت استانداردهای گچ سولفات محلول به دست آمد.

- **اندازه گیری گوگرد قابل جذب خاک**

از هر نمونه خاک به میزان ۱۰ گرم توزین شده و به ارلن ۵۰ میلی لیتر منقل شد. ۲۵میلی لیترمحلول مونو کلسیم فسفات به نمونه ها اضافه شد. به مدت ۳۰دقیقه روی شیکر دورانی تکان داده شد. سپس ۰/۲۵ گرم کربن اکتیو به نمونه ها اضافه شد و به مدت ۳ دقیقه تکان داده شد.سپس مخلوط با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ در ارلن های عصاره گیری صاف گردید. یک تیمار شاهد در حضور تمامی عوامل بجز خاک به منظور حذف اثرات احتمالی مواد و وسایل استفاده شده بر نتیجه آزمایش استفاده گردید. در نهایت ۱۰ میلی

لیتر از عصاره های صاف شده خاک و استاندارد ها به ارلن مایر ۵۰ میلی لیتری ریخته و ۱ میلی لیتر اسید (اسید کلریدریک ۶ مولار حاوی ۲۰ میلی گرم در لیتر گوگرد به صورت سولفات پتاسیم) اضافه شد ، سپس محلول را بهم زده و ۰/۵ گرم کریستال کلرید باریم به آن اضافه شد. نمونه‌ها یک دقیقه به حال خود رها و سپس تا حل شدن کلرید باریوم توسط شیکر تکان داده شد. سپس۳ دقیقهبه حال خود مانده و قرائت نمونه ها توسط دستگاهspectrophotometeryبا طول موج۴۲۰نانومتر در فاصله ی زمانی ۵ تا حداکثر ۸ دقیقه انجام شد (Schulte &Elik,1988).

- **اندازه گیری آهن و روی قابل استفاده خاک**

برای اندازه‌گیری آهن و روی قابل استخراج از روش لیندزی (۱۹۷۸) استفاده شد. ۱۰گرم خاک هواخشک درون ظروف پلی‌اتیلنی ۱۰۰ میلی‌لیتری شسته شده با اسید ریخته، به آنها ۲۰ میلی‌لیتر از محلول عصاره‌گیر ۰/۰۰۵ مولار DTPA، ۰/۱ مولار تری اتانول آمین و ۰/۰۱ مولار کلرید کلسیم بافر شده در pH =۷/۳ اضافه شد. درب ظروف با استفاده از درپوش و پارافیلم بخوبی بسته شد. سپس نمونه‌ها به مدت دو ساعت روی یک تکان دهنده رفت و برگشتی با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه تکان داده شدند. بعد از دو ساعت تکان دادن، سوسپانسیونها از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ عبور داده شده و محلول زیرین جمع‌آوری شد. در نهایت غلظت آهن و روی در نمونه‌های صاف شده با استفاده از استانداردهای مناسب و بوسیله دستگاه جذب اتمی قرائت شد.

- **شمارش باکتری های تیوباسیلوس در خاک**

۲/۵ گرم خاک با ۱۲/۵ میلی لیتر آب مقطر مخلوط گردید.۵ عدد لوله‌ی آزمایش دربسته حاوی ۹ میلی‌لیتر آب مقطر در اتوکلاو با دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۰ دقیقه استریل گردید. لوله‌ها از ۱ تا ۵ شماره‌گذاری و به ترتیب درون جا لوله‌ای قرار داده شد.در شرایط استریل (کنار شعله یا زیر هود) یک میلی‌لیتر از مخلوط خاک به لوله‌ی شماره‌ی ۱ منتقل شد. محتوای لوله خوب مخلوط گردید تا رقت 10^{-1} تهیه شود. سپس یک میلی‌لیتر از آن در شرایط استریل به لوله‌ی بعدی (لوله شماره ۲) منتقل گردید.این کار تا رسیدن به رقت 10^{-5} در لوله شماره ۵ تکرار گردید. از هر درجه رقت، ۰/۱ میلی لیتر از مخلوط حاصل در محیط کشت پستگیت[۵][۹]که یک محیط غنی برای رشد باکتری تیوباسیلوس می باشد کشت داده شد. پلیت های حاوی محیط کشت در انکوباتور در دمای ۳۲ درجه به مدت یک هفته قرار داده شد.سپس تعداد کلنی‌ها شمارش گردید.

[5] Postgate [9]

- **اندازه گیری غلظت کل گوگرد در اندام هوایی**

۰/۳ گرم گیاه آسیاب شده توزین و به لوله های هضم نیتروژن منتقل شد. به لوله ها ۴میلی لیتر آب اکسیژنه و ۲ میلی لیتر اسید پرکلریک اضافه گردید. لوله ها در بلوک هضم به مدت ۳۰ دقیقه تا دمای ۵۰ درجه سانتیگراد حرارت داده شدند. سپس نمونه ها به مدت یک ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد. و پس از دمای اجاق تا ۲۰۰ درجه بالا برده شد. در این دما که دمای جوش پرکلریک است اسید مزبور وارد واکنش شده و گازهای سفید متصاعد می شود. هضم تا بیرنگ شدن نمونه ها ادامه یافت. بعد از خنک شدن، حجم نهایی نمونه ها با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده شد. عصاره ها به هم زده شد و به مدت یک شب به حال خود رها گردید تا رسوب سولفات تشکیل گردد. ۲ میلی لیتر از محلول گاما آکاسیا (صمغ عربی) به هرکدام از ارلن ها اضافه شد. سپس یک گرم کریستال کلرید باریوم اضافه گردید و پس از یک دقیقه، ۸ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد. نمونه ها تکان داده شد تا کریستال ها حل شود. در فاصله زمانی ۳ تا۸ دقیقه کدورت نمونه ها در طول موج ۴۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد (Huang & Schutle 1985)

۴-۳-۲- بررسی معدنی شدن گوگرد عنصری در شرایط رطوبتی و حرارتی مختلف

۱-۴-۳-۲- مطالعات مقدماتی

این تحقیق در موسسه تحقیقات خاک وآب از سال ۱۳۹۳ و به مدت دو سال اجرا شد. در ابتدا ۳۴ سری خاک از عمق ۳۰-۰ سانتیمتری بر اساس درصد آهک و کربن آلی (جدول۱۳) از افق A مناطق آگرواکولوژیکی مختلف کشور از ۱۳ استان نمونه برداری و جمع آوری شد که فهرست و مشخصات طول و عرض جغرافیایی آن‌ها در جدول نشان داده شده است.

جدول ۲-۱۴- درصد فراوانی خاک‌های مورد آزمایش

کربن آلی (درصد)	درصد فراوانی	آهک (درصد)	درصد فراوانی	گوگرد قابل جذب (میلی گرم در کیلوگرم)	درصد فراوانی
۰-۰/۵	۳۵	۲۰-۰	۴۴	<۱۲	۵۰
۰/۱-۵	۴۱	۴۰-۲۰	۳۰	۲۰-۱۲	۱۲
>۱	۲۱	>۴۰	۲۶	>۲۰	۳۸

جدول ۲- ۱۵- مشخصات خاک‌های مناطق مورد آزمایش

استان	منطقه	سری	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	فاکتور اندازه‌گیری
اصفهان	فریدون اصفهان	سری دره بید	۳۷ ′۲۷ °۵۰	″۵۶.۴ ′۰۴ °۳۳	آهک
اصفهان	منطقه مرکزی اصفهان	سری لنجان	۵۰ ″۰۰ °۵۲	″۰۳ ۳۴′ °۳۲	آهک
اصفهان	زرین‌شهر، طالخونچه	سری طالخونچه	۲۴ ′۲۷ °۵۱	″۵۴.۸ ۲۲′ °۳۲	آهک
آذربایجان شرقی	منطقه میانه	سری درین میانه	۱۸ ′۲۹ °۴۷	۴۳ ۳۴′ °۳۷	کربن آلی
آذربایجان شرقی	منطقه هشترود	سری بالستان	۳۶ ′۴۲ °۴۶	۴۸ ۴۶′ °۳۷	آهک
آذربایجان غربی	منطقه شاهین دژ	سری زرینه رود	۰۰ ′۳۳ °۴۶	۰۰ ۴۰′ °۳۶	آهک
آذربایجان غربی	منطقه بوکان	سری گوگ تپه	۱۲ ′۱۴ °۴۶	۳۰ ۴۳′ °۳۶	آهک
بوشهر	اراضی پشت کوه	سری بوشگان	۱۵ ′۴۲ °۵۱	۵۳ ۴۷′ °۲۸	آهک
بوشهر	اراضی دشت پلنگ	سری دوچنگ	۱۹ ″۰۲ °۵۲	۲۵ ۲۳′ °۲۸	آهک
بوشهر	اراضی پشت کوه	سری امامزاده بده	۵۱ ′۴۴ °۵۱	۵۳ ۴۷′ °۲۸	کربن آلی
چهارمحال و بختیاری	اراضی دشت فلارد	سری فلارد	۲۰ ′۱۳ °۵۱	۲۰ ۱۷′ °۳۱	کربن آلی
خراسان	دشت اسفراین	سری قاسم خانی	۵۸.۱۸ ″۸۵ ′۴۰ °	۳۶ ۵۶′ °۵۲	آهک
خراسان	دشت اسفراین	سری ابراهیم آباد	۶۰.۲ ″۹۰ ′۴۰ °	۵۰ ۸۳′ °۵۰	کربن آلی
خراسان	اراضی دشت گناباد	سری سراجی گناباد	۱۳.۱ ″۱۲ ′۳۸ °	۲۳ ۳۵′ °۶۵	آهک
خراسان	اراضی دشت سبزوار	سری شمسا(۱۰۷)	۳۳ ″۰۹ ′۴۰ °	۹۹ ۰۵′ °۵۹	آهک
خوزستان	اراضی شمال شادگان	سری علی عگده	۳۰ ′۵۷ °۴۸	۳۰ ۰۷′ °۳۱	آهک
خوزستان	اراضی شمال شادگان	سری عطیش	۱۲ ′۵۶ °۴۸	۴۲ ۵۹′ °۳۰	کربن آلی
خوزستان	امیدیه	سری شیخ شجاع	۳۶ ′۴۰ °۴۹	۱۸ ۴۹′ °۳۰	آهک
خوزستان	رامهرمز	سری جذوشی	۰۲ ′۳۱ °۴۹	۳۳ ۱۳′ °۳۱	آهک
سمنان	دشت بسطام	سری خرقانی	۱۸ ′۰۴ °۵۵	۴۸ ۳۵′ °۳۶	آهک
فارس	دشت های تنگ حنا	سری ۵ (زرقان)	۰۵ ″۰۵ °۵۴	۱۰ ۲۹′ °۲۹	آهک
فارس		سری سروستان	۲۸ ′۰۳ °۵۴	۳۱ ۲۹′ °۲۹	آهک
فارس	دشت‌های تنگ حنا	سری دق	۴۸ ′۰۴ °۵۹	۵۰ ۲۷′ °۲۹	کربن آلی
فارس	لارستان	سری شورجه	۱۷ ′۱۶ °۵۵	۰۲ ۵۶′ °۲۷	آهک
کرمان	جیرفت و مسافرآباد	سری قدمگاه	۱۱ ″۰۱ °۵۷	۳۰ ۴۵′ °۲۷	آهک
کرمان	جیرفت و مسافرآباد	سری کم سرخ	۰۶ ′۵۳ °۵۷	۳۶ ۰۶′ °۲۸	کربن آلی
کرمان	رودبار کهنوج	سری سابوکی	۱۸ ′۲۸ °۵۸	۰۲ ۴۹′ °۲۷	آهک
کرمانشاه	منطقه سنقروکلیائی	سری شریف‌آباد	۳۲ ′۳۱ °۴۷	۴۵ ۴۳′ °۳۴	کربن آلی
گلستان	سد حبیب ایشان	سری قزلر	۳۹ ′۲۴ °۵۴	۳۱ ۰۷′ °۳۷	آهک
گلستان	جنوب گنبد	سری قراول تپه	۳۵.۳۹ ″۰۳ ′۵۵ °	۳۵.۲۵ ۱۷′ °۳۷	کربن آلی
لرستان	دشت‌های خرم‌آباد	سری تپه گچی	۳۶ ″۲۰ ′۴۸ °	۲۳ ۳۲′ °۳۳	آهک
مازندران	اراضی غرب استان مازندران	سری فرم	۸۸.۹ ″۵۲ ′۴۰ °	۴۸ ۸۱′ °۶۳	آهک
مازندران	غرب استان مازندران	سری بابل	۷۵.۵ ″۴۵ ′۴۰ °	۵۵ ۲۵′ °۶۲	آهک
هرمزگان	منطقه جاسک	سری ساحل	۳۶ ′۳۱ °۵۸	۴۸ ۳۸′ °۲۵	آهک

۲-۴-۳-۲- شرایط آزمایشگاهی

نمونه‌های خاک جمع آوری شده از ۱۳ استان کشور، پس از آماده سازی، هوا خشک شده و از الک ۲ میلی-متر عبور داده و بافت خاک، درصدرطوبت اشباع نسبی، pH، هدایت الکتریکی، عناصر غذایی کم و پرمصرف، ظرفیت تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم کل، کربن آلی، گوگرد قابل جذب، گوگرد آلی، سولفات با استفاده از روش‌های متداول آزمایشگاهی اندازه‌گیری شدند که نتایج تجزیه آن‌ها در جدول ۶ نشان داده شده است. گوگرد آسیاب شده از الک ۰/۱ سانتیمتری و باقیمانده آن به‌وسیله الک ۰/۰۵ سانتیمتری عبور داده شد که متوسط قطر ذرات حدود ۰/۰۷۵ سانتیمتر بود. این تحقیق از سال ۱۳۹۲ و به مدت دو سال و به صورت دو آزمایش جداگانه انجام شد.

- آزمایش اول

تأثیر دو شرایط رطوبتی (۴۰ و ۶۰ درصد رطوبت اشباع نسبی) و چهار سطح گوگرد (صفر، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) از منبع گوگرد عنصری به همراه باکتری تیوباسیلوس و ماده آلی، در سه تکرار و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی بر۳۴ سری خاک به مدت یک سال و در درجه حرارت ثابت ۲۵درجه سانتی گراد در اتاقک انکوباتور آزمایشگاه موسسه تحقیقات خاک وآب بررسی شد.

برای انجام این تحقیق در ابتدا مقدار ۸۰۰گرم خاک هوا خشک با یا بدون گوگرد در داخل ظرف‌های پلاستیکی ۱۵۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد. خاک در داخل هر ظرف پلاستیکی به‌صورت دستی فشرده شده تا وزن مخصوص حدود ۱/۵ گرم بر سانتی مکعب ایجاد شود. سپس نسبت به اعمال تیمارهای کودی همراه با باکتری تیوباسیلوس اقدام شد. در این آزمایش به ازای هر ۱۰۰ کیلوگرم کود گوگرد مصرفی در هکتار، ۴ کیلوگرم باکتری تیوباسیلوس ازگونه T. neapolitanous که حامل آن پرلیت و توسط بخش تحقیقات بیولوژی موسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شده بود، استفاده شد. وزن یک هکتار به طورتقریبی ۳میلیون کیلوگرم فرض شد و مقدار ۱۰ تن درهکتار ورمی کمپوست برای تسریع در عمل اکسایش گوگرد به طور یکنواخت در تمام تیمارها مصرف شد. با استفاده از پیپت فاین جت، آب مقطر به نمونه‌های خاک اضافه تا به رطوبت مورد نظربر اساس تیمارهای رطوبتی ۳۰ و۶۰ درصد رطوبت اشباع نسبی برسد. درب هر ظرف با استفاده از پارافیم بسته شد (جهت جلوگیری از تبخیر). روی درب قوطی ها چند سوراخ برای انجام تهویه مناسب تعبیه شد. سپس ظرف‌ها در دمای موردنظر در انکوباتور نگهداری شدند. کنترل رطوبت به‌وسیله روش

وزنی و در فواصل ۴۸ ساعت تنظیم رطوبت انجام شد. درپایان هر دوره نگهداری شده، خاک‌ها را از ظرف‌ها برداشته، خوب مخلوط شده و برای تجزیه های های مختلف استفاده شد. pH و هدایت الکتریکی خاک در نسبت خاک به آب 1:2.5 (W/V) در زمان‌های صفر، ۳، ۷، ۱۵، ۲۵، ۴۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۷۰ و ۳۶۰ روز ، اندازه‌گیری شدند. غلظت فسفر با استفاده از روش اولسن در زمان‌های صفر، ۴۰،۸۰،۱۲۰و۳۶۰ روز، غلظت سولفات با استفاده از روش کلرور کلسیم ۱۵٪ در زمان‌های صفر، ۲۵، ۶۰ و ۳۶۰ روز، غلظت آهن و روی با استفاده از عصاره‌گیر DTPA در زمان‌های ۴۰،۸۰،۱۲۰و۳۶۰ روز اندازه‌گیری شدند.

- آزمایش دوم

تأثیر سه شرایط حرارتی (۱۴، ۲۵ و ۳۶ درجه سانتی گراد) و در چهار سطح گوگرد (صفر، ۵۰۰ ، ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) از منبع گوگرد پاستیل شده در ۶۰ درصد رطوبت اشباع نسبی به همراه باکتری تیوباسیلوس و ماده آلی، در زمان‌های ۱۴، ۲۸ و ۴۲ روز، در سه تکرار و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی روی ۱۰ نمونه خاک که ازنظر روند اکسیداسیون متفاوت بودند، بررسی شد.

۱۰سری خاک در این آزمایش عبارت بودند از :

۱- قزلر۲- زرینه رود ۳- قدمگاه ۴- دره بید ۵- بالستان ۶- طالخونچه ۷- بابل ۸- قاسم خانی ۹- گناباد ۱۰- شریف آباد

غلظت گوگرد آلی به‌وسیله روش (Bandsely and Lancaster,1965)، غلظت سولفات در محلول به‌وسیله روش تور بیدومتری (Chesnin and Yien, 1951) معدنی شدن گوگرد آلی بومی خاک به‌وسیله افزایش در گوگرد قابل عصاره‌گیری با ٪ ۰/۱۵ کلرور کلسیم در خاک (اینکواب شده بدون گوگرد (تیمار نشده) در زمان t که زمان اولیه آن t^o است اندازه‌گیری شد (Haque and Walmsley, 1972).

میزان اکسیداسیون اکسیداسیون گوگرد عنصری در طی زمان‌های مختلف به‌وسیله معادله زیر محاسبه شد.

جانزن وبتانی (Janzen and Bettany, 1987) این معادله را برای زمان کوتاه‌تر بهبود دادند، به شرطی که اندازه ذرات گوگرد تغییر زیادی پیدا نکند. مقدار m_o و D_o برای اولین دوره نگهداری شده مشخص است این مقدار برای دوره‌های بعدی به‌وسیله روش زیر محاسبه شد.

$$K= (1-(1-m/m_o)^{1/3} z\ Do/2t)$$

K: میزان اکسیداسیون (میکروگرم گوگرد در سانتی‌متر مربع در روز).

m: جرم (میکروگرم) گوگرد اکسیدشده (ازطریق افزایش غلظت گوگرد قابل عصاره گیری با ۰/۱۵ درصد کلرور کلسیم در خاک تیمار شده نسبت به تیمار نشده در همان زمان محاسبه شد).

m_o: جرم گوگرد عنصری (میکروگرم) در زمان اولیه هر دوره نگهداری در انکوباتور. برای اولین دوره نگهداری در انکوباتور ۳-۰ روز این مقدار ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار و برای زمان‌های بعدی مقدار گوگرد اکسیدشده در زمان قبل از مقدار اولیه کم شد.

Z: دانستیه گوگرد (2.07× 106 µg Cm-3).

t : زمان نگهداری در انکوباتور (به‌طور مثال ۳ روز).

Do: قطر ذرات گوگرد در شروع هر دوره نگهداری در انکوباتور (این مقدار برای اولین دوره ۰-۳ روز، ۰/۰۷۵سانتیمتر است). برای دوره‌های بعدی با فرض ذرات کروی گوگرد و استفاده از جرم و تعداد ذرات در پایان هر دوره تخمین زده شد.

۳-۴-۳-۲- آزمایشات مزرعه ای

این آزمایش در سال های زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵، در چهار منطقه استان کرمانشاه (چغا نرگس، ایستگاه تحقیقاتی ماهیدشت، نجف‌آباد و قمشه) که خاک‌های مزارع آزمایشی از مقادیر مختلف گوگرد قابل جذب (۷، ۱۳، ۱۸و ۲۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) برخوردار بودند، بر روی سه گیاه ذرت دانه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴، گندم آبی رقم پیشگام و کلزای آبی رقم اپرا انجام شد. این آزمایش شامل چهار تیمار گوگرد عنصری (۰،۲۵۰،۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) همراه با مصرف باکتری تیوباسیلوس بود که در سه تکرار و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به اجرا درآمد. قبل از کاشت یک نمونه خاک مرکب از عمق صفر الی ۳۰ سانتی‌متری از هر چهار مزرعه برای تعیین ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک تهیه که نتایج تجزیه آن-ها در جدول۵ نشان داده شده است.

گوگرد عنصری به صورت پودری بر اساس تیمارهای کودی همراه با باکتری تیوباسیلوس۲۰ روز قبل از کاشت کاملاً با خاک مخلوط شد. مقدار مصرف باکتری تیوباسیلوس به مقدار ۴ کیلوگرم به ازای هر ۱۰۰ کیلوگرم کود گوگرد مصرفی در هکتار و از بخش بیولوژی موسسه تحقیقات خاک وآب تهیه شد. مصرف کودهای شیمیایی برای هر منطقه بر اساس تجزیه خاک مربوطه و کود حیوانی پوسیده شده به مقدار ۵ تن در هکتار بطور یکنواخت در تمام تیمارها و ۲۰ روز قبل از کاشت مصرف شدند. در هر سه محصول، مساحت هرکرت آزمایشی ۱۶مترمربع (۴ متر طول و ۴ متر عرض) بود. فاصله فاروها، بذور و تاریخ‌های کاشت برای هر کدام از محصولات در جدول۳ نشان داده شده است. آبیاری در هر چهار مزرعه با استفاده از روش بارانی

بود. سایر عملیات زراعی شامل وجین علف‌های هرز، تنک کردن و مبارزه با آفات و بیماری‌ها بر اساس نیاز انجام شد. همچنین نمونه‌برداری از خاک در سه مرحله بر اساس مرحله فنولوژی برای هر محصول برای تعیین pH، هدایت الکتریکی، فسفر، گوگرد، روی و آهن قابل‌استفاده انجام شد (جدول۴). در نمونه‌های خاک، بافت به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962)، کربن آلی خاک به روش والکلی و بلک (Walkley and Black, 1934)، pH گل اشباع به‌وسیله الکترود شیشه‌ای (McLean, 1982)، هدایت الکتریکی عصاره اشباع با دستگاه هدایت سنج (Black et al., 1965)، فسفر قابل‌جذب (Olsen, 1954)، آهن و روی با عصاره گیر DTPA (Lindsay and Norvell, 1978) و با دستگاه جذب اتمی و گوگرد به روش منو کلسیم فسفات (Fox et al., 1964b) اندازه‌گیری شد. در عملیات برداشت برای حذف اثر حاشیه‌ای چندردیف وسط (بستگی به فاصله ردیف یا فاروها) با حذف ۰/۵ متر از هر انتها برداشت شدند. پس از برداشت محصول و محاسبه عملکرد، نمونه‌های دانه برای اندازه گیری عناصر غذایی آماده شد که پس از شتشو با آب مقطر و با آون در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد خشک و توسط آسیاب پودر شدند. سپس مقدار ۰/۵ گرم از نمونه آسیاب شده به روش هضم مرطوب روی اجاق الکتریکی در دمای ۲۰۰ الی ۳۰۰ درجه سانتی گراد قرارداده و نیتروزن کل به روش کجلدال

(Buresh et al., 1982)، فسفر به روش طیف سنجی و با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر، گوگرد به روش کدورت سنجی و با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۲۰ نانومتر، آهن و روی به روش خاکستر کردن خشک و با دستگاه جذب اتمی (Ryan et al., 2007) قرائت شدند.تجزیه وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C و مقایسه داده‌ها با روش دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد.

در آزمایش‌های مزرعه ای برای تجزیه وتحلیل داده‌ها از روش‌های آماری به شرح زیر استفاده شد.

۱- اثر اصلی: به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی

۲- اثر گوگرد و زمان نمونه برداری: از طرح کرت های خرد شده در زمان (طرح پایه: بلوک‌های کامل تصادفی).

۳- اثر گوگرد و زمان نمونه برداری و مکان: از طرح کرت‌های خرد شده در زمان و مکان

جدول۲-۱۶- مشخصات زراعی محصولات کشت شده

محصول	رقم بذر	فاصله بذر (سانتی متر)	فاصله فاروها/ ردیف ها (سانتی متر)	تاریخ کاشت	زمان نمونه برداری از خاک
ذرت	۷۰۴	۱۷	۷۵	۱۵اردیبهشت۹۴	مرحله ۷-۶ برگی، قبل از ظهورگلهای نر و پس از برداشت
کلزا	اوپرا	۵	۲۰	۲۷-۳۰شهریور ۹۴	مرحله روزت، ساقه رفتن و پس از برداشت
گندم	پیشگام	۲/۵	۲۰	۵-۸ آبان ۹۴	مرحله پنجه زنی، ساقه رفتن و پس از برداشت

سطح زیر کشت گندم، ذرت دانه ای و کلزای آبی در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در استان کرمانشاه به ترتیب ۱۰۷، ۳۲ و ۴۰۰۰ هزار هکتار و در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ به ترتیب ۱۰۸، ۱۸ و ۲ هزار هکتار بود (آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی). مقدار بارندگی در مناطق مورد آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴، میلیمتر بود.

۴-۴-۳-۲- تعیین حد بحرانی گوگرد

همچنین برای تعیین حد بحرانی گوگرد، نتایج پس از بررسی‌های مقدماتی و گروه‌بندی داده‌ها، با استفاده از روش تصویری کیت ــ نلسون (۱۹۷۱) تفسیر و نتایج به‌دست‌آمده‌مورد مقایسه قرار گرفت.

مراحل انجام روش تصویری کیت ــ نلسون به ترتیب زیر است:

۱-درصد عملکرد نسبی از مطالعات سطوح کودی با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\text{عملکرد نسبی (درصد)} = \frac{\text{عملکرد در سطح صفر یا سایر سطوح عنصر غذایی مورد مطالعه}}{\text{بالاترین عملکرد}} \times 100$$

۲- در نمودار، محل تلاقی درصد عملکرد نسبی با نتایج تجزیه‌های خاک و گیاه نقطه‌گذاری شد.

۳- خطی عمود بر محور Y ها از۹۵ درصد عملکرد با استفاده از نرم‌افزارExcel ترسیم شد. سپس خطی عمود بر محور X ها طوری ترسیم شد که نمودار پراکنش X-Y به چهار قسمت تقسیم و بیشترین نقاط درربع‌های اول و سوم قرار گرفتند.

۴- محل تلاقی خط عمود بر محور X ها حد بحرانی گوگرد در خاک در نظر گرفته شد.

۵-۳-۲- جداسازی و شناسایی باکتری های اکسید کننده گوگرد از نمونه‌های خاک و آب ایران ؛ بررسی تاثیر مواد افزودنی در افزایش ماندگاری باکتری‌های اکسید کننده گوگرد و پوشش‌دهی گرانول‌های گوگرد با باکتری‌های فرموله شده

۱-۵-۳-۲- جداسازی و شناسایی تیوباسیلوس‌های هالوفیل (هالوتیوباسیل‌ها) اکسید کننده گوگرد از نمونه‌های خاک و آب ایران

۲-۵-۳-۲- جداسازی و شناسایی باسیلوس‌های گرم مثبت اسپوردار اکسید کننده گوگرد از نمونه‌های خاک و آب ایران

۳-۵-۳-۲- بررسی تاثیر مواد افزودنی در افزایش ماندگاری باکتری‌های اکسید کننده گوگرد و پوشش‌دهی گرانول‌های گوگرد با باکتری‌های فرموله شده

از آنجا که مراحل و روش انجام کار در فعالیت‌های**۲-۳-۵-۱** و **۲-۳-۵-۲** تقریباً مشابه بوده، روش کار به اختصار و توأم ذکر شده است.

مراحل انجام کار:

- **نمونه برداری :**

از آنجا که هدف از این مطالعه دسترسی به هالوتیوباسیل‌ها و باسیلوس‌های گرم مثبت اسپوردار اکسید کننده گوگرد بوده است، حدود ۲۰ نمونه آب و رسوبات از چشمه‌ها و تالاب‌های گوگردی و دریاچه‌های شور، ۲۵ نمونه خاک از مناطق شور کشور، ۵ نمونه خاک اراضی کشاورزی و همچنین ۲ نمونه کود آلی از استان‌های مختلف جمع آوری شد. به دلیل هوازی بودن باکتری‌های اکسید کننده گوگرد و تجمع بیشتر آن‌ها در لایه-های سطحی آب و خاک (سوروکین و کوئنن، ۲۰۰۵)، نمونه‌گیری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری صورت گرفت. نهایتا نمونه‌ها در ظروف اسیدشویی شده ریخته و به یخچال ۴ درجه سلسیوس در آزمایشگاه انتقال داده شدند.

- **آنالیز خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها:**

آنالیز خصوصیات فیزیکی و شیمیایی هر یک از نمونه‌ها شامل EC، pH، غلظت پتاسیم قابل جذب، غلظت فسفر قابل جذب خاک، نیتروژن خاک وغیره طبق روش‌های ارائه شده در کتاب آنالیزهای خاک و آب موسسه تحقیقات خاک و آب کرج انجام شد.

- **جداسازی و غربالگری هالوتیوباسیل‌ها و باسیلوس‌های گرم مثبت و اسپوردار اکسید کننده گوگرد از نمونه‌ها**

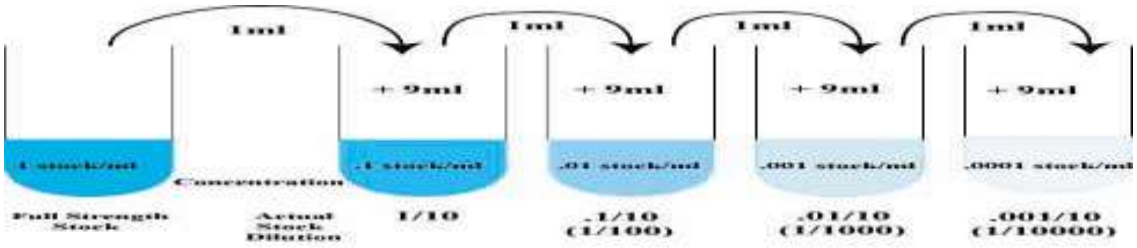
این کار طی ۱۰ مرحله به شرح ذیل صورت می‌گیرد:

۱- انتخاب و بهینه سازی محیط کشت:

۲- مطالعات زیادی در جهان به منظور دستیابی به محیط کشتی مناسب برای جداسازی انواع باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد انجام شده است (البارا و همکاران،[۶]۲۰۰۷؛ سوروکین و همکاران، ۲۰۰۶). اما تا کنون در هیچ مطالعه‌ای به بررسی و مقایسه این محیط‌های کشت با یکدیگر و انتخاب بهترین آن‌ها جهت جداسازی انواع بیشتری از این باکتری‌ها صورت نگرفته. در این راستا جمعیت اولیه باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد ۱۰ نمونه خاک، آب و رسوبات در ۵ محیط کشت متفاوت 9K (سیلورمن[۱]و لاندگرن،[۲]۱۹۵۹[۶۲]؛ SLM (البارا و همکاران، ۲۰۰۷) ، mineral media (MM) (سوروکین و همکاران، ۲۰۰۶)، Postgat (PG) (نور و طباطبایی، ۱۹۷۷) و modified Starkey medium (MST) (روجاس‌اولیزاپا و همکاران،[۴]۲۰۱۳[۶۴]) شمارش و مقایسه شد تا کارآمدترین این محیط‌ها جهت جداسازی این نوع از باکتری‌ها تعیین گردد (شکل ۲-۴ و ۲-۵). به این منظور، مقدار ۱۰گرم (۱۰ سی سی) از نمونه خاک، آب یا رسوب به ارلن های حاوی ۹۰ میلی‌لیتر آب مقطر

1- Ibarra et al
2- Silverman
3- Lundgren
4- Modified Sublette's medium
5- Rojas-Avelizapa et al

منتقل و ارلن‌ها به مدت نیم ساعت بر روی شیکر انکوباتور در دما و دور به ترتیب ۲۸ درجه سانتی‌گراد و دور ۱۸۰ قرار داده شد. پس از تهیه سری رقت از ارلن‌ها، مقدار ۰/۱ میلی‌لیتر از هر رقت (در سه تکرار) به پلیت-های (۲ در صد آگار) مربوط به پنج محیط کشت مذکور در بالا انتقال داده شد (سای‌اورت و همکاران،[65] ۱۹۹۹). قابل ذکر است که به ازای هر لیتر از تمامی محیط کشت‌های مذکور، مقدار یک میلی‌لیتر محلول عناصر کم‌مصرف (ویشنیاک[66] و سانتر،[67] ۱۹۵۷) و ۵ گرم تیوسولفات‌سدیم (به عنوان منبع گوگرد) اضافه شد. pH تمامی محیط‌ها بر روی ۷ تنظیم گردید. نهایتا پلیت‌ها به مدت یک هفته در انکوباتور ۲۸ درجه سانتی-گراد گرماگذاری و سپس جمعیت باکتری‌ها بر روی آن‌ها شمارش شد.



شکل شماره ۲-۶- تهیه سری رقت از هر ارلن و انتقال به پتری دیش های حاوی آگار

شکل۲-۷- تغییر رنگ محیط از سبز به زرد در اثر رشد باکتری‌های اکسید کننده گوگرد و اسیدی شدن محیط

[7]- Sievert
[8]- Vishniac
[9]- Santer

نهایتا از بین انواع محیط کشت‌های مورد بررسی و بر اساس نتایج شمارش جمعیت باکتری در ده نمونه اولیه، محیط کشت 9K به دلیل بیشتر بودن تعداد و تنوع ایزوله‌های به دست آمده بر روی آن، به عنوان مناسب‌ترین محیط کشت برای جداسازی انواع باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد انتخاب و مطالعات بعدی بر روی آن انجام شد.

۳- غنی سازی و کشت نمونه‌ها

با توجه به نتایج شمارش جمعیت باکتری در نمونه‌ها، در اکثر موارد جمعیت باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد بسیار کم و حتی صفر بود، که این خود به دلیل وجود مقدار کم ترکیبات گوگرد احیا شده در محیط به عنوان منبع غذایی برای این موجودات می‌باشد. به همین خاطر در ادامه برای جداسازی تعداد بیشتری از باکتری‌ها از هر نمونه اقدام به غنی‌سازی نمونه‌ها گردید. به این منظور، ۱۰گرم (۱۰ میلی‌لیتر) از هر نمونه خاک، رسوبات یا آب را به ارلن‌های حاوی ۹۰ میلی‌لیتر از محیط کشت 9K ریخته و به مدت دو هفته در گرمخانه شیکردار و در دما و دور به ترتیب ۲۸ درجه و ۱۸۰ rpm قرار داده شد. در این فاصله pH محیط‌ها روزانه اندازه‌گیری و از طریق اسید یا باز بر روی ۷ ثابت نگه داشته شد. پس از مدت زمان مذکور، مقدار ۲ میلی‌لیتر از نمونه هر ارلن به ارلن‌های جدید حاوی محیط کشت 9K منتقل شد. اینبار ارلن‌ها به مدت یک هفته بر روی شیکر نگهداری شدند. بدین ترتیب اولین ساب‌کالچر گرفتن روی محیط مایع انجام شد. ساب‌کالچر گرفتن روی محیط مایع ۲ تا ۳ بار صورت گرفت. سپس به منظور دسترسی به کلنی‌های خالص از ارلن نهایی مقدار یک میلی‌لیتر به پلیت مربوط به هر محیط کشت انتقال داده شد. پلیت‌ها به مدت دو هفته در انکوباتور گرماگذاری شدند. به منظور دسترسی به ایزوله‌های کاملا خالص، هر پلیت سه بار خالص سازی شد.

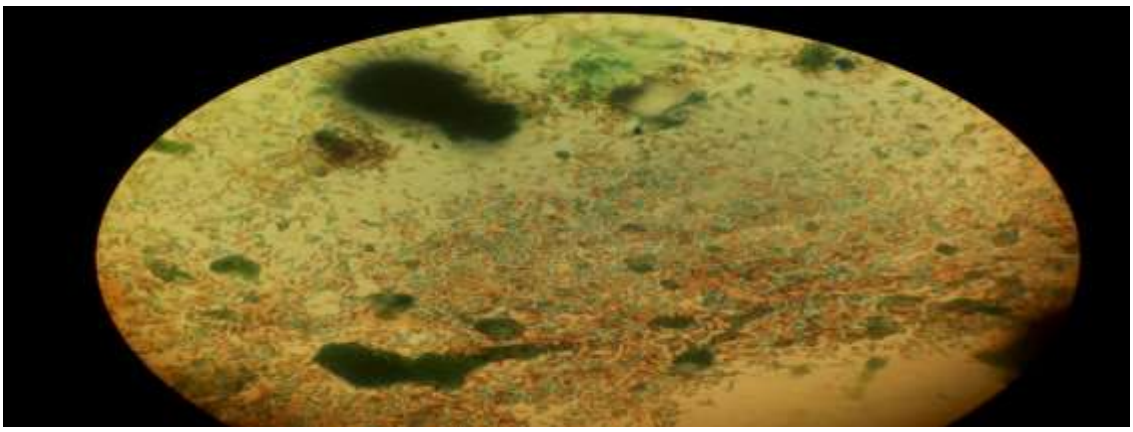
۴- غربالگری ایزوله‌های جدا سازی شده

به دلیل زیاد بودن تعداد ایزوله‌های به دست آمده از نمونه‌ها (در مجموع ۵۷ ایزوله)، در مرحله اول و به منظور حذف ایزوله‌های غیر کارآمد، مقدار یک لوپ از هر ایزوله به ارلن‌های حاوی ۵۰ میلی‌لیتر براث 9K با ۷ = pH منتقل شد. ارلن‌ها به مدت یک هفته در گرمخانه شیکردار (دما ۲۸ درجه و دور ۱۸۰ rpm) نگهداری و نهایتا تنها ۴۰ ایزوله که قادر به تغییر رنگ معرف در کمتر از یک هفته شدند، انتخاب و در آزمایشات بعدی مورد استفاده قرار گرفتند.

۵- شناسایی مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ایزله‌های جدا شده:

جهت شناسایی ایزوله‌های منتخب، در ابتدا صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی هر یک از ایزوله‌ها بر اساس اطلاعات موجود در کتاب برگی (وایتمن و همکاران، ۲۰۱۲) برای باکتری‌های جنس باسیلوس گرم مثبت اسپوردار و جنس هالوتیوباسیل بررسی و مشخص شد.

از مهمترین پارامترهای شناسایی مورفولوژیک یک باکتری، تعیین واکنش گرم، وجود یا عدم وجود اسپور و شکل سلول آن می‌باشد. از آنجا که هدف این مطالعه دسترسی به باسیل‌های گرم مثبت اسپوردار و هالوتیوباسیل‌های میله‌ای و گرم منفی بوده است، در ابتدا آزمون واکنش گرم انجام شد تا ایزوله‌های با این ویژگی‌ها از سایر اشکال باکتری غربالگری گردند (شکل ۲-۶). نتایج رنگ‌آمیزی‌های گرم و اسپور نشان داد که نه تنها هیچ یک از ایزوله‌های جداسازی شده جز باکتری‌های جنس باسیل گرم مثبت اسپوردار نبودند، بلکه تنها ۲۸ ایزوله از لحاظ ظاهری با باکتری‌های جنس هالوتیوباسیل (میله‌ای کوتاه و گرم منفی) مطابقت داشتند، که آزمون‌های بعدی تنها بر روی این ایزوله‌ها انجام شد.



شکل۲-۸- آزمون واکنش گرم و گرم منفی و فاقد اسپور بودن تمامی ایزوله‌های جداسازی شده

۶- بررسی توان رشد در محیط کشت مایع و اندازه گیری مقدار افتpH:

با تلقیح هر سویه به براس 9K با pH مشخص، توان اکسیداسیون گوگرد هر ایزوله از طریق تغییر رنگ محیط (شکل ۲-۷) از سبز به زرد و میزان کاهش pH محیط بررسی و تایید شد.

شکل۲-۹- تغییر رنگ محیط از سبز به زرد در اثر رشد باکتری‌های اکسید کننده گوگرد و اسیدی شدن محیط

۷- بررسی توان اکسیداسیون منابع مختلف گوگرد (تیوسولفات، تتراتیونات، تیوسیونات و گوگرد عنصری) توسط ایزوله‌ها:

در این آزمایش از محیط کشت 9K حاوی به ترتیب و به طور جداگانه ۰/۵٪ تیوسولفات سدیم، ۰/۵٪ تیوسیونات پتاسیم، ۰/۵٪ تتراتیونات و ۱٪ گوگرد عنصری بعنوان تنها منبع انرژی استفاده و توان رشد باکتری بر روی آن‌ها از روی تغییر رنگ معرف بررسی شد.

۸- مقدار سولفات تولیدی هر ایزوله در غلظت‌های مختلف (نیم و یک مولار) نمک NaCl:

به منظور دسترسی به مناسب‌ترین روش اندازه‌گیری مقدار سولفات تولیدی ایزوله‌ها روش‌های مختلف اندازه-گیری مورد استفاده در مقالات معتبر مورد بررسی و آزمایش قرار گرفت. نهایتا از روش ارائه شده توسط sing و همکاران (۱۹۸۴) به عنوان به مناسب‌ترین روش استفاده شد.

به این منظور۱۰۰ میکرولیتر از سوسپانسیون هر باکتری به ارلن های حاوی ۲۰ سی سی محیط 9K با غلظت مشخص تیوسولفات سدیم و نمک کلرید سدیم (۰، نیم و یک مولار) تلقیح شد. ارلن‌ها به مدت دو هفته بر روی شیکر قرار داده شدند. پس از اتمام دوره زمانی مورد نظر میزان جذب سولفات در نمونه ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و در طول موج ۴۲۰ نانومتر قرائت شد.

۹- شناسایی مولکولی سویه های منتخب باروش16s rRNA

یکی از معتبر ترین روش ها جهت شناسایی باکتری ها و تعیین جنس و گونه آن ها شناسایی ژنتیکی است. به همین منظور مطالعاتی در رابطه با نحوه استخراج DNA از باکترهای اکسید کننده گوگرد و شناسایی این باکتری ها انجام شد. در نهایت از بین ایزوله های جداسازی شده چند ایزوله برای شناسایی مولکولی انتخاب شد. به این منظور ابتدا DNA باکتری استخراج شد و سپس توسط دو پرایمر یونیورسال باکتریایی با توالی

27F 5´AGAGTTTGATCCTGGCTCAG3´

1492R 5´ GGTTACCTTGTTACGACTT3´

ناحیه 16s rRNA باکتری با استفاده از دستگاه PCR تکثیر شد. پس از این مراحل ناحیه تکثیر شده 16s rRNA تعیین توالی شده و توالی‌های اسید نوکلئوتیدی تعیین شده برای یافتن باکتری‌های مشابه در این توالی‌ها در سایت NCBI مورد جستجو قرار گرفت. تست ژنتیک نشان داد که ایزوله‌های جداسازی شده شامل سه گونه از چهار گونه موجود در جنس هالوتیوباسیلوس و به قرار زیر *Halothiobacillus neapolitanus* ، *Halothiobacillus halophilus* و *Halothiobacillus* hydrothermalis می‌باشند. ایزوله‌های مذکور قادر به تحمل غلظت‌های گوناگونی از نمک نیم تا چهار مولار بودند.

۱۰- بررسی تأثیر کاربرد سویه‌های منتخب در غالب فرمولاسیون پودری بر روی تغییرات EC ، pH و غلظت سولفات محلول در خا ک:

در مرحله آخر از دو پروژه مذکور و به منظور بررسی تأثیر کاربرد سویه‌های منتخب در غالب فرمولاسیون پودری بر روی تغییرات EC ، pH و غلظت سولفات محلول خاک، از دو سویه برتر I21 (هالوتیوباسیلوس نئوپولیتانوس) و I23 (هالوتیوباسیلوس نئوپولیتانوس) ، دارای بیشترین توان اکسیداسیون گوگرد در غلظت یک مولار نمک، و یک سویه اسیدی تیوباسیلوس تیواکسیدانس (PTCC1717) به عنوان شاهد مثبت (خریداری شده از بانک میکروبی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران)، به صورت فرمولاسیون پودری و در غالب آزمون گرمخانه‌ای با سه سطح شوری (۰، ۰/۵ و ۱ مولار نمک) و سه سطح گوگرد (۰، ۵ و ۱۰ درصد) استفاده شد.

خاک مورد استفاده در آزمون گرمخانه‌ای از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری یک مزرعه زراعی واقع در موسسه تحقیقات خاک وآب کرج نمونه برداری شد. پس از هوا خشک کردن خاک‌ها و عبور از الک دو میلی‌متری، مقدار دو کیلوگرم خاک داخل کیسه‌های نایلونی ریخته شد. از آب با غلظت‌های ۰، ۰/۵ و ۱ مولار نمک جهت افزایش شوری خاک استفاده گردید. کیسه‌های نایلونی به مدت یک هفته تا رسیدن به تعادل جدید در گرمخانه ۳۰ درجه نگهداری شدند. سپس سطوح مختلف گوگرد (۰، ۵ و ۱۰ درصد درصد) و باکتری به خاک تلقیح شد. تیمارها به مدت دو ماه در دمای ۳۰ درجه نگهداری شدند. در پایان دوره مورد نظر pH و EC گل اشباع و مقدار سولفات تولید شده در تیمارها اندازه گیری شد.

۳-۵-۳-۲- بررسی تاثیر مواد افزودنی در افزایش ماندگاری باکتری‌های اکسید کننده گوگرد و پوشش‌دهی گرانول‌های گوگرد با باکتری‌های فرموله شده.

در مرحله سوم از این مطالعه و با هدف افزایش مدت ماندگاری باکتری در کود، طی مراحل اشاره شده در زیر اقدام به بررسی تاثیر مواد افزودنی مختلف در افزایش ماندگاری باکتری‌های اکسید کننده گوگرد در فرمولاسیون کودهای گوگردی شد.

پروژه در قالب یک طرح بلوک کاملا تصادفی و در سه تکرار بر روی سه سویه شامل: اسیدی تیوباسیلوس تیواکسیدانس (PTCC1717) تهیه شده از بانک میکروبی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، I21 و I23 انجام شد. به این منظور از هر سویه به مقدار کافی (حداقل شش لیتر) مایه تلقیح تهیه گردید. پس از انجام شمارش جمعیت اولیه، مقدار ۵۰ سی سی از مایه تلقیح هر سویه به ارلن های ۲۵۰ سی سی اسیدشویی شده اضافه گردید. تیمار مواد نگهدارنده هرکدام در غلظت‌های اشاره شده در زیر و به طور جداگانه به ارلن ها اضافه شد.

تیمار یک: ترهالوز (فیلتر استریل) در غلظت‌های ۰، ۱، ۵ و ۱۰ درصد
تیمار دو: آلژینات سدیم در غلظت‌های ۰، ۰/۰۱، ۱ و ۱۰ درصد.
تیمار سه: ملاس در غلظت‌های ۰، ۱، ۵ و ۱۰ درصد.
تیمار چهار: کیتوزان در غلظت‌های ۰، ۰/۰۱، ۰/۱ و ۵ درصد.
تیمار پنج: خاک فسفات در غلظت‌های ۰، ۱، ۵ و ۱۰ درصد
تیمار شش: گلیسرول در غلظت‌های ۰، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد

تیمار هفت: اسکیم میلک در غلظت‌های ۰، ۲/۵، ۵ و ۱۰ درصد

هر تیمار در سه تکرار اعمال گردید به‌طوریکه برای هر ماده نگهدارنده ۱۲ ارلن و برای سه سویه آزمون شده ۲۵۲ ارلن استفاده شد. ارلن ها به مدت یک ماه در یخچال نگهداری گردید. به منظور هوادهی هرچه بیشتر، ارلن‌ها هر روز به صورت دستی شیک داده شدند. نهایتا پس از یک ماه اقدام به تهیه سری رقت از تیمارها و شمارش جعیت آن‌ها گردید. به این منظور از محیط کشت 9K با pH ۷ استفاده شد. پلیت‌ها به مدت ۱۰ روز در انکوباتور نگهداری و سپس جمعیت باکتری‌ها شمارش شد.

۲-۴-نتایج و بحث

۲-۴-۱-شناسائی و مکان یابی مناطق مناسب برای اجرای طرح گوگرد

۲-۴-۱-۱ - *بررسی وضعیت pH خاک های کشاورزی*

وضعیت pH خاک های کشور بر اساس اطلاعات موجود در آرشیو موسسه تحقیقات خاک و آب که شامل نقشه ها و گزارش های خاکشناسی از سال ۱۳۳۲ تا ۱۳۹۰ می باشد، مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس اطلاعات موجود در اکثریت قریب به اتفاق اراضی کشاورزی کشورpH خاک از ۷/۵ تا ۸/۵ متغیر می باشد. زیاد بودن pH خاک های کشور به دلیل آهکی بودن اغلب خاک ها است که مقدار آهک در آنها از حدود ۱۵ تا ۶۰ درصد متغیر است. این وضعیت شامل حدود ۹۰ درصد خاک های کشور می شود وفقط در بخش های کوچکی از اراضی دشت ساحلی دریای مازندران در استان گیلان pH خاک اسیدی و مقدار آن از ۴ تا ۶/۵ متغییر است که نسبت به پهنه کشور قابل اغماض است. خصوصیات آماری pH خاک اراضی کشاورزی سه استان مستعد کشاورزی کشور یعنی استان های گلستان، خوزستان و فارس بر اساس داده های اندازه گیری شده در مطالعات میدانی درجداول شماره ۳ تا ۵ و نقشه پراکنش جغرافیایی pH خاک اراضی کشاورزی استان های فوق در ضمیمه های شماره ۱ تا ۳ ارائه شده است.

جدول شماره۲- ۱۷- خصوصیات آماری pH خاک دشت های کشاورزی استان گلستان

نام دشت	تعداد نمونه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	حداقل	میانه	حداکثر
بندر کز	۷۸	۷/۶	۰/۱۷۹۴	۲/۳۵	۷/۲	۷/۶	۸/۱
بندر ترکمن	۲۷۹	۷/۸	۰/۱۶۷۴	۲/۱۲	۷/۳	۷/۹	۸/۳
گرگان	۵۹۶	۷/۸	۰/۱۱۶۰	۱/۴۸	۷/۳	۷/۸	۸/۱
کلاله	۴۰۲	۷/۷	۰/۱۵۷۷	۲/۰۳	۷/۱	۷/۸	۸/۲

جدول شماره ۲- ۱۸- خصوصیات آماری pH خاک دشت های کشاورزی استان خوزستان

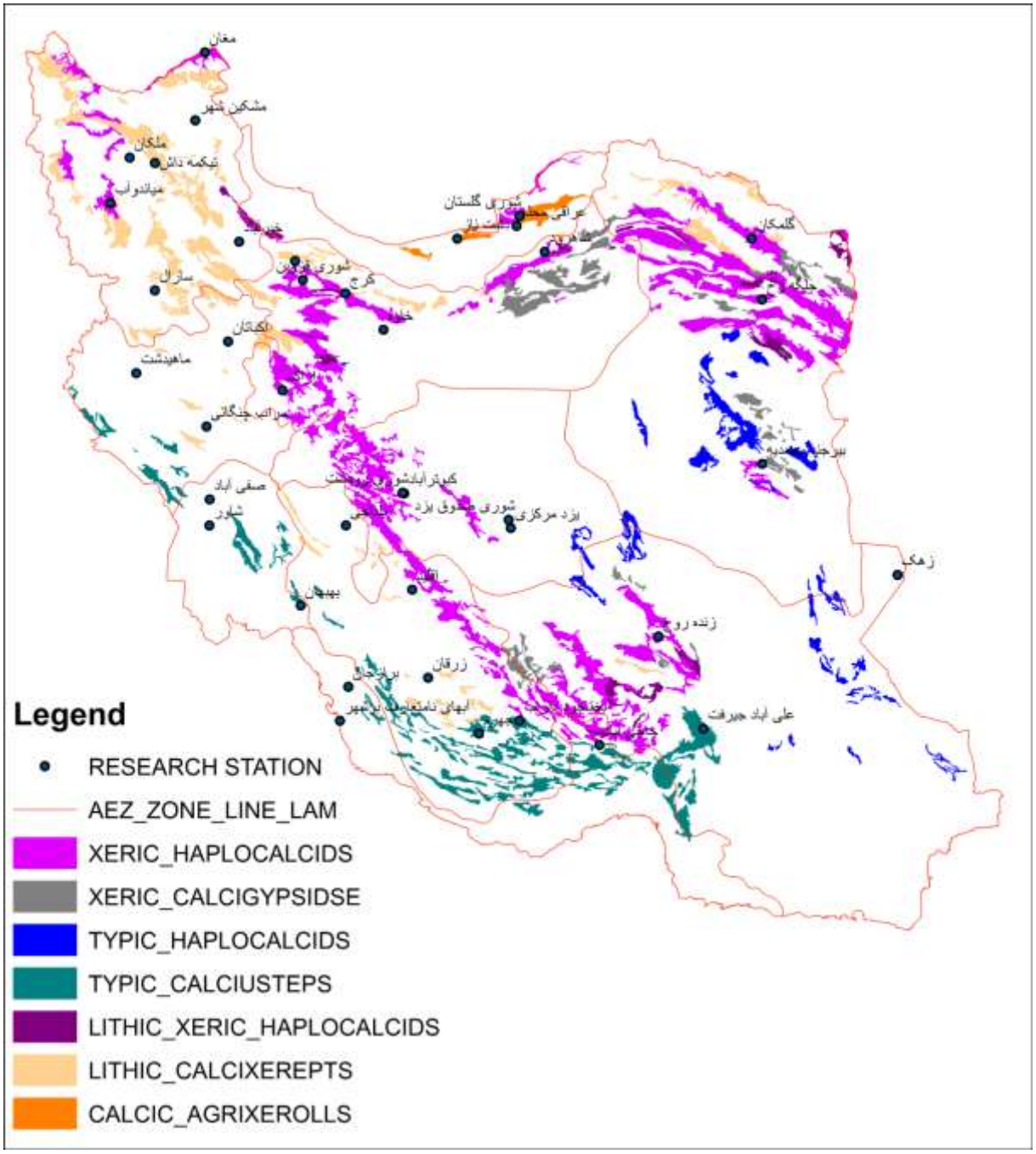
نام دشت	تعداد نمونه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	حداقل	میانه	حداکثر
عناقچه-شوشتر	۶۰۳	۷/۴	۰/۳۱۹۴	۴/۳۱	۷	۷/۴	۸/۲
دزفول	۸۹۸	۷/۷	۰/۲۱۳۱	۲/۷۷	۷/۱	۷/۷	۸/۳
رامهرمز	۳۱۲	۷/۷	۰/۳۳۵۰	۴/۳۵	۷	۷/۷	۸/۴
علی آباد- شاه پسند	۶۲۶	۷/۷	۰/۱۴۹۰	۱/۹۲	۶/۹	۷/۸	۸/۳

جدول شماره۲- ۱۹- خصوصیات آماری pH خاک دشت های کشاورزی استان فارس

نام دشت	تعداد نمونه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	حداقل	میانه	حداکثر
داراب	۴۶۷	۷/۹	۰/۲۳۳۱	۲/۹۵	۷/۱۷	۷/۹	۸/۵۵
شادکام-اقلید	۴۰۰	۷/۹	۰/۲۴۷۹	۳/۱۱	۷/۲	۸	۸/۶
فسا	۴۱۴	۷/۸	۰/۲۴۹۳	۳/۱۸	۷	۷/۸	۸/۶
کوار	۳۴۲	۷/۷	۰/۲۱۵۸	۲/۸۲	۷/۱	۷/۷	۸/۴
کره ای	۱۷۰	۷/۷	۰/۲۳۲۸	۳/۰۲	۶/۹۸	۷/۷	۸/۲
ممسنی	۲۴۳	۷/۵	۰/۱۹۰۱	۲/۵۲	۶/۹	۷/۶	۷/۸
کربال	۵۵۴	۷/۷	۰/۲۶۵۲	۳/۴۲	۶/۷۹	۷/۷۸	۸/۳۲
سروستان	۲۳۷	۷/۶	۰/۲۲۲۹	۲/۹۱	۷/۱	۷/۷	۸/۲

۲-۱-۴-۲- تهیه نقشه خاک های متاثر از آهک کشور

نقشه منابع و استعداد خاکهای ایران با مقیاس ۱ :۱ ,۰۰۰ ,۰۰۰ بصورت رقومی در سال ۱۳۸۰ در موسسه تحقیقات خاک و آب تهیه و منتشر شد. بر روی نقشه، واحدهای خاک بر اساس درصد پراکندگی خاک های مختلف در واحدهای لندفرم، تا حد زیرگروه‌های خاک بصورت واحدهای همسان، مجموعه خاک ها و یا خاک های ضمیمه نشان داده شده اند. با توجه به فرمت رقومی این نقشه و اطلاعات و داده های متصل به نقشه مربوط به کلاس های خاک، این امکان وجود دارد که بتوان لایه های اطلاعاتی مربوط به پراکنش انواع کلاس های خاک را استخراج نمود. در این مطالعه از نقشه ۱ :۱ ,۰۰۰ ,۰۰۰ اقدام به استخراج نقشه پراکنش خاک های آهکی گردید (شکل ۲-۱۰).



شکل ۲-۱۰- پراکنش خاک های آهکی ایران

پراکنش خاک های آهکی در ایران بر اساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ منابع و استعداد خاک های ایران در سطح زیر گروه به شرح زیر است:

زیر گروه زریک هاپلوکلسیدز (Xeric Haplocalcids) :

رژیم رطوبتی خاک حد فاصل بین اریدیک و زریک است. دامنه گسترش این زیر گروه در شمال شرق ایران و در امتداد رشته کوه های زاگرس است.

زیر گروه زریک کلسی جیپسیدز (Xeric Calcigypsids):

خاکی است دارای رژیم رطوبتی بین اریدیک و زریک با افق های توام جیپسیک و کلسیک و دامنه گسترش این زیر گروه در استان های کرمان، سمنان و خراسان است.

زیر گروه تیپیک هاپلوکلسیدز (**Typic Haplocalcids**):

این خاک ها جزء اریدی سول ها بوده و تمام خصوصیات تیپیک این رده را دارا هستند. دامنه گسترش این زیر گروه در استان های خراسان و سیستان و بلوچستان است.

زیر گروه تیپیک کلسی یوستپتز (Typic Calciustepts):

این خاک ها دارای افق کلسیک در مقطع کنترلی خود می باشند. دامنه گسترش این زیر گروه در امتداد غرب تا جنوب، استان های ایلام تا کرمان (استان های مرزی و حاشیه خلیج فارس) است.

زیر گروه لیتیک زریک هاپلوکلسیدز (Litic Xeric Haplocalcids):

خاک های این زیر گروه کم عمق و رژیم رطوبتی بین اریدیک و زریک می باشد. دامنه گسترش این زیر گروه مرز گیلان و زنجان –جنوب کرمان و خراسان است.

زیر گروه لیتیک کلسی زرپتز (Litic Calcixerepts):

این خاکها کم عمق بوده و دارای افق کلسیک در مقطع کنترلی خود می باشند. دامنه گسترش این زیر گروه از شمال غرب تا شمال شرق ایران–جنوب شیراز است.

زیر گروه کلسیک آگری زرولز (Calcic Agrixerolls) :

این خاکها دارای افق ارجلیک و کلسیک در مقطع کنترلی خود می باشند. این خاک ها در گرگان همراه با کلسی زرالز و اندواکوئپتز تشکیل شده اند. دامنه گسترش این زیر گروه از مازندران تا گلستان است.

۳-۱-۴-۲- انتخاب نمونه های خاک جهت انجام پروژه گوگرد:

در بررسی اطلاعات منابع خاک، خاک ها در هر یک از مناطق ده گانه کشاورزی کشوراز نظر درصد کربنات کلسیم معادل و ماده آلی طبقه بندی و مشخصات پروفیل های شاهد انتخاب شده در مناطق دارای آهک و کربن آلی کم تا زیاد شامل موقعیت جغرافیائی، نام استان، نام سری خاک، شماره گزارش همراه نقشه خاک و شماره پروفیل خاک شاهد تعیین شد (جداول شماره ۱۷ تا ۹). بر مبنای اطلاعات جداول فوق، در هر منطقه کشاورزی میانگین درصد کربنات کلسیم در خاک سطحی پروفیل های شاهد سری های خاک واقع در آن منطقه محاسبه و شدت آهکی بودن خاک ها در هر منطقه محاسبه گردید (شکل شماره ۱۰).

پس از انجام فعالیت های ستادی اکیپ های خاکشناسی به استان های محل حفر پروفیل های شاهد خاک اعزام و اقدام به تهیه نمونه خاک از افق سطحی نیمرخ های های شاهد سری های خاک در مناطق ده گانه کشاورزی نمودند. بدین ترتیب تعداد ۴۰ نمونه خاک از استان های اصفهان، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، بوشهر، چهارمحال و بختیاری، تهران، گلستان، مازندران، کرمان،کرمانشاه، خراسان، خوزستان، فارس، لرستان، سمنان، هرمزگان و همدان انتخاب و برای انجام بررسی های بعدی تحویل بخش آزمایشگاه های موسسه تحقیقات خاک و آب گردید. سپس خاک های متاثر از آهک بر اساس نتایج آزمایشگاهی بر حسب مقدار آهک در سه سطح طبقه بندی شد. اطلاعات مربوط به این خاک ها در محیط یک سامانه جغرافیایی وارد و نقشه پراکنش جغرافیایی خاک های متاثر از آهک بر مبنای نتایج آزمایشگاهی در سطوح وسیع تهیه و

نقشه کاغذی نواحی زراعی-زیستگاهی کشور در یک محیط GIS رقومی آماده شد و در نهایت با انطباق نقشه نواحی زراعی-زیستگاهی و نقشه پراکنش جغرافیایی خاک های متاثر از آهک، وضعیت پـراکنش خـاک هـای آهکی در هر ناحیه زراعی زیستگاهی در قالب یک نقشه ارائه گردید.

جدول شماره ۲- ۲۰- مشخصات مورفولوژیکی نیمرخ سری های خاک در مناطق مورد مطالعه

شماره نیمرخ (نام سری خاک)	نوع افق	عمق (سانتیمتر)	رنگ (مرطوب)	ساختمان*	پایداری** (مرطوب)	مرز افق***	پدیده ها خاص
نیمرخ (سری سراجی گناباد)	A	0-10	7.5YR4/4	m±wk,fn,sb		cs	
	Bw	10-30	7.5YR5/4	m±sg		cs	
	Cy_1	30-55	7.5YR5/4	m±sg		gs	
	Cy_2	55-100	7.5YR5/4	m±sg		gs	
	Cy_3	100-150	7.5YR5/4	m±sg			
نیمرخ (سری فرم)	Ap	0-20	7.5YR3/3	St,co,sb±st,md,sb	vfi	Gs	
	Bw	20-50	7.5YR3/2	St,co,sb±st,md,sb	fi	As	
	Bt	50-70	7.5YR4/1	St,co,sb±st,fn,sb	l	gs	
	2C/Bt	70-140	7.5YR3/3	m±wk,md,sb	l		
نیمرخ (سری بابل)	Ap	0-20	7.5YR2/2	St,co,sb±st,md,sb	vfi	gs	
	Btk	20-40	7.5YR3/2	St,co,sb±sb,md,sb	Vfi	gs	
	Bt1	40-65	7.5YR3/2	St,co,sb±st,md,sb	Vfi	gs	
	Bt2	65-95	7.5YR3/2	St,co,sb±st,md,sb	Fi	gs	
	Bt3	95-135	7.5YR3/3	St,co,sb±st,md,sb	fi		
نیمرخ (سری قاسم خان اسفراین)	A	0-10	7.5YR5/6	wk,fn,pl±wk,vfn,pl		cs	
	C1	10-30	7.5YR4/6	m±md,fn,sb		cs	
	2C2	30-65	7.5YR4/6	m±sg		cs	
	2C3	65-90	7.5YR4/6	m±sg			
نیمرخ (سری نجم آباد)	A	0-30		wk,fn,sb ±wk1,vfn,sb		gs	
	Ck1	30-60		m±sg		gs	
	Ck2	60-90		m±sg		cs	
	Ck3	90-115		m±sg		gs	

	C1	115-150		m±sg			
نیمرخ (سری قزلر)	Ap	0-20	7.5YR3/2	m±st,co,sb	fi	cs	
	Bw1	20-45	7.5YR4/4	st,co,sb±stmd,sb	vfi	cs	
	Bw2	45-70	7.5YR4/3	Mo,fn,sb±mo	fr	cs	
	Bw3	70-105	7.5YR4/3	Wk,md,sb±wk,fn,sb	fr	cs	
	C1	105-130	7.5YR4/3	m±wk,md,sb	fr	cs	
	C2	130-150	7.5YR4/3	m±wk,md,sb	fr		
نیمرخ (سری قراول تپه)	Ap	0-18	7.5YR3/2	m±st,md,sb	vfr	cs	
	Bw1	18-46	7.5YR4/3	St,co,sb±st,md,sb	fi	cs	
	Bw2	46-80		St,md,sb±st,fn,sb	fi	cs	
	Bw3	80-110		m±st,md,sb	fi		
نیمرخ (سری ابراهیم آباد اسفراین)	A	0-10	7.5YR5/4	wk,fn,sb±wk,vfn,sb			
	By1	10-33	7.5YR4/2	st,fn,sb±vfn,sb	fr	Cs	
	By2	33-50	7.5YR4/2	wk,fn,sb±wk,vfn,sb	fr	gs	
	By3	50-80	7.5YR4/3	wk,md,sb±wk,fn,sb	fr	gs	
	Bky1	80-110	7.5YR3/3	st,md,sb ±st,fn,sb	fr	Cs	
	Bky2	110-150	7.5YR4/2	wk,fn,sb±wk,vfn,sb	fr	gs	
نیمرخ (سری بالستان)	Ap	0-25	10YR5/4	m	fr		
	C1	25-55		m	fr		
	C2	55-85		m	fr		
	C3	85-120		Single grain	loss		
	Ck	WR					
نیمرخ (سری درین)	Ap	0-25	10YR4/4	m	fi	c.w	
	Bw1	25-55	10YR3/4	M1abk±F1abk	fi	g.w	
	Bw2	55-80	10YR3/4	M2abk±F2abk	fi		
	Bk	80-130	10YR3/4	M3abk±F3abk	v.fi.pp		
نیمرخ (سری شاهین دژ)	Ap	0-20	10YR4/4	cloddg	Fi		
	Bw1	20-60	10YR4/4	M1abk±F1abk	Sfi		
	Bw2	60-100	10YR3/2	M1abk±F1abk	Sfi		
	C1	100-135	10YR5/4	m	sfi		

نیمرخ (سری شریف آباد)	Ap	0-35	7.5YR4/4	m		Cs	
	Bw	35-70	7.5YR5/2	F2abk		Cs	
	Bk1	70-100	7.5YR5/6	F3abk		Cs	
	Bk2	100-140	7.5YR7/4	F3abk			
نیمرخ (سری گوگی تپه)	Ap	0-20	10YR6/3	ddyclo	sfi		
	Bk1	20-80	10YR5/3	M2abk±F2abk	fi		
	Ck	80-130	10YR7/3	m	fi		
نیمرخ (سری خرقانی)	A	0-22	10YR5/4	m	L		
	Bw	22-81	10YR4/4	ریز تا درشتsub	شکننده		
	Bk	81-160	10YR4/3	Sub متوسط	شکننده		
نیمرخ (سری زرین شهر)	A	0-35	10YR4/4	گرانوله دانه ای	Lo	Aw	
	C1	35-85	10YR4/4	دانه ای		Gw	
	C2	85-140	10YR4/5	دانه ای	Lo	Aw	
	2Bkb	140-250	10YR5/5	ساختمان خیلی ضعیف	So		
نیمرخ ---(سری دره بید)	A	0-30	7.5YR4/4	دانه ای	نرم	Gw	
	Bk1	30-50	7.5YR4/4	دانه ای	نرم	Gw	
	Bk2	50-85	7.5YR5/4	مکعبی ریز	نرم	Aw	
	C	85-130	7.5YR7/25	توده ای	نرم		
نیمرخ (سری سگزی)	A	0-25	10YR6/4	نوده ای	So.ft	Gw	
	Bw	25-65	10YR6/3	نوده ای	So	Gw	
	C1	65-125	10YR6/3	نوده ای	So	Aw	
	2C2	125-180	10YR7/3	نوده ای	L	Aw	
	3C3	180-230	10YR6/5	با کمی ساختمان مکعبی ریز	so		
نیمرخ (سری بوشگان)	Ap	0-20		C1abk±m2	fi	g	
	Bw1	20-45	10YR5/2	C1abk±m2	fi	cl	
	Bw2	45-80	10YR5/3	C1abk±m2	fi		
	Bw3	80-130	10YR5/3	C1abk±m2	fm	cl	
نیمرخ (سری دوچنگی)	Ap	0-20	10YR5/4	m	fr	cl	
	C1	20-50	10YR5/4	m	fr		

	C2	50-100					
نیمرخ (سری ساربانی)	AP	0-15	7.5YR5/4	Pal±Gabk	Fi	cl	
	B	15-30	10YR5/3.5	C2abk±m2	Fi	cl	
	Bw	30-50	10YR6/2.5	C2abk±m2	Ft	cl	
	Bk	50-70	10YR6/4	C2abk±m2	Fi	gr	
	Bk2	70-140	10YR6/4	M2abk±f2	ft		
نیمرخ (سری امامزاده)	Ap	0-20	10YR4/3	Pal	Fr	Cl	
		20-40	10YR4/4	m±abk	Fr	G	
		40-80	10YR4/4	m±C1abk	Fr	g	
		80-130	10YR4/4	m	fr		
نیمرخ (سری دولت آباد)	A1	0-10		sg	fi	cl	
	C1	10-40	10YR6/6	m	fr	g	
	C2	40-70	10YR6/6	m	fr	g	
	C3	70-100	10YR6/6	m	fr		
نیمرخ (سری دق)	Ap	0-20	7.5YR5/4	pal±c1abk	fi	cl	
	AB	20-45	7.5YR5/4	C1abk±m2	fi	Cl	
	Bw	45-70	7.5YR6/4	C1abk±m2	fp	Cl	
	Bk1	70-110	7.5YR6/4	M2 ±f2abk	fi	gr	
	Bk2	110-140	10YR6/4	M2abk±f2	fi		
نیمرخ ---(سری تل خزینه)	A1	0-15	10YR7/4	sg		cl	
	By1	15-45	10YR5/6	sg		cl	
	By2m	45-80	10YR5/6	Abkm1±ca		g	
	By3m	80-120	10YR5/6	Abkm1±ca			

*انواع ساختمان: m= توده ای، sb= مکعبی بدون گوشه، ab= مکعبی گوشه دار sg= تک دانه، gr= دانه ای ؛ پایداری ساختمان: wk= ضعیف، mo=متوسط، st= قوی؛ اندازه ساختمان: vfn=خیلی ریز،fn=ریز، md= متوسط، co= درشت ؛ علامت ±= شکستن ساختمان اولیه به ثانویه

** sfi= کمی سفت، fi= سفت، sfr= کمی شکننده، fr= شکننده، l= سست

*** a= ناگهانی، c= واضح، g= تدریجی، d= پراکنده، s= صاف، w= موجی

جدول شماره۲-۲۱- نتایج تجزیه‌های آزمایشگاهی نیمرخ سری خاک های مورد مطالعه

شماره نیمرخ (نام سری خاک)	عمق	رس	سیلت	شن	کلاس بافت	>۲mm		PH (paste)	CEC Me/100g soil	EC_e	آهک ($CaCO_3$)	OC	گچ ($CaSO_4$)
						mm ۷۵-۲	mm ۲۵۰-۷۵						
	cm	%				%	%			dS m^{-1}	%	%	meq $100gr^{-1}$ soil
نیمرخ (سری فرم)	۲۰-۰	۲۵	۳۲	۴۳	L			8.1		0.88	8.6	1.51	
	۵۰-۲۰	۲۸	۲۲	۵۰	SCL			7.8		0.72	2.9	0.97	
	۷۰-۵۰	۱۳	۱۰	۷۷	SL			8.1		0.85	7.4	0.1	
	۱۴۰-۷۰	۳	۰	۹۷	S			8.2		0.95	18.1	0.04	
نیمرخ (سری بابل مازندران)	۲۰-۰	51	32	17	C			7.8		1.1	2.4	1.78	
	۴۰-۲۰	50	30	20	C			8.1		0.91	5.3	0.7	
	۶۵-۴۰	48	30	22	C			8.1		1.1	4.1	0.48	
	۹۵-۶۵	43	32	25	C			8.3		0.82	8.9	0.76	
	۱۳۵-۹۵	40	47	13	SiC			8.4		0.56	22.2	0.29	
نیمرخ (سری گلزار گلستان)	۲۰-۰	23	67	10	SiC			8.2		1.36	13	1.1	
	۴۵-۲۰	33	55	12	SiCL			8.4		6.8	20.7	0.37	
	۷۰-۴۵	28	57	15	SiCL			8.2		17.31	21.4	0.14	
	۱۰۵-۷۰	18	70	12	SiL			8.3		22.6	18.8	0.1	
	۱۳۰-۱۰۵	۱۵	۷۷	۸	SiL			۸,۴		۳۶,۴	۱۸,۸	۰,۱	
	۱۵۰-۱۳۰	۱۸	۷۰	۱۲	SiL			۸,۳		۲۶	۱۸,۵	۰,۱	
نیمرخ (سری قراول تپه گلستان)	۱۸-۰	۳۳	۵۲	۱۵	SiCL			7.9		3.95	14.7	1.14	
	۴۶-۱۸	۴۰	۴۷	۱۳	SiC			8.1		7.16	24.6	0.17	
	۸۰-۴۶	۳۳	۵۰	۱۷	SiCL			8.1		6.77	22.2	0.08	
	۱۱۰-۸۰	۲۸	۵۰	۲۲	CL			8.1		7.87	24.1	0.04	
نیمرخ (سری ابراهیم اباد استرابن)	0-10	28	47	25	CL			8.2		58.1	21.7	0.23	
	10-33	23	47	30	L			8.4		71.9	20.2	0.12	
	33-50	36	52	12	SiCL			8.4		66	21.2	0.14	
	50-80	35	40	25	CL			8.4		59.4	21.2	0.12	
	80-110	53	37	10	C			8.4		52.5	17.8	0.25	
	110-150	43	45	12	SC			8.3		50.1	20.5	0.2	
س م ۰	0-10	18	37	45	L			8.3		1.64	32.6	0.25	

	10-30	۱۸	۳۰	۵۲	SL			8.4		1.6	34.1	0.25
	30-65	۱۳	۱۲	۷۵	SL			8.1		4	38.2	0.16
	65-90	۱۰	۵	۸۵	LS			8.1		9.31	39.7	0.12
نیمرخ (سری سراج گناباد)	0-10	۲۰	۲۷	۵۲	SCL			8		2.78	16.9	0.23
	10-30	۲۵	۳۰	۴۵	L			8.2		2.12	20.5	0.16
	30-55	۲۰	۲۵	۵۵	SL			8		3.68	19	0.14
	55-100	-	-	-	فولکوله			8		4.88	9.4	0.12
	100-150	۱۰	۱۰	۸۰	LS			8.2		12.53	12	0.120
نیمرخ (سری نجم آباد سبزه وار)	۳۰-۰	۱۱	۷	۸۲	LS			8.3		0.63	11.8	0.27
	۶۰-۳۰	۸	۵	۸۷	LS			8.5		0.42	7	0.29
	۹۰-۶۰	۱۰	۱۸	۷۲	SL			8.6		0.41	5	0.18
	۱۱۵-۹۰	۲۰	۱۰	۷۰	SL			8.7		0.47	10.8	۰,۱۶
	۱۵۰-۱۱۵	۸	۵	۸۷	LS			8.6		0.69	8.2	0.16
نیمرخ (سری سری دولت آباد)	0-10	17	58	58	Sl			8.0		0.69		0.69
	10-40	15.8	59.6	59.6	Sl			7.9		0.69		0.69
	40-70	17.6	52.6	52.6	Sl			8.0		0.66		0.66
	70-100	19.4	56	56	Sl			8.3		0.44		0.44
نیمرخ (سری دولت آباد)	0-20	19	43.2	37.8	L			7.9		1.97		0.98
	20-50	13	44	43	L			7.79		0.61		0.32
	+50											
نیمرخ (سری سری دق)	۲۰-۰	33.4	48.6	18	Sicl			8.0		1.41		1.11
	۴۵-۲۰	29.8	52.2	18	Sicl			7.8		1.38		0.90
	۷۰-۴۵	37	45	18	Sicl			8.0		0.69		0.40
	۱۱۰-۷۰	38.8	46.8	14.4	Sicl			8.0		0.75		0.25
	۱۴۰-۱۱۰	42.4	43.2	14.4	Sic			8.0		0.78		0.18
ی تل	۱۵-۰	33.4	48.6	18	Sicl			8.0		1.41		0.95

	۳۰-۱۵	29.8	52.2	18	Sicl			7.8		1.38		0.84	
	۵۰-۳۰	37	45	18	Sicl			8.0		0.69		0.44	
	۹۰-۵۰	38.8	46.8	14.4	Sicl			8.0		0.75		0.26	
	۱۳۰-۹۰	42.4	43.2	14.4	Sic			8.0		0.78		0.18	
نیمرخ (سری تل خزینه)	۱۵-۰	12	24	64	Sl			8.0		2.9		0.40	
	۴۵-۱۵	10.6	24.6	64.8	Sl			8.1		2.67		0.31	
	۸۰-۴۵	15.8	31.6	52.6	Sl			7.8		12.46		0.26	
	۱۲۰-۸۰	-	-	فوکیکول ه	-			8.3		40.1		0.20	
نیمرخ (سری بوشگان)	۲۰-۰	29.8	48.6	21.6	Cl			7.5		3.48		0.76	
	۴۵-۲۰	22.6	37.8	39.6	L			7.7		3.46		0.47	
	۸۰-۴۵	20.6	57.8	21.6	Sil			7.9		2.2		0.27	
	۱۳۰-۸۰	17.2	30.8	52	Sl			7.8		3.0		0.18	
یمرخ (سری امامزاده)	۱۵-۰	39.6	37.8	22.6	L.			7.7		3.23		.83	
	۴۰-۱۵	48.4	29	22.6	L.			8.0		0.63		0.4	
	۸۰-۴۰	50	29.4	20.6	L.			8.0		0.6		0.31	
	۱۳۰-۸۰	50	31	19	L.			7.9		1.03		0.18	
نیمرخ (سری شاهین دژ)	۲۰-۰	30	45	25				7.63		1.084	19.20	1.45	
	۶۰-۲۰	32	56	12				7.69		0.587	21.76	0.87	
	۱۰۰-۶۰	27	59	14				7.49		0.517	19.46	0.33	
	۱۳۵-۱۰۰	20	62	18				7.43		0.548	17.15	0.30	
نیمرخ (سری بوکان)	۲۰-۰	26	38	36				7.71		0.458	20.48	0.91	
	۸۰-۲۰	37	27	36				7.65		0.424	25.60	0.19	
	۱۳۰-۸۰	29	52	19				7.73		0.370	16.90	0.10	
ی زرد ی	۳۵-۰	۲۱,۱	۴۸	۳۰,۹				۷,۴۲		۱,۱		۰,۳۵۱	۸

	۸۰-۳۵	۱۹,۱	۲۴	۵۶,۹				۷,۶۸		۰,۵۶		۰,۲۷۳	۶
	۱۴۰-۸۰	۲۱,۱	۳۰	۴۸,۹				۷,۳۸		۱,۶۱		۰,۲۷۳	۶
	۲۵۰-۱۴۰	۱۵,۱	۱۰	۷۴,۹				۷,۵۹		۰ ۶۶		۰,۸۵۸	۱۲
نیمرخ (سری دره بید)ادامه	۲۰-۰	۱۱,۱	۱۰	۷۸,۹				۷,۶۴		۰,۳۴		۰,۵۰۷	۵
	۵۰-۲۰	۲۷,۷	۲۰	۵۲,۹				۷,۶۳		۰,۴۷		۰,۶۲۴	۱۱
	۸۵-۵۰	۴۱,۱	۳۶	۲۲,۹				۷,۵۶		۰,۳۲		۰,۳۱۲	۱۲
	۱۳۰-۸۵	۴۵,۱	۳۶	۱۸,۹				۷,۵۷		۰,۳۳		۰,۵۴۶	۱۱
نیمرخ (سری سگزی)	۲۵-۰	۳۷,۱	۳۴	۲۸,۹				۷,۹۷		۱۴,۳۱		۰,۵۶۴	۲۲۰
	۶۵-۲۵	۲۷,۱	۲۶	۴۶,۹				۸,۰۳		۳۶,۱		۰,۱۱۷	۶۴
	۱۲۵-۶۵	۸,۶	۱۴	۷۷,۴				۸,۲۲		۵۷,۷		۰,۱۵۶	۵۶
	۱۸۰-۱۲۵	۲,۶	۸	۸۹,۴				۸,۱۱		۷,۲۶		۰,۳۹	۳۶
	۲۵۰-۱۸۰	۵۷,۱	۳۲	۸۹,۱				۸,۳۵		۳۸		۰,۳۹	۶۰
نیمرخ (سری شریف آباد)	۳۵-۰	۵۳,۳	۳۹,۷	۷				۷,۲۹				۰,۶۶	
	۷۰-۳۵	۳۵,۳	۵۰,۷	۱۴				۷,۶۶				۱,۰۱	
	۱۰۰-۷۰	۵۵,۳	۳۸,۷	۶				۷,۸۵				۰,۴۵	
	۱۴۰-۱۰۰	۵۵,۳	۳۹,۷	۵				۷,۹۳				۰,۳۲	
نیمرخ (سری درین میانه)	0-25	24	18	58				7.72		0.42		0.60	
	25-50	25	19	56				7.75		0.62		0.53	
	50-80	27	19	54				7.71		0.73		0.47	
	80-130	27	19	54				7.78		0.56		0.31	
نیمرخ (سری درین بالستان)	0-30	12	10	78				7.33		0.81		0.62	
	30-55	11	10	79				7.26		0.48		0.51	
	55-85	8	16	76				7.33		0.54		0.27	
	85-120	4	13	83				8.31		0.39		0.12	

علائم اختصاری خصوصیات شیمیایی خاک :CEC– ظرفیت تبادل کاتیومی؛ ECE = هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک ؛ OC = کربن آلی خاک.

علائم اختصاری بافت خاک : L = لومی ؛SiL= لومی سیلت دار.

علائم اختصاری خصوصیات رطوبتی خاک : SP = درصد اشباع خاک ؛ FC = مقدار رطوبت ظرفیت زراعی ؛ PWP = مقدار رطوبت نقطه پژمردگی ؛ Shc = هدایت هیدرولیکی اشباع خاک ؛ Ava.W = مقدار آب قابل دسترس.

علائم اختصاری عناصر غذایی اصلی : N = ازت کل ؛ Ava. P = فسفر قابل دسترس ؛ Ava. K = پتاسیم قابل دسترس ؛ Ava. Fe = آهن قابل دسترس ؛ Ava. Zn = روی قابل دسترس ؛ Ava. Cu = مس قابل دسترس؛ Ava. Mn = منگنز قابل دسترس.

جدول شماره۲- ۲۲- طبقه بندی خاک های محل اجرای طرح گوگرد

ردیف	محل نمونه برداری	موقعیت جغرافیائی		طبقه بندی خاک ها (USDA, 1999)
		عرض جغرافیائی	طول جغرافیائی	
۱	فریدون اصفهان	50 27 34	33 04 56.4	Fine, mixed, mesic Calcic Haploxerepts
۲	منطقه مرکزی اصفهان(کوهپایه سگزی)	52 00 50	32 34 03	Fine-loamy, carbonatic, thermic Fluventic Haplocambids
۳	زرین شهر، طالخونچه، مهیار و چرمهین	51 27 24	32 22 54.8	Loamy- skeletal, gypsic, thermic, shallow Typic Haplogypsids
۴	منطقه میانه	47 29 18	37 34 43	Fine- loamy, mixed, mesic Calcic Haploxerepts
۵	منطقه هشترود	46 42 36	37 46 48	Coarse- loamy, mixed, calcareous, mesic Typic Xerofluvents
۶	منطقه شاهین دژ	46 33 0	36 40 00	Coarse- loamy, mixed, mesic Oxyaquic Xeropsamments
۷	منطقه بوکان	46 14 12	36 43 30	Fine, mixed, mesic Calcic Haploxerepts
۸	اراضی پشت کوه و دشت پلنگ	51 42 15	28 47 53	Fine- loamy, carbonatic, hyperthermic Ustic Haplocambids
۹	اراضی پشت کوه و دشت پلنگ	52 02 19	28 23 25	Coarse- loamy, carbonatic hyperthermic Ustic Torripsamments
۱۰	اراضی پشت کوه و دشت پلنگ	51 44 51	28 47 53	Fine- loamy, carbonatic hyperthermic Ustic Torriorthents
۱۱	جنوب غربی تهران(شهریار-غارغربی)	51 18 07	35 32 39	Fine- loamy, miced, thermic Typic Haplpocalcids
۱۲	جنوب غربی تهران(شهریار-غارغربی)	51 06 07	35 33 07	Fine- loamy, mixed, thermic Fluventic Haplocambids
۱۳	منطقه دماوند	52 13 45	35 37 38	Loamy- skeletal, mixed, mesic Typic Xerofluvents
۱۴	اراضی دشت فلارد	51 13 20	31 17 20	Fine, carbonatic, thermic Typic Calcixerolls
۱۵	دشت اسفراین	57 17 06	36 55 02	Fine- loamy, mixed, mesic Typic Haplosalids
۱۶	دشت اسفراین	57 05 50	36 58 18	Fine, mixed, mesic Gypsic Haplosalids

۱۷	اراضی دشت گناباد	58 40 06	34 26 12	Coarse- loamy over sandy skeletal, thermic Typic Haplogypsids
۱۸	اراضی دشت سبزوار	57 54 48	36 10 3.6	Fine- loamy, mixed, thermic Typic Haplosalids
۱۹	اراضی شمال شادگان	48 57 30	31 07 30	Fine, carbonatic, hyperthermic Typic Torriorthents
۲۰	اراضی شمال شادگان	48 56 12	30 59 42	Coarse- loamy, carbonatic, hyperthermic Typic Aquisalids
۲۱	امیدیه	49 40 36	30 49 18	Coarse- loamy, carbonatic, hyperthermic Aridic Ustipsamments
۲۲	رامهرمز	49 31 02	31 13 33	Fine- loamy, gypsic, hyperthermic, shallow Typic Haplosalids
۲۳	دشت بسطام	55 04 18	36 35 48	Fine, carbonatic, mesic Typic Haplocambids
۲۴	دشت های تنگ حنا و چاه سرخ نیریز	54 05 05	29 29 10	Fine, gypsic, thermic Gypsic Haplosalids
۲۵	دشت های تنگ حنا و چاه سرخ نیریز	54 03 28	29 29 31	Coarse- loamy over clayey, gypsic, thermic Leptic Haplogypsids
۲۶	دشت های تنگ حنا و چاه سرخ نیریز	54 04 48	29 27 50	Fine, mixed, thermic Typic Haplosalids
۲۷	دشت درز و سایه بان لارستان	55 16 17	27 56 02	Coarse- loamy, carbonatic, hyperthermic Aridic Ustorthents
۲۸	جیرفت و مسافر آباد	57 01 11	27 45 30	Loamy- skeletal over fragmental, mixed, hyperthermic Typic Haplocalcids
۲۹	جیرفت و مسافر آباد	57 53 06	28 06 36	Fine- loamy, mixed, hyperthermic Typic Haplocambids
۳۰	جیرفت و مسافر آباد	57 53 06	28 06 36	Loamy- skeletal over fragmental, mixed, hyperthermic Typic Haplocalcids
۳۱	رودبار کهنوج	58 28 18	27 49 02	Sandy- skeletal, mixed, hyperthermic Typic Torriorthents
۳۲	منطقه سنقر وکیایائی	47 31 32	34 43 45	Fine, mixed, mesic Calcic Haploxerepts
۳۳	سد حبیب ایشان	54 24 39	37 07 31	Fine- loamy, mixed, thermic Calcic Haploxerepts
۳۴	جنوب غربی شهرستان گنبد(اراضی شرکت تعاونی تولید پیمان)	55 03 35.39	37 17 23.25	Coarse- loamy, mixed thermic Typic Aquisalid
۳۵	دشت های خرم آباد و بروجرد	48 20 36	33 32 23	Fine, mixed, mesic Typic Xerochrepts
۳۶	اراضی غرب استان مازندران	52 32 36	36 36 48	Fine, mixed, calcareous, thermic

				Typic Fluvaquents
۳۷	غرب استان مازندران	52 42 14.07	36 32 40.65	Fine, mixed, nonacid, thermic Mollic Fluvaquents
۳۸	منطقه جاسک	58 31 36	25 38 48	Coarse- loamy, mixed, hyperthermic Typic Aquisalids
۳۹	منطقه طاهرلو	48 50 30	35 10 24	Fine, mixed, mesic Calcic Haploxerepts
۴۰	منطقه دمق- چورمق و سراوک	48 40 35	35 23 20	Fine, mixed, mesic Calcic Haploxerepts

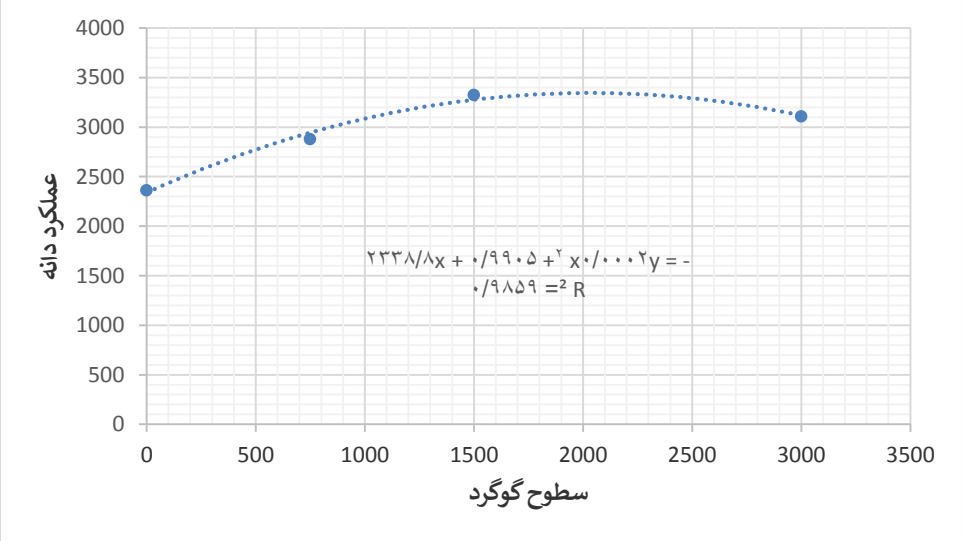
۲-۴-۲- جمع بندی تاثیر کاربرد سطوح مختلف گوگرد بر عملکرد گندم،کلزا، پیاز و ذرت و پایش تغییرات شوری با هدف دستیابی به بهترین توصیه گوگرد در محصولات و مناطق مختلف

برای رسیدن به نقطه بهینه مصرف گوگرد علاوه بر عملکرد باید به تغییرات کوتاه مدت و درازمدت عوامل دیگر نظر داشت. از مهمترین این عوامل شوری خاک است که باید به خطرات بالا بودن آن توجه داشت. در این بخش از تحقیق نقطه بهینه مصرف گوگرد از منظر عملکرد و شوری مدل‌سازی شد و از مدل به دست آمده برای هر منطقه نقطه بهینه یا همان میزان بهینه مصرف به دست آمد.

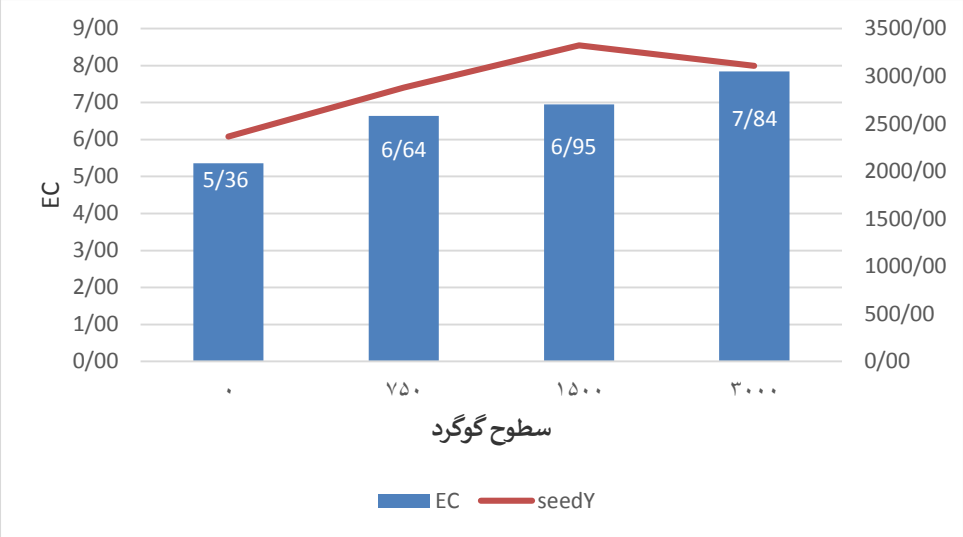
در مقایسه همزمان اثر گوگرد بر عملکرد و شوری خاک مشخص شد که در هر منطقه می‌توان نقطه تعادلی بین عملکرد و افزایش شوری به دست آورد. در این تحقیق دو محصول ذرت و پیاز در تناوب دوم به کار گرفته شده بودند که نقطه تعادل عملکرد و شوری برای هر کدام از محصولات در مناطق مورد بررسی و در کل از طریق مدلسازی و تطبیق نمودارها به دست آمد که به ترتیب ارائه می‌شود.

۲-۴-۲-۱- گندم

۲-۴-۲-۱-۱- آذربایجان شرقی



شکل شماره ۲-۱۱- روند و مدل تعیین نقطه بهینه عملکرد براساس مصرف گوگرد در گندم منطقه آذربایجان شرقی

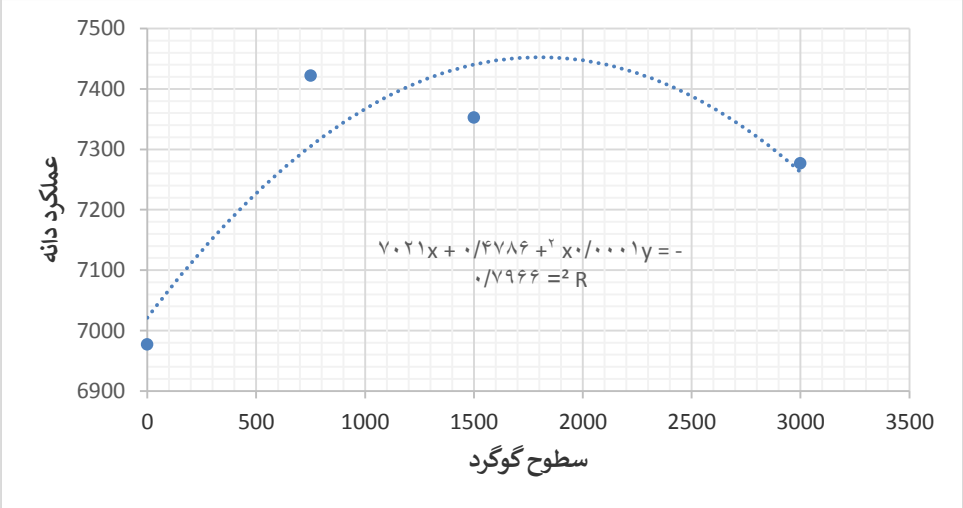


شکل شماره ۲-۱۲- مقایسه ترکیبی عملکرد EC با توجه به میزان مصرف گوگرد در گندم منطقه آذربایجان شرقی

با توجه به نمودار و براساس نتایج آزمایش، در منطقه آذربایجان غربی بیشینه عملکرد براساس مدل با مصرف ۲۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به دست آمد. اما با توجه به خطر بالا رفتن شوری خاک در منطقه مصرف گوگرد بایستی با احتیاط انجام شود، لذا از مجموع نتایج مندرج در دو نمودار با از دست دادن حدود ۱۰٪ از

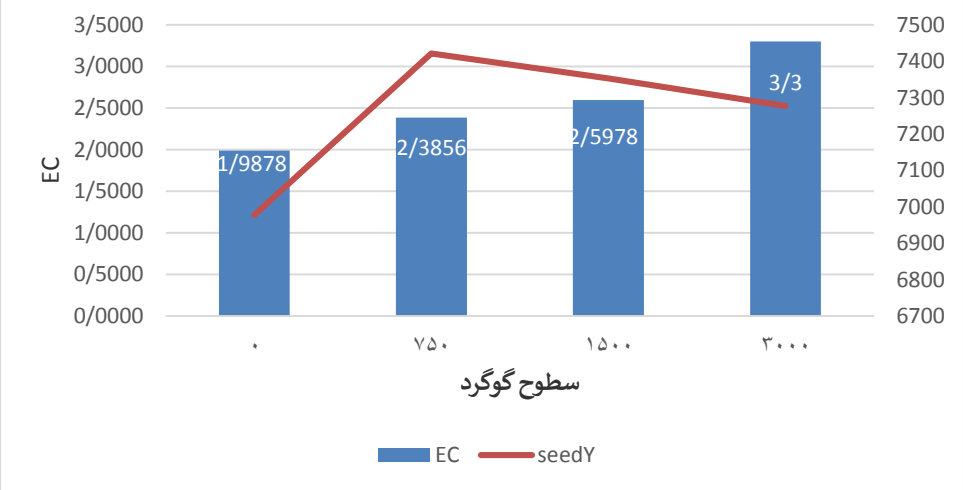
عملکرد بیشینه می‌توان با مصرف ۷۵۰ کیلوگرم گوگرد هم به حدود ۹۰٪ عملکرد بیشینه دست یافت و هم از افزایش بیش از حد شوری جلوگیری نمود.

۲-۴-۲-۱-۲- فارس



شکل شماره ۲-۱۳- روند و مدل تعیین نقطه بهینه عملکرد براساس مصرف گوگرد در گندم منطقه فارس

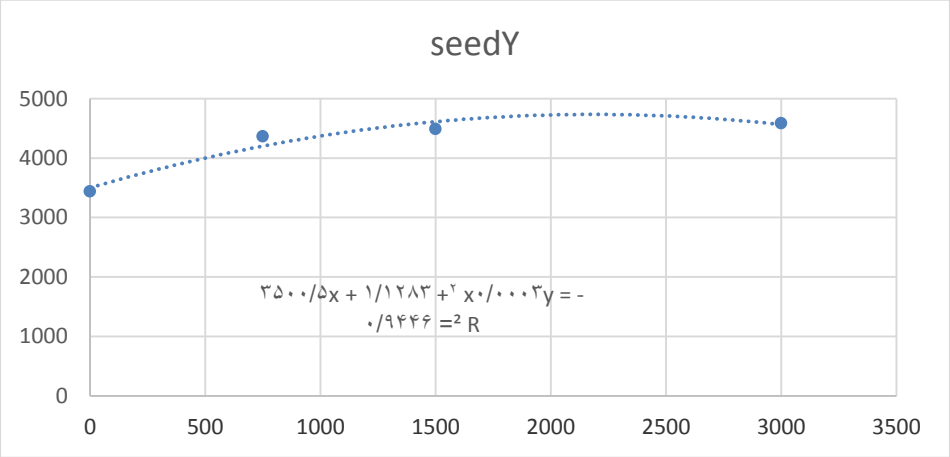
$0 \text{ kg S} \cdot Y_{max}=18$



شکل شماره ۲-۱۴- مقایسه ترکیبی عملکرد EC با توجه به میزان مصرف گوگرد در گندم منطقه فارس

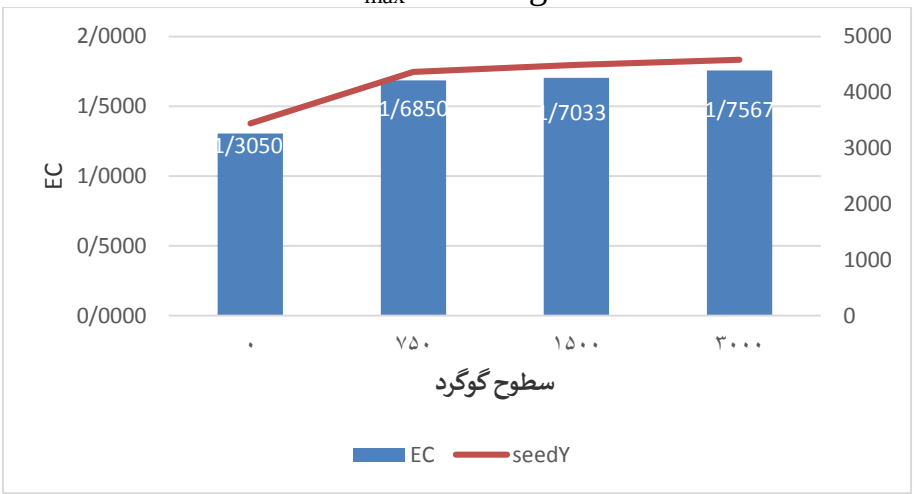
در منطقه فارس بیشینه عملکرد گندم با مصرف ۱۸۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به دست آمد، اما با توجه به روند خطی و شیب تند افزایش شوری با افزودن گوگرد به خاک، مصرف حدود ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد به عنوان نقطه بهینه انتخاب گردید بدین ترتیب با کاهش حدود ۸۰۰ کیلوگرم گوگرد تنها ۳۰۰ کیلوگرم از عملکرد را از دست دادیم که هم صرفه اقتصادی را به دنبال دارد و هم از افزایش شوری جلوگیری کرده‌ایم.

۲-۴-۲-۱-۳- خراسان



شکل شماره۱۵-۲- روند و مدل تعیین نقطه بهینه عملکرد براساس مصرف گوگرد در گندم منطقه خراسان

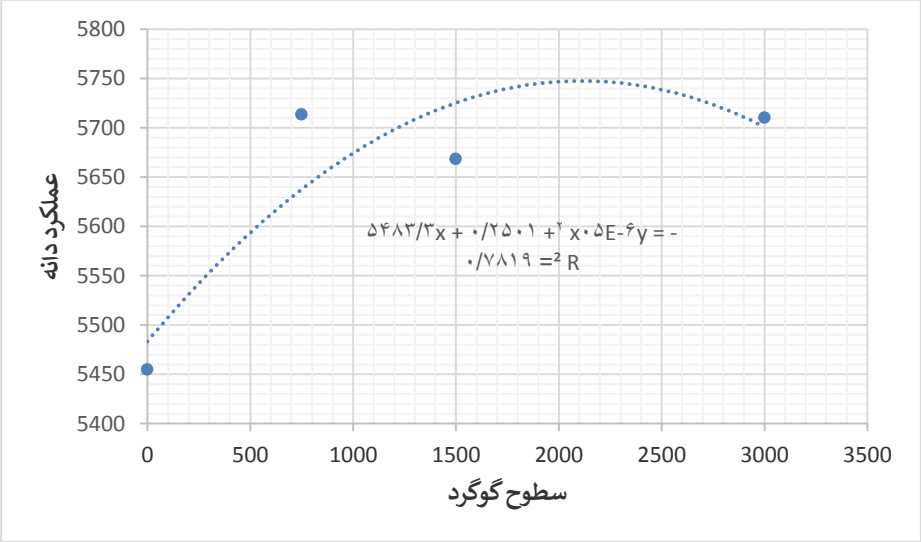
Y_{max}=1880 kg S



شکل شماره ۲-۱۶- مقایسه ترکیبی عملکرد EC با توجه به میزان مصرف گوگرد در گندم منطقه خراسان

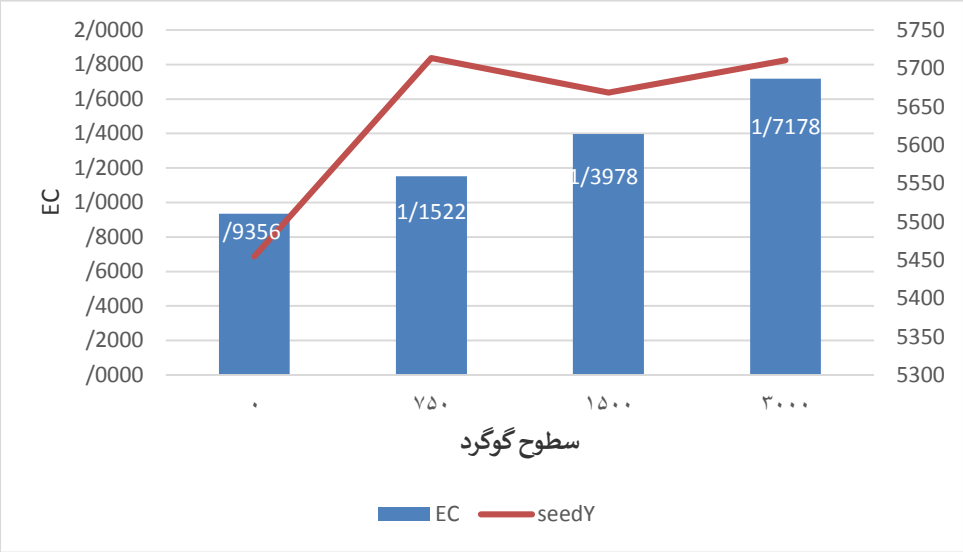
در منطقه خراسان با توجه به نتایج آزمایشهای انجام گرفته و براساس مدل، بیشترین عملکرد با مصرف ۱۸۸۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمده و همانطور که در نمودار ۱۶ نشان داده شده شوری نیز با افزایش گوگرد با شیب ملایمی افزایش می‌یابد، لذا مقایسه هر دو مدل عملکرد و شوری در اینجا ما را به عدد حدود ۱۰۰۰ کیلوگرم مصرف گوگرد در هکتار به عنوان حد بهینه مصرف گوگرد هدایت می‌کند که در اینجا کمتر از ۱۰٪ از عملکرد بیشینه عدول کرده‌ایم، اما افزایش شوری را هم به خوبی کنترل نموده‌ایم.

۲-۴-۲-۱-۴- خوزستان



$$Y_{max}=2080 \text{ kg S}$$

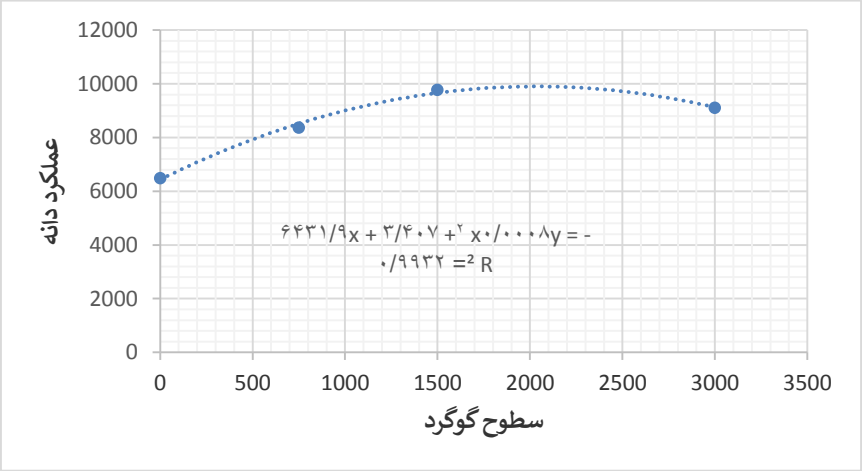
شکل شماره ۲-۱۷- روند و مدل تعیین نقطه بهینه عملکرد براساس مصرف گوگرد در گندم منطقه خوزستان



شکل شماره ۲-۱۸- مقایسه ترکیبی عملکرد EC با توجه به میزان مصرف گوگرد در گندم منطقه خوزستان

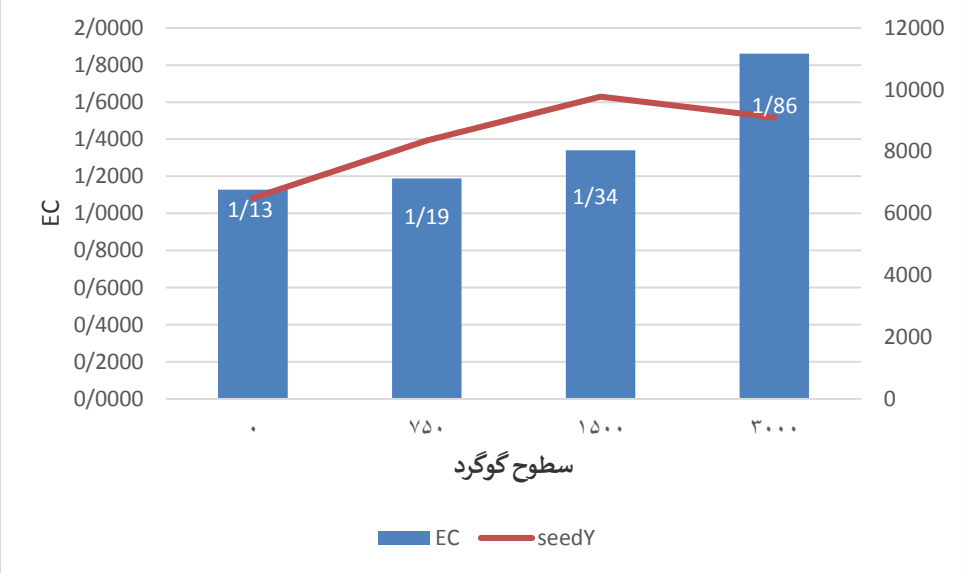
در رابطه با استان خوزستان براساس مدل، نقطه بهینه مصرف گوگرد برای بیشترین عملکرد، ۲۰۸۰ کیلوگرم گوگرد درهکتار بود، اما با توجه به شیب تند افزایش شوری با افزایش میزان گوگرد، بهتر است میزان گوگرد مصرفی از ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بیشتر نشود ضمن اینکه بین ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلوگرم گوگرد عملکردی معادل ۲۰۰ کیلوگرم به عملکرد اضافه می‌شود که می‌توان به بهای کنترل شوری از آن صرف نظر کرد. لذا مقدار گوگرد برای گندم در اراضی خوزستان بین ۷۵۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار توصیه می‌شود.

۲-۴-۲-۱-۵- قزوین



Y_{max}=2080 kg S

شکل شماره ۲-۱۹- روند و مدل تعیین نقطه بهینه عملکرد براساس مصرف گوگرد در گندم منطقه قزوین

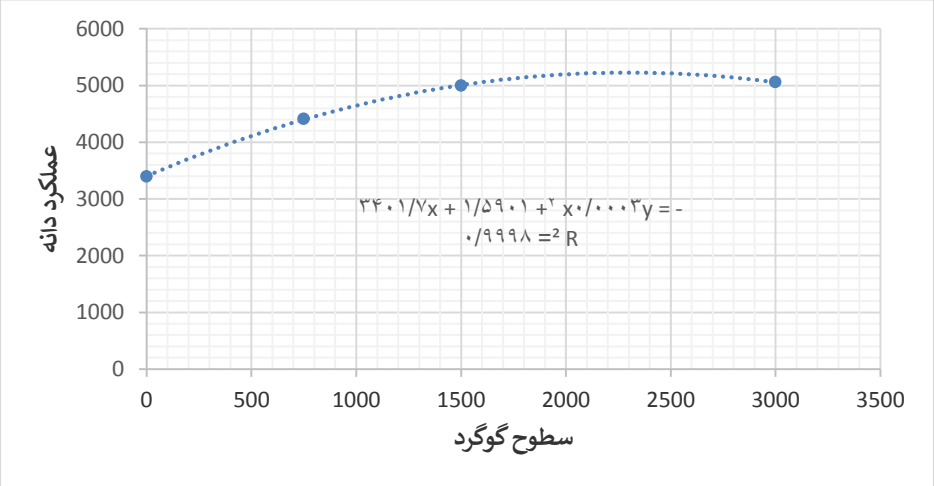


شکل شماره ۲-۲۰- مقایسه ترکیبی عملکرد EC با توجه به میزان مصرف گوگرد در گندم منطقه قزوین

در منطقه قزوین براساس مدل، عملکرد بیشینه با مصرف ۲۰۸۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد حاصل شد. ولی با توجه به مقایسه روند افزایش خطی و شیب تند شوری و ملایم بودن افزایش عملکرد بهتر است گوگرد داده شده به خاک از ۱۰۰۰ کیلوگرم بیشتر نشود. همانطور که از منحنی عملکرد (نمودار ۱۹) بین مصرف

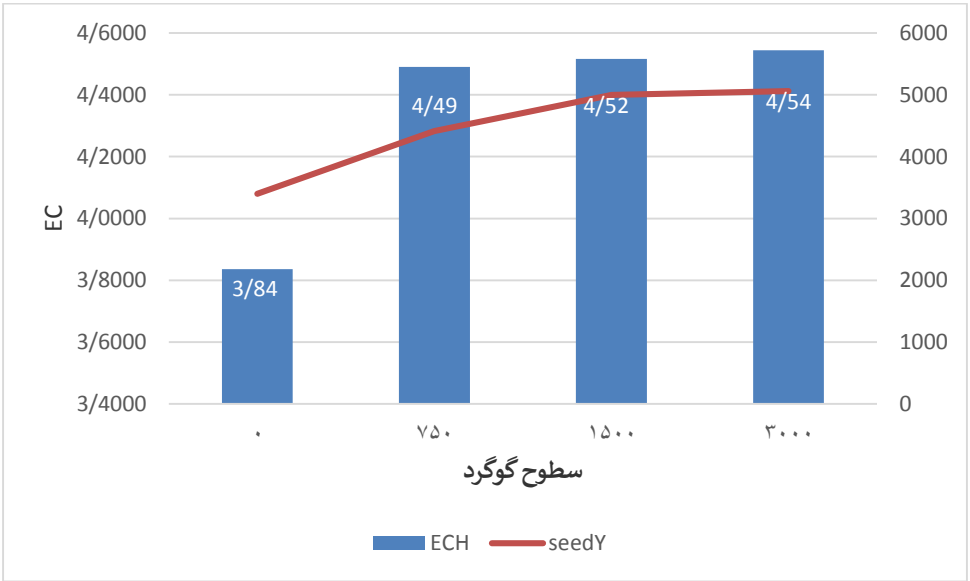
۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ کیلوگرم گوگرد حدود ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار اختلاف عملکرد وجود دارد که با صرف نظر کردن از آن می‌توان مانع افزایش شوری خاک شد.

۲-۴-۲-۱-۶- ورامین



Y_{max}=2500 kg S

شکل شماره ۲-۲۱- روند و مدل تعیین نقطه بهینه عملکرد براساس مصرف گوگرد در گندم منطقه ورامین

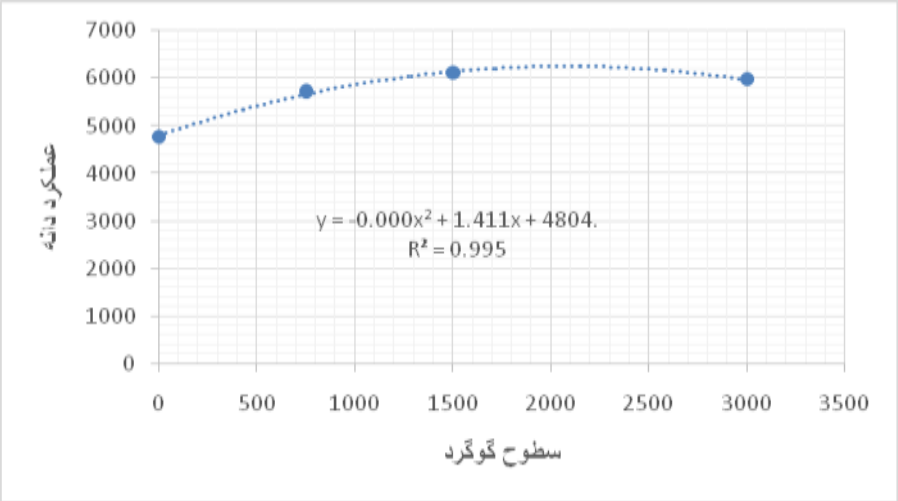


شکل شماره ۲-۲۲- مقایسه ترکیبی عملکرد EC با توجه به میزان مصرف گوگرد در گندم منطقه ورامین

نقطه بیشینه عملکرد در منطقه ورامین با مصرف ۲۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به دست آمد (حدود ۵۲۰۰ کیلوگرم در هکتار). از طرف دیگر با دقت در نمودار ۲-۲۲ ملاحظه می‌گردد که در این منطقه شوری اولیه خاک بالا است اگرچه شیب افزایش شوری با مصرف گوگرد از صفر تا ۷۵۰ خیلی تند و بعد از آن ملایمتر بوده است. مجموع اطلاعات هر دو نمودار نشان می‌دهد با کاهش حدود ۸۰۰ کیلوگرم گندم در هکتار به عدد ۷۵۰ کیلوگرم مصرف گوگرد در هکتار و با قبول کاهش حدود ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار به عدد ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار می‌رسیم. لذا در اینجا توصیه فنی مصرف بین ۷۵۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد می‌باشد.

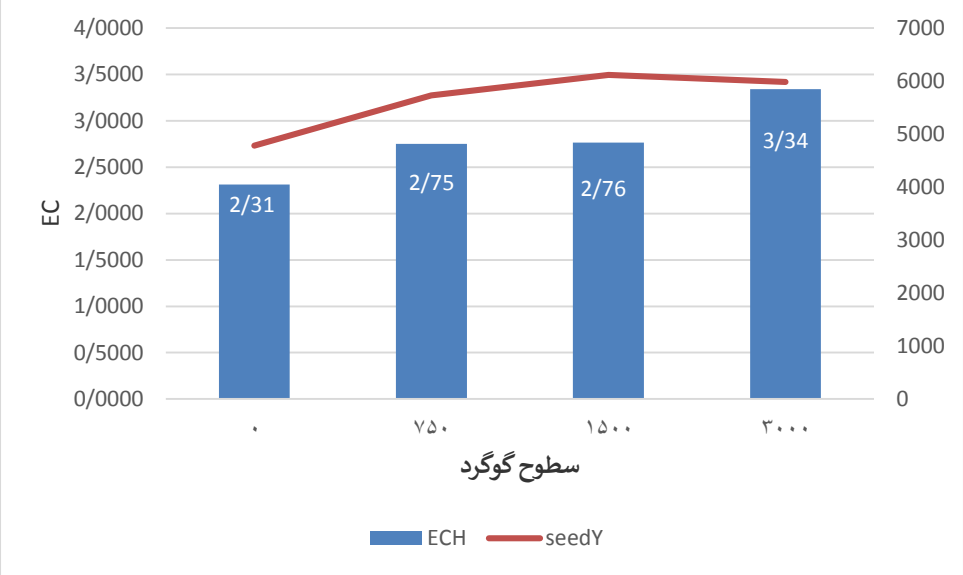
۲-۴-۲-۱-۷- جمع‌بندی کلی نتایج برای گیاه گندم

به منظور جمع‌بندی نتایج و ارائه نتیجه‌ای به عنوان توصیه کلی گندم کشوری، اگرچه نتایج به دلیل محدودیت مناطق اجرا قابلیت تعمیم به کل کشور را ندارد، اما به صورت تخمینی از مجموع نتایج مناطق اجرا منحنی و مدل کلی افزایش عملکرد با مصرف گوگرد و افزایش شوری با مصرف گوگرد استخراج گردید.



$$Y_{max}=2200 \text{ kg S}$$

شکل شماره ۲-۲۳- روند و مدل تعیین نقطه بهینه عملکرد براساس مصرف گوگرد در گندم

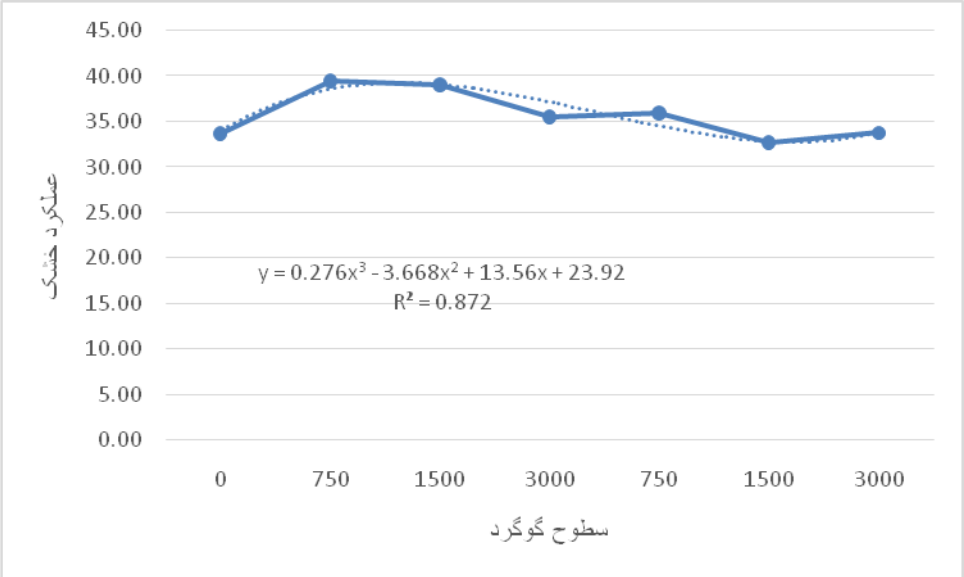


شکل شماره ۲-۲۴- مقایسه ترکیبی عملکرد EC با توجه به میزان مصرف گوگرد در گندم

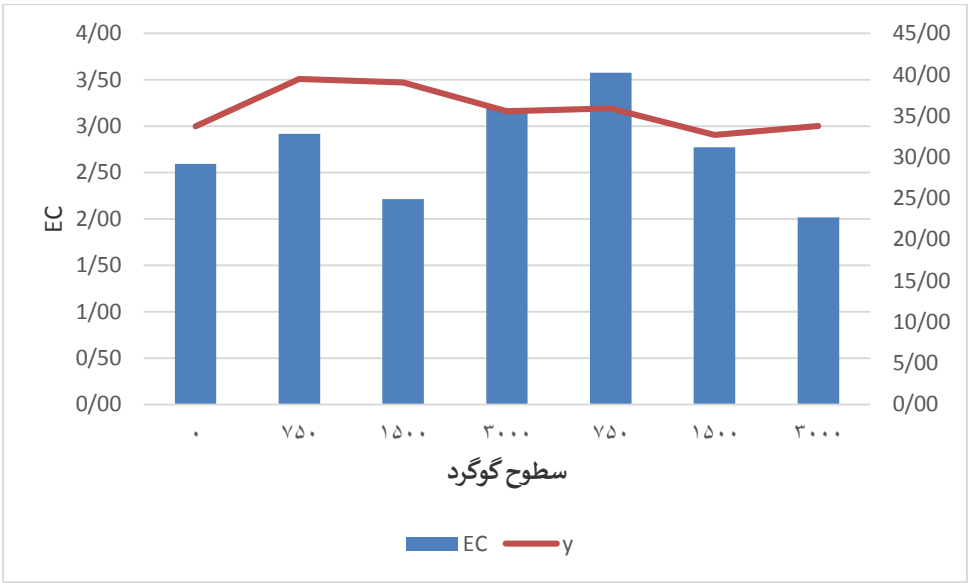
جمع‌بندی همه اطلاعات آزمایشات گندم در مناطق مختلف نشان می‌دهد براساس منحنی افزایش عملکرد با مصرف گوگرد، بیشترین عملکرد (حدود ۶۲۲ کیلوگرم گندم در هکتار) با مصرف ۲۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار قابل پیش‌بینی است، اما همین مدل نشان می‌دهد کاهش مصرف گوگرد تا ۱۰۰۰ کیلوگرم عملکرد را تنها حدود ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کاهش خواهد داد، البته کاهش میزان مصرف گوگرد به زیر ۱۰۰۰ عملکرد را با شیب بیشتری کاهش می‌دهد، اما بازهم تا ۷۵۰ کیلوگرم این کاهش منطقی و در برابر عدم افزایش شوری، توجیه‌پذیر است. کما اینکه براساس منحنی شوری، افزایش شوری در محدوده مصرف گوگرد بیش از ۱۰۰۰ شدید است. لذا در جمع‌بندی کلی برای گیاه گندم مصرف ۷۵۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار توصیه می‌شود. در این ارتباط برای مناطقی با زهکشی ضعیف و شوری اولیه بالا باید به سمت ۷۵۰ کیلوگرم میل کنیم و برای مناطق با آهک بالاتر و زهکش خوب به سمت عدد ۱۰۰۰ کیلوگرم.

۲-۲-۴-۲- ذرت

۲-۲-۴-۲-۱- فارس



شکل شماره ۲-۲۵- روند و مدل تعیین نقطه بهینه عملکرد براساس مصرف گوگرد در ذرت منطقه فارس

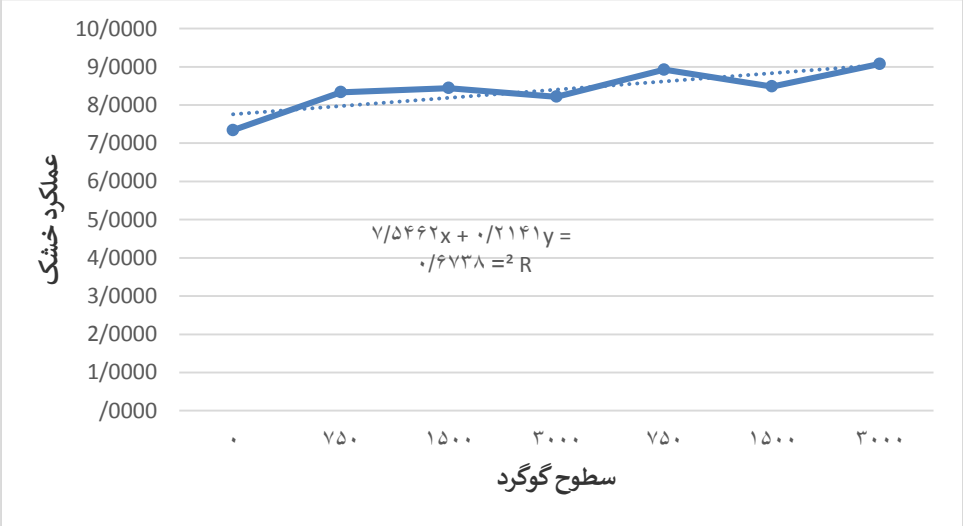


شکل شماره ۲-۲۶- مقایسه ترکیبی عملکرد EC با توجه به میزان مصرف گوگرد در ذرت منطقه فارس

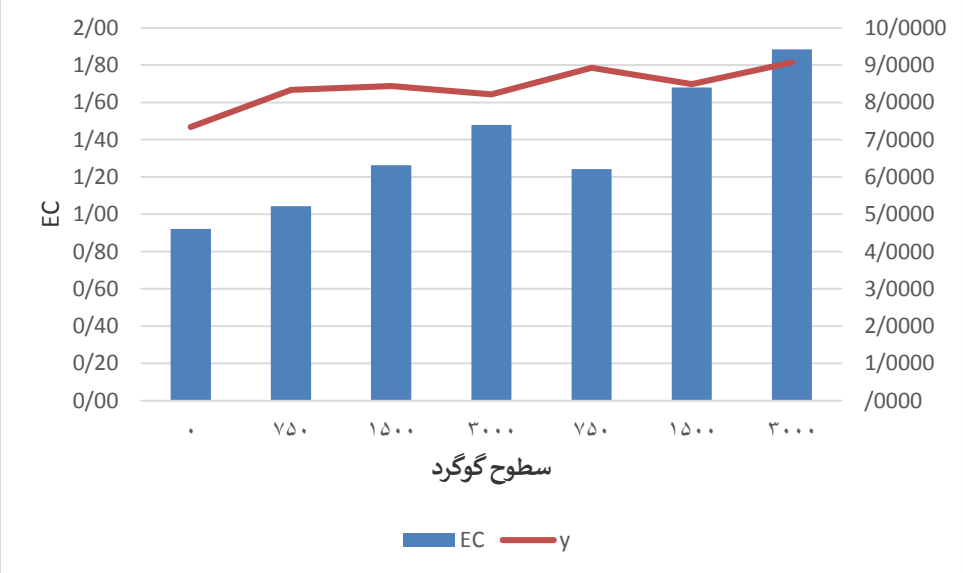
مدل به دست آمده در منطقه فارس (نمودار ۲-۲۵) برای گیاه ذرت نشان می‌دهد با مصرف ۱۱۵۰ کیلوگرم، عملکرد بیشینه به دست می‌آید. با توجه به تغییرات شوری به نظر می‌رسد بین ۷۵۰ تا ۱۰۰۰

کیلوگرم گوگرد در تناوب اول برای کشت ذرت مناسب باشد بنابراین در این شرایط با توجه به نتایج تغییر pH با مصرف گوگرد، توصیه می‌گردد در این شرایط در تناوب دوم گوگرد مصرف نشود (نمودار ۲-۲۶).

۲-۲-۴-۲-۲- خوزستان



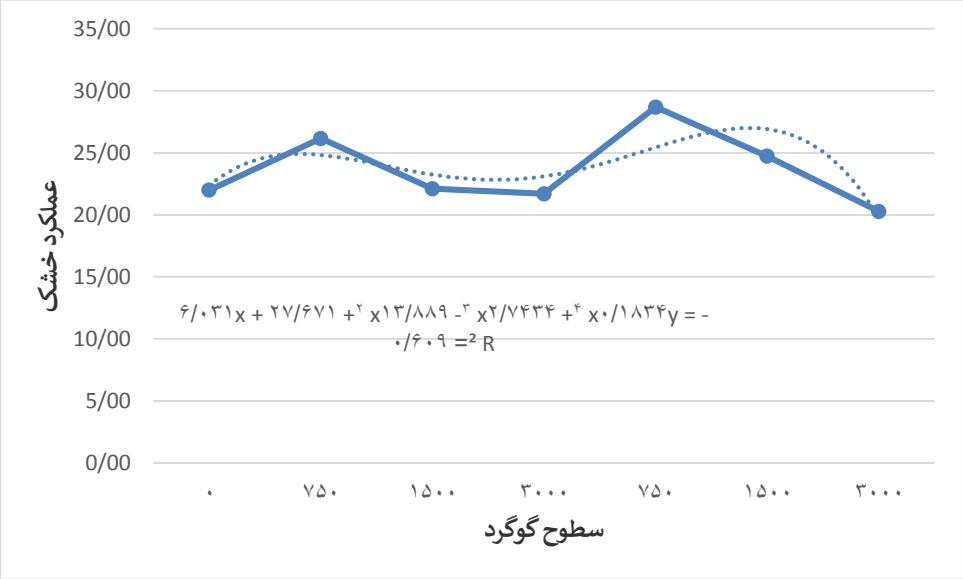
شکل شماره ۲-۲۷- روند و مدل تعیین نقطه بهینه عملکرد براساس مصرف گوگرد در ذرت منطقه خوزستان



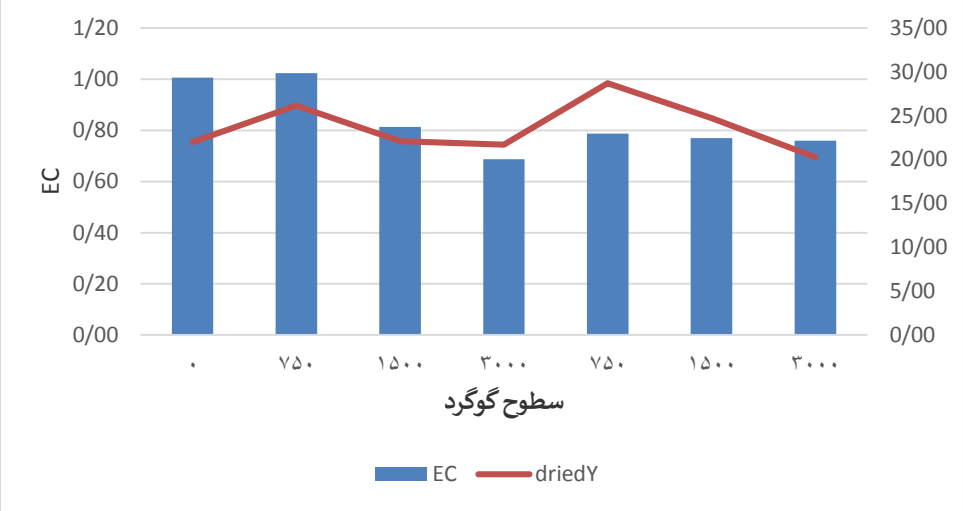
شکل شماره ۲-۲۸- مقایسه ترکیبی عملکرد EC با توجه به میزان مصرف گوگرد در ذرت منطقه خوزستان

در خوزستان روند افزایش عملکرد ذرت با افزایش گوگرد مصرفی در خاک با یک شیب بسیار ملایم خطی می‌باشد. بنابراین اگرچه نقطه بیشینه عملکرد با مصرف ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در تناوب دوم به دست آمده است ولی از آنجائیکه شیب افزایش شوری خاک تند است و شیب افزایش عملکرد بسیار ملایم و همراه با نوسان، افزایش عملکرد ناشی از افزایش گوگرد بیش از ۷۵۰ کیلوگرم در هکتار قابل توصیه نیست، بدین ترتیب بهترین انتخاب، مصرف ۷۵۰ کیلوگرم گوگرد در تناوب اول یا دوم می‌باشد.

۳-۲-۲-۴-۲- مازندران



شکل شماره ۲-۲۹- روند و مدل تعیین نقطه بهینه عملکرد براساس مصرف گوگرد در ذرت منطقه مازندران

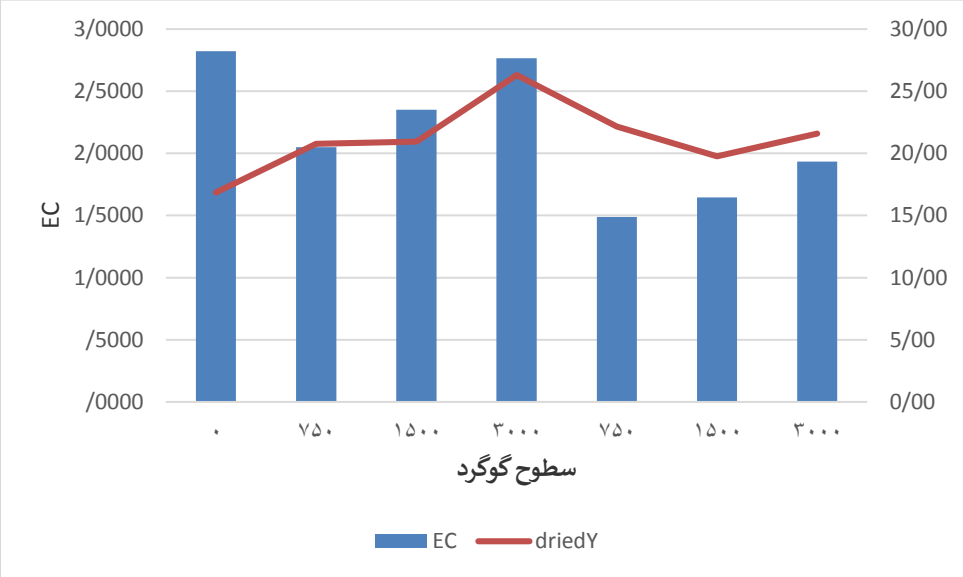


شکل شماره ۲-۳۰- مقایسه ترکیبی عملکرد EC با توجه به میزان مصرف گوگرد در ذرت منطقه مازندران

در مازندران براساس نمودار ۲۹ و مدل به دست آمده، مقدار ۱۲۰۰ کیلوگرم گوگرد برای دستیابی به بیشترین عملکرد هکتاری علوفه خشک قابل توصیه است. با توجه به پایین بودن شوری در منطقه و بارندگی مناسب حدود ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد را می‌توان برای منطقه توصیه نمود.

۲-۴-۲-۴-۲- قزوین

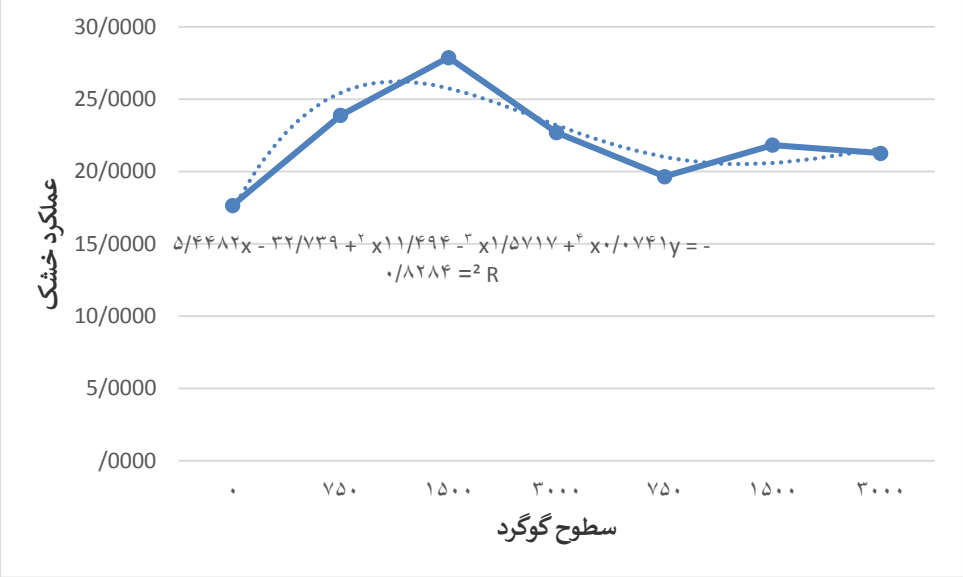
شکل شماره۲-۳۱- روند و مدل تعیین نقطه بهینه عملکرد براساس مصرف گوگرد در ذرت منطقه قزوین



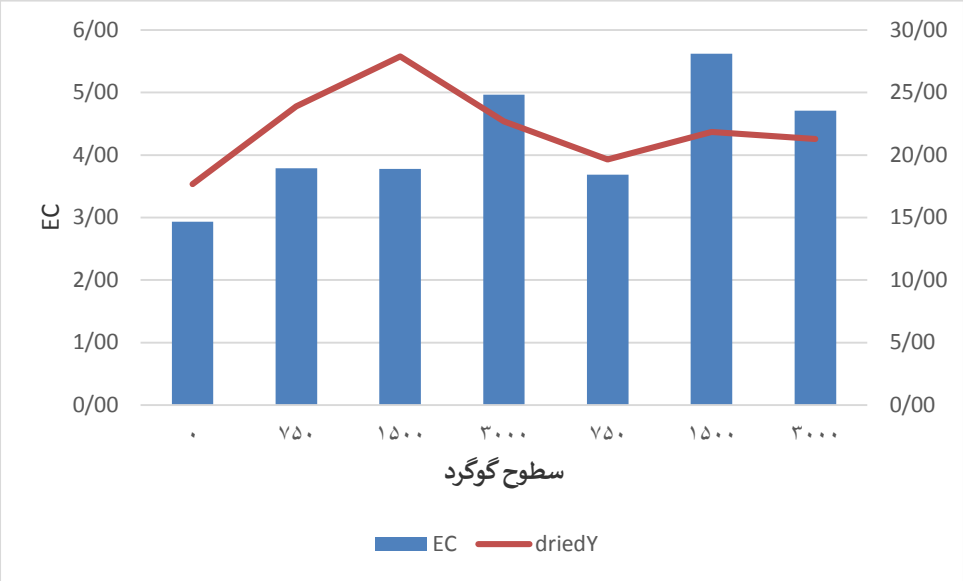
شکل شماره ۲-۳۲- مقایسه ترکیبی عملکرد EC با توجه به میزان مصرف گوگرد در ذرت منطقه قزوین

در منطقه قزوین جمع‌بندی داده‌ها از روی مدل (نمودار ۲-۳۱) میزان ۲۸۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد را برای عملکرد بیشینه به دست داد، اما از طرف دیگر این میزان مصرف گوگرد شوری را به شدت افزایش مـی-دهد. لذا با ترکیب هر دو نمودار، میزان ۷۵۰ کیلوگرم گوگرد در تناوب اول یا دوم برای ذرت توصیه می‌گردد.

۵-۲-۲-۴-۲- ورامین



شکل شماره ۲-۳۳- روند و مدل تعیین نقطه بهینه عملکرد براساس مصرف گوگرد در ذرت منطقه ورامین

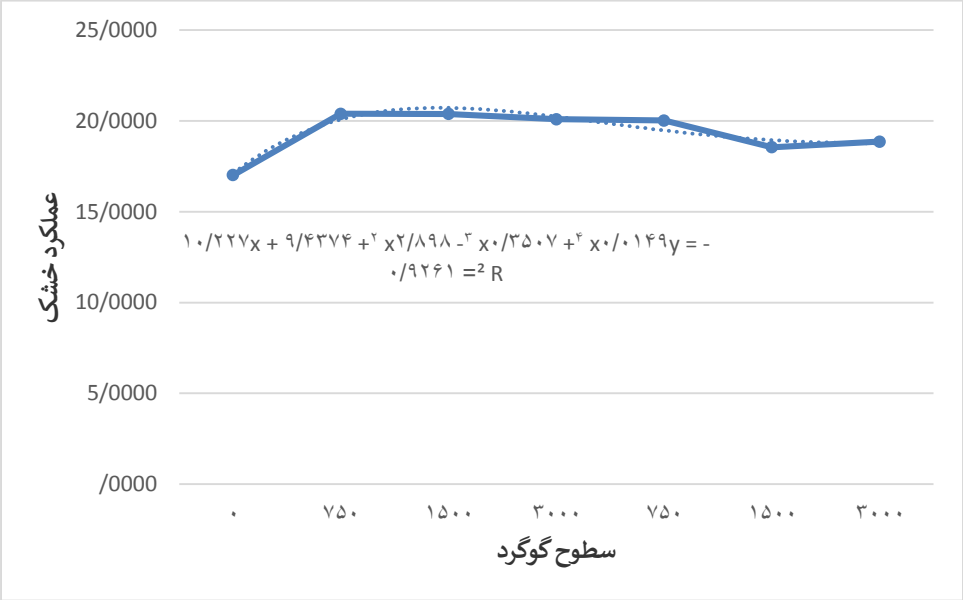


شکل شماره ۲-۳۴- مقایسه ترکیبی عملکرد EC با توجه به میزان مصرف گوگرد در ذرت منطقه ورامین

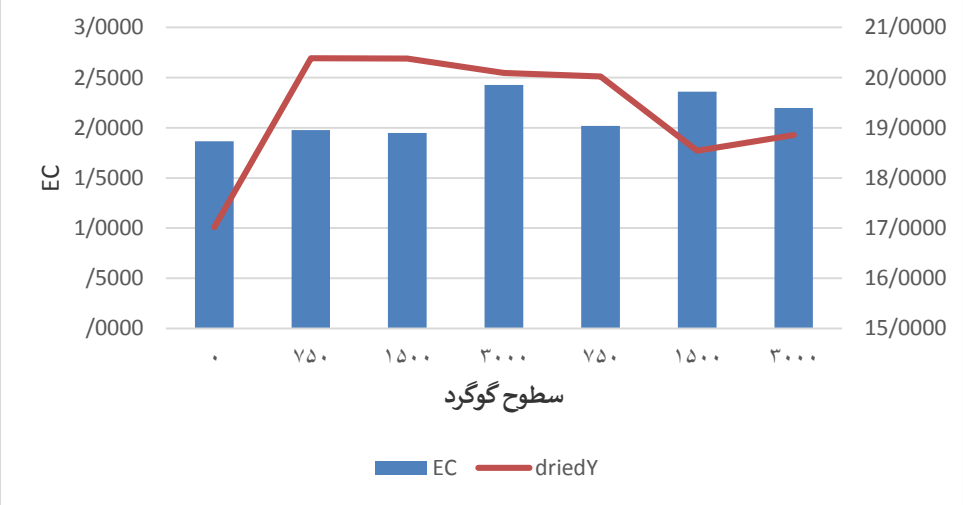
مدل به دست آمده در منطقه ورامین برای دستیابی به حداکثر عملکرد مصرف ۱۲۰۰ کیلوگرم گوگرد را در تناوب اول توصیه می‌کند، چون در این نقطه شوری خاک افزایش قابل ملاحظه‌ای ندارد می‌توان حدود ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد را به عنوان توصیه گوگرد در منطقه ارائه نمود.

۶-۲-۲-۴-۲- جمع‌بندی کلی نتایج برای گیاه ذرت

به منظور جمع‌بندی نتایج و ارائه نتیجه‌ای به عنوان توصیه کلی ذرت کشوری، اگرچه نتایج به دلیل محدودیت مناطق اجرا قابلیت تعمیم به کل کشور را ندارد، اما به صورت تخمینی از مجموع نتایج مناطق اجرا منحنی و مدل کلی افزایش عملکرد با مصرف گوگرد و افزایش شوری با مصرف گوگرد استخراج گردید.



شکل شماره ۲-۳۵- روند و مدل تعیین نقطه بهینه عملکرد براساس مصرف گوگرد در ذرت



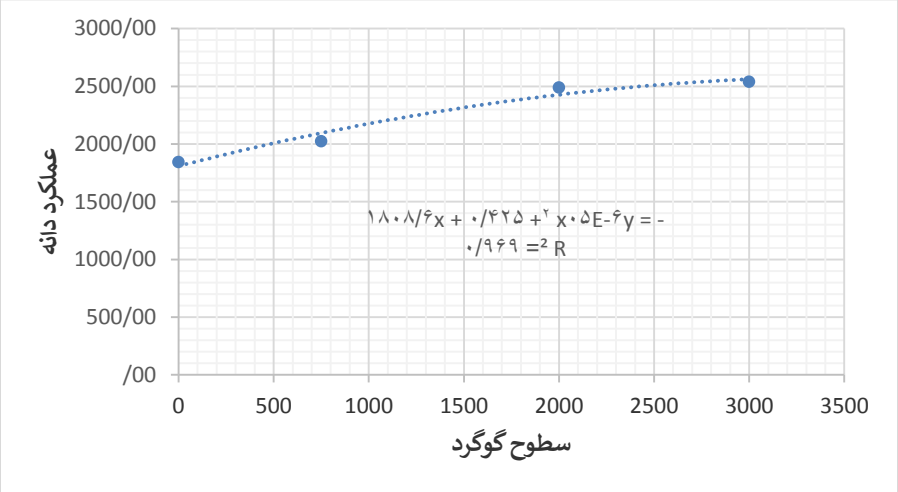
شکل شماره ۲-۳۶- مقایسه ترکیبی عملکرد EC با توجه به میزان مصرف گوگرد در ذرت

در جمع‌بندی کل مناطقی که آزمایش برروی گیاه ذرت انجام گرفته، مدل به دست آمده میزان ۱۳۰۰ کیلوگرم در تناوب اول را برای تولید حداکثر علوفه خشک ارائه می‌کند. اما با در نظر گرفتن سایر جهات از جمله

تغییرات شوری و با توجه به تاثیر اندک افزایش گوگرد بیش از ۷۵۰ کیلوگرم مقدار بهینه توصیه عمومی مناطق همان عدد ۷۵۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد.

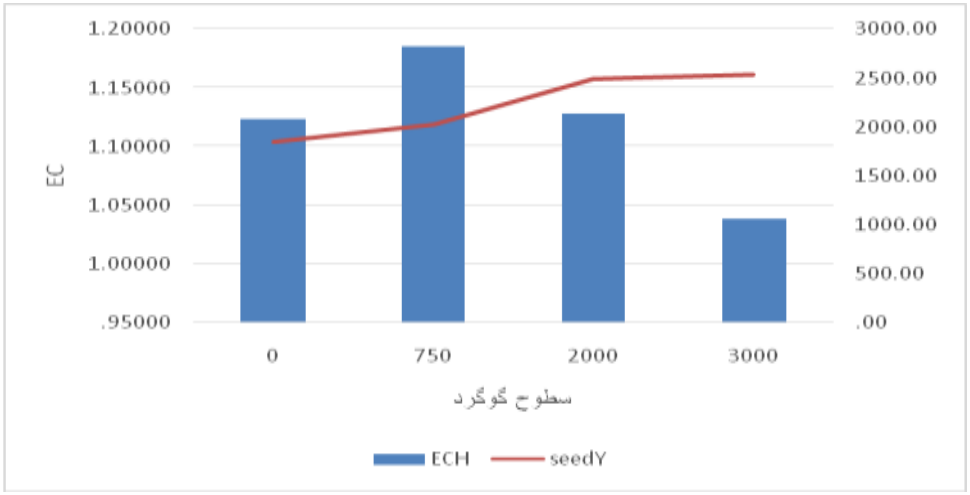
۳-۲-۴-۲- کلزا

۱-۳-۲-۲-۲- مازندران



Ymax= 2800 kg S

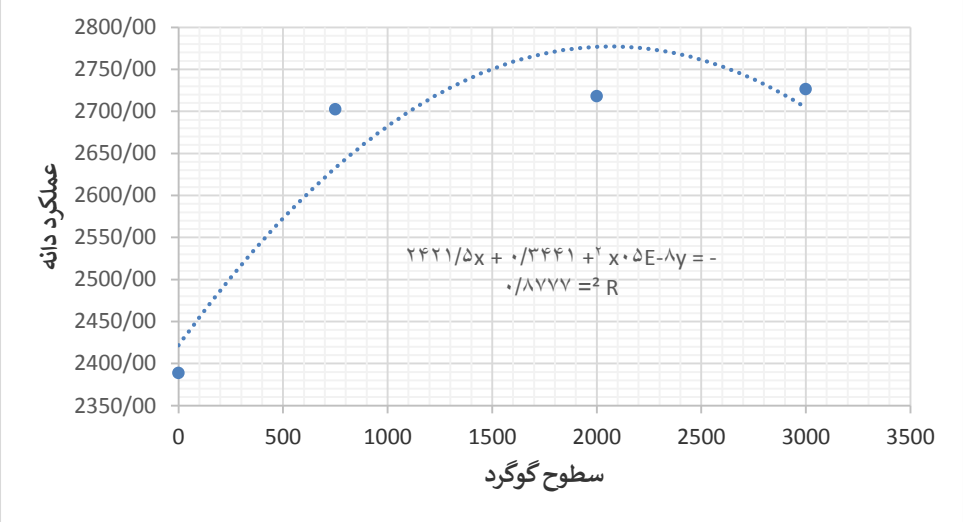
شکل شماره ۲-۳۷- روند و مدل تعیین نقطه بهینه عملکرد براساس مصرف گوگرد در کلزا منطقه مازندران



شکل شماره ۲-۳۸- مقایسه ترکیبی عملکرد EC با توجه به میزان مصرف گوگرد در کلزا منطقه مازندران

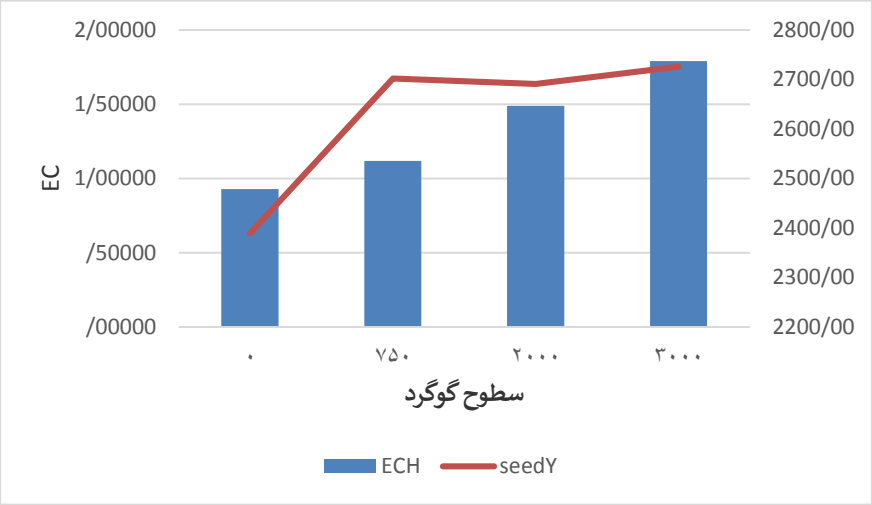
براساس مدل، نقطه بیشینه عملکرد کلزا در منطقه مازندران با مصرف ۲۸۰۰ کیلوگرم گوگرد به دست آمده، البته شوری اولیه خاک در این منطقه پائین بوده و خطر افزایش شوری با مصرف گوگرد حداقل است. اما براساس مدل با افزایش مصرف گوگرد از ۱۰۰۰ کیلوگرم تا ۲۰۰۰ کیلوگرم، افزایش عملکرد حدود ۴۰۰ کیلوگرم کلزا متصور است. لذا تصمیم‌گیری در فاصله ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلوگرم مصرف هکتاری گوگرد به بازدهی اقتصادی مصرف وابسته است. با رعایت جوانب احتیاط در رابطه با شوری که مسئله مهم کشور ما است، میزان توصیه حدود ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد منطقی تر به نظر می‌رسد.

۲-۳-۲-۲-۲- خوزستان



Ymax= 2100 kg S

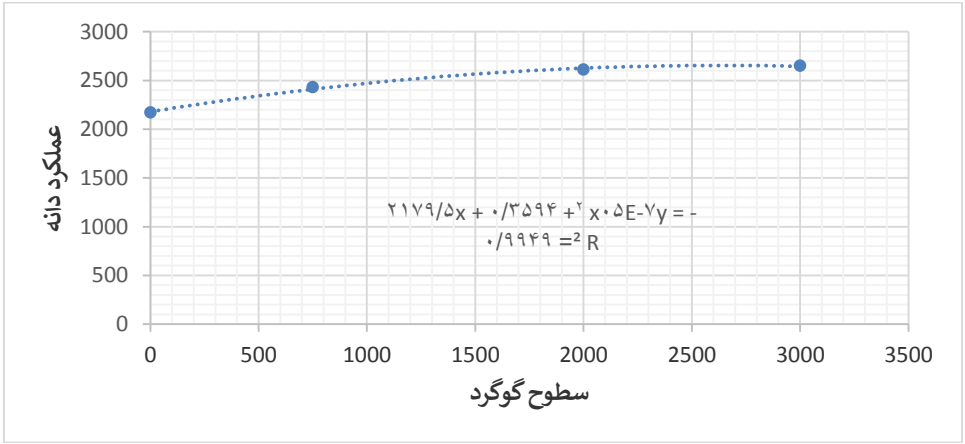
شکل شماره ۲-۳۹- روند و مدل تعیین نقطه بهینه عملکرد براساس مصرف گوگرد در کلزا منطقه خوزستان



شکل شماره ۲-۴۰- مقایسه ترکیبی عملکرد EC با توجه به میزان مصرف گوگرد در کلزا منطقه خوزستان

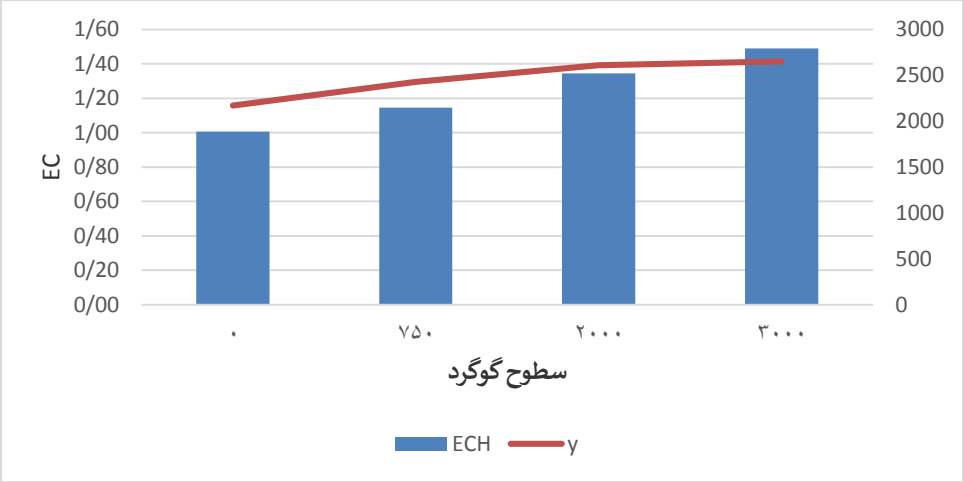
بیشینه عملکرد کلزا برای خوزستان براساس مدل و منحنی ۳۹، با مصرف ۲۱۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به دست آمده است اما شیب افزایش شوری خاک با مصرف گوگرد در خوزستان تند است، لذا برای خوزستان با صرف نظر کردن از عملکرد حدود ۲۰۰ کیلوگرم کلزا در هکتار، مقدار ۷۵۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار قابل توصیه خواهد بود.

۳-۳-۲-۲-۲- جمع‌بندی کلی نتایج برای گیاه کلزا



Ymax= 2500 Kg S

شکل شماره ۲-۴۱- روند و مدل تعیین نقطه بهینه عملکرد براساس مصرف گوگرد در کلزا



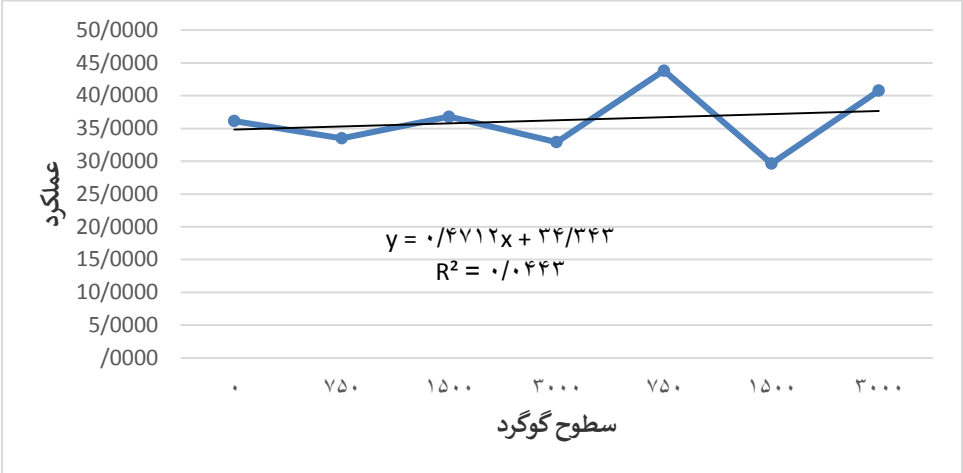
شکل شماره ۲-۴۲- مقایسه ترکیبی عملکرد EC با توجه به میزان مصرف گوگرد در کلزا

به منظور جمع‌بندی نتایج و ارائه نتیجه‌ای به عنوان توصیه کلی کلزای کشوری، اگرچه نتایج به دلیل محدودیت مناطق اجرا قابلیت تعمیم به کل کشور را ندارد، اما به صورت تخمینی از مجموع نتایج مناطق اجرا منحنی و مدل کلی افزایش عملکرد با مصرف گوگرد و افزایش شوری با مصرف گوگرد استخراج گردید.

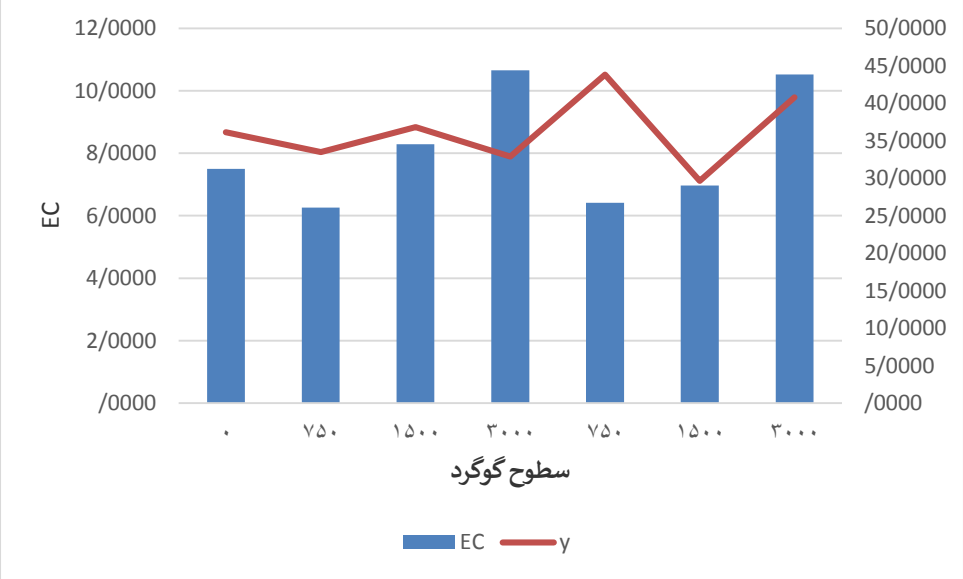
با توجه به اجرای طرح کلزا در دو منطقه خوزستان و مازندران، مناطق اجرا البته برای ارائه یک توصیه کلی کافی نیست، اما در سرجمع دو منطقه، مدل ۲۵۰۰ کیلوگرم گوگرد را برای عملکرد حداکثر ارائه می‌کند. ولی با توجه به شیب افزایش شوری و با هدف جلوگیری از خطرات افزایش ناگهانی شوری، میزان گوگرد بین ۷۵۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار پیشنهاد می‌شود.

۴-۲-۴-۲- پیاز

۴-۲-۴-۱-۲- آذربایجان شرقی



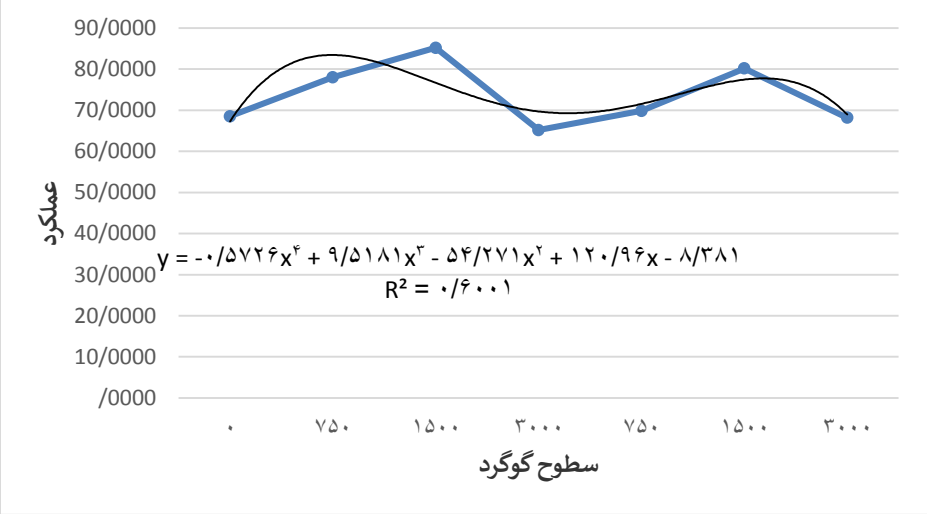
شکل شماره ۲-۴۳- روند و مدل تعیین نقطه بهینه عملکرد براساس مصرف گوگرد در پیاز منطقه آذربایجان شرقی



شکل شماره ۲-۴۴- مقایسه ترکیبی عملکرد EC با توجه به میزان مصرف گوگرد در پیاز منطقه آذربایجان شرقی

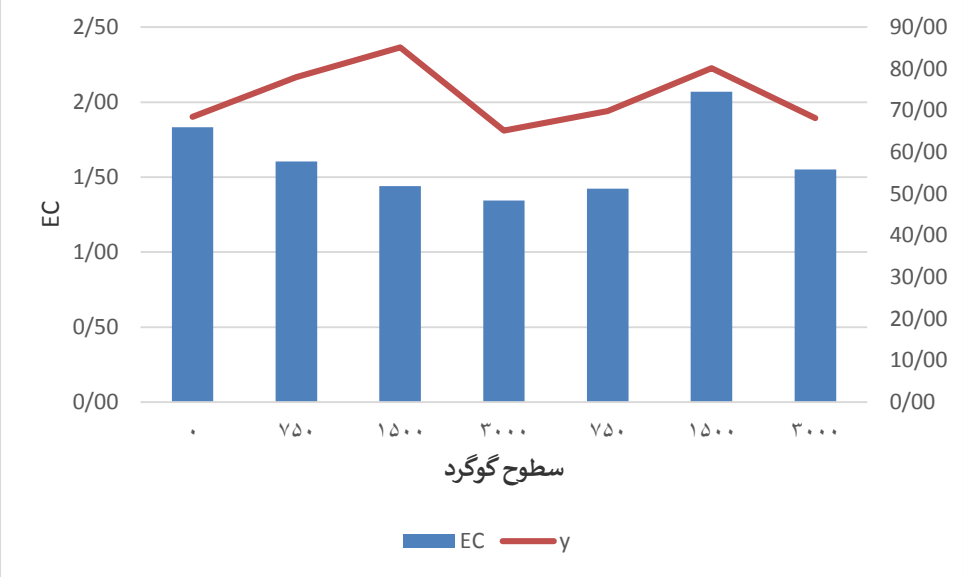
نتایج تاثیر مصرف گوگرد بر عملکرد پیاز در منطقه آذربایجان شرقی مدل خطی با همبستگی قابل قبولی را به دست نداد، اما با بررسی نتایج تغییرات درصد گوگرد (سولفات) خاک و تغییرات شوری میزان ۷۵۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار قابل توصیه است.

۲-۴-۲-۴-۲- خراسان



Ymax = 1000 Kg S در تناوب اول

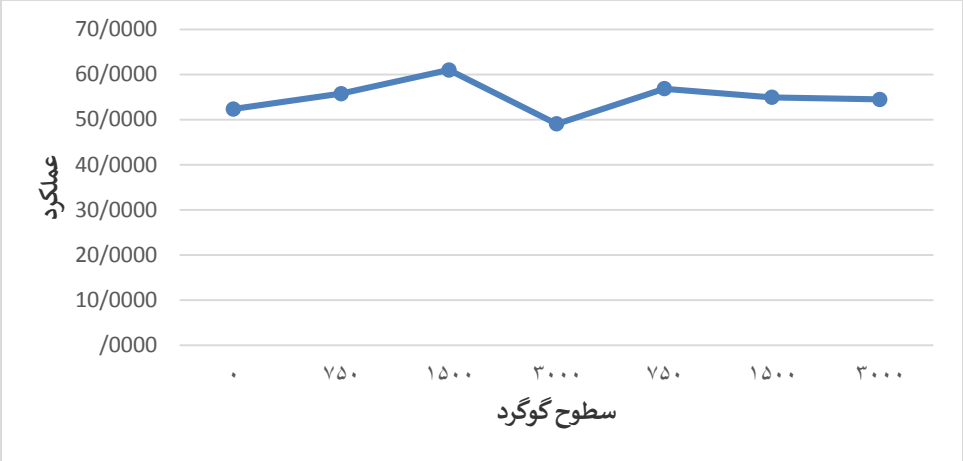
شکل شماره ۲-۴۵- روند و مدل تعیین نقطه بهینه عملکرد براساس مصرف گوگرد در پیاز منطقه خراسان



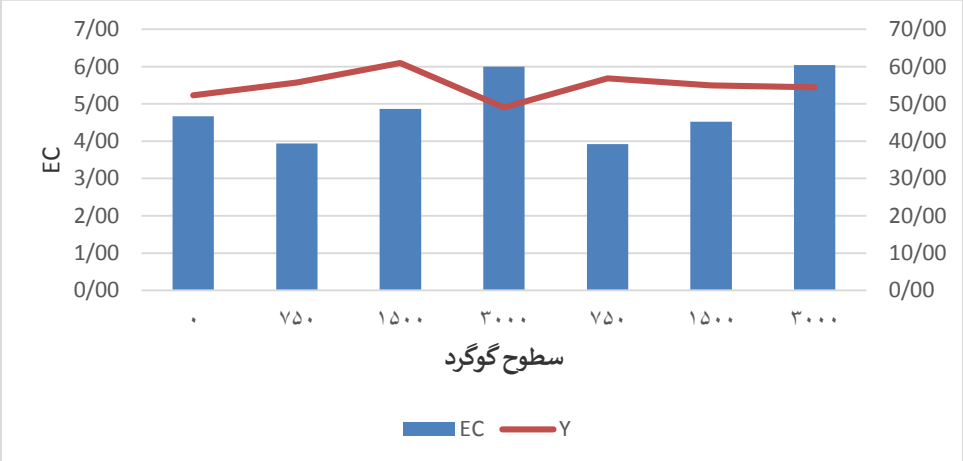
شکل شماره ۲-۴۶- مقایسه ترکیبی عملکرد EC با توجه به میزان مصرف گوگرد در پیاز منطقه خراسان

در جمع‌بندی نتایج خراسان با توجه به اینکه مدل ارائه شده حدود ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار را در تناوب اول توصیه می‌کند، اگرچه در نقطه ۱۰۰۰ کیلوگرم شوری افزایش قابل ملاحظه‌ای ندارد. اما با توجه به ملاحظاتی که بایستی در رابطه با خطرات شوری در نظر گرفته شود، مقدار ۷۵۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد برای پیاز در خراسان توصیه می‌گردد.

۳-۴-۲-۴-۲- جمع‌بندی کلی نتایج برای گیاه پیاز



شکل شماره ۲-۴۷- روند و مدل تعیین نقطه بهینه عملکرد براساس مصرف گوگرد در پیاز



شکل شماره ۲-۴۸- مقایسه ترکیبی عملکرد EC با توجه به میزان مصرف گوگرد در پیاز

به منظور جمع‌بندی نتایج و ارائه نتیجه‌ای به عنوان توصیه کلی پیاز کشوری، اگرچه نتایج به دلیل محدودیت مناطق اجرا قابلیت تعمیم به کل کشور را ندارد، اما به صورت تخمینی از مجموع نتایج مناطق اجرا، منحنی و مدل کلی افزایش عملکرد با مصرف گوگرد و افزایش شوری با مصرف گوگرد استخراج گردید.

جمع‌بندی نتایج دو منطقه خراسان و آذربایجان شرقی برای گیاه پیاز مدل مناسبی را برای توصیه گوگردبه دست نداد، اما با در نظر گرفتن کلیه شرایط محدوده ۱۰۰۰-۷۵۰ کیلوگرم گوگرد برای پیاز در تناوب اول یا دوم قابل توصیه است.

۳-۴-۲- بررسی کاربرد گوگرد در کاهش pH محیط ریزوسفر گیاه گندم و ذرت

۱-۳-۴-۲- نتایج حاصله از کشت گندم

۲-۴-۳-۱-۱-وزن خشک اندام هوایی گندم

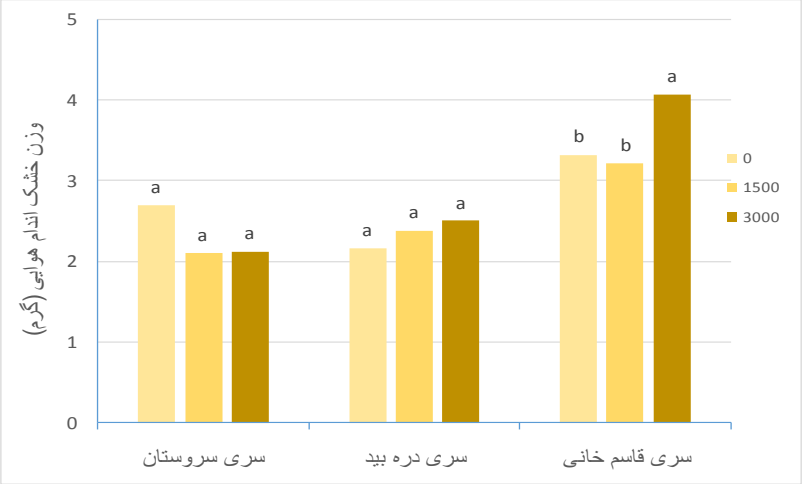
به طور میانگین وزن خشک اندام هوایی گندم در خاک های مختلف متفاوت بود. در گیاهان گندم رشد کرده در خاک قاسم خانی وزن خشک اندام هوایی به طور معنی داری بیشتر بود (جدول ۲۳). کاربرد گوگرد تاثیر معنی داری بر وزن خشک اندام هوایی گندم نداشت. با مصرف معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار وزن خشک اندام هوایی از ۲/۷ به ۲/۹ گرم در هر ریشه دان رسید (جدول ۲۴). اثرات کاربرد گوگرد بر وزن خشک اندام هوایی گندم در خاک های مورد مطالعه متفاوت بود (شکل۲-۴۹). در خاک سروستان کاربرد گوگرد سبب کاهش غیر معنی دار وزن خشک اندام هوایی گندم گردید. در خاک های دره بید و قاسم خانی کاربرد گوگرد با افزایش وزن خشک اندام هوایی گندم همراه بود. این افزایش تنها در سطح کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار در خاک قاسم خانی معنی دار گردید.

جدول۲- ۲۳- اثر اصلی نوع خاک بر رشد و غلظت گوگرد در گیاه گندم

سری خاک	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	غلظت گوگرد در اندام هوایی (درصد)	جذب گوگرد توسط اندام هوایی (میلی گرم در ریشه دان)
سروستان	۲/۳۱ b	۰/۹۱ a	۰/۲۷ a	۶/۳b
دره بید	۲/۳۵ b	۰/۷۱ a	۰/۲۳ a	۵/۴b
قاسم خانی	۳/۵۸ a	۰/۶۱ a	۰/۲۴ a	۸/۶a

جدول ۲-۲۴- اثر اصلی مصرف گوگرد بر رشد و غلظت گوگرد در گیاه گندم

گوگرد	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	غلظت گوگرد در اندام هوایی (درصد)	جذب گوگرد توسط اندام هوایی (میلی گرم در ریشه دان)
۰	۲/۷۳ a	۰/ ۸۵a	۰/۲۲ a	۶/۰a
۱۵۰۰	۲/۴۹ a	۰/۷۲a	۰/۲۸ a	۷/۰a
۳۰۰۰	۲/۹۰ a	۰/۶۷ a	۰/۲۴ a	۷/۲a

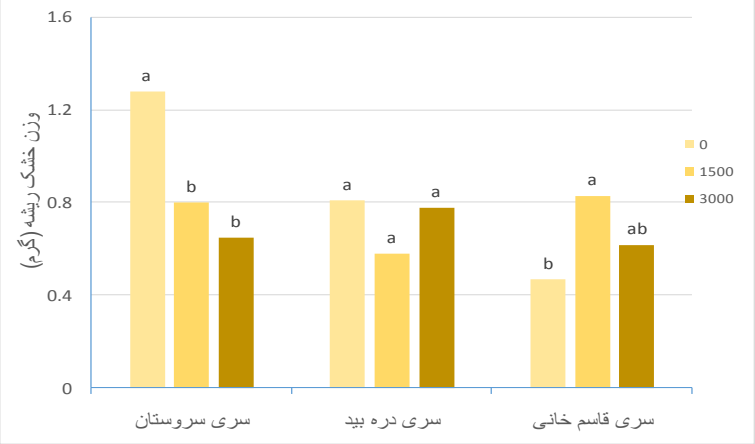


شکل شماره ۲-۴۹- نمودار **تاثیر مصرف گوگرد (کیلوگرم در هکتار) در خاکهای مورد مطالعه بر وزن خشک اندام هوایی گندم**

۲-۴-۳-۱-۲- وزن خشک ریشه گندم

به طور میانگین، وزن خشک ریشه گیاهان رشد کرده در خاکهای مختلف تفاوت معنی داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۲۳). کاربرد گوگرد نیز اثر معنی داری بر وزن خشک ریشه گندم نداشت (جدول ۲۴). با این حال کاهش اندک در وزن خشک ریشه با کاربرد گوگرد مشاهده شد. وزن خشک ریشه با مصرف معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار ۲۱ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد. اثرات کاربرد گوگرد در خاکهای مختلف بر وزن خشک ریشه متفاوت بود (شکل۲-۵۰). کاربرد گوگرد در خاک سروستان سبب کاهش معنی دار وزن خشک ریشه گردید. وزن خشک ریشه در این خاک با کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار نسبت به شاهد ۴۹ درصدکاهش داشت. در خاک سری دره بید کاربرد گوگرد تاثیر معنی دار ی بر وزن خشک ریشه بر

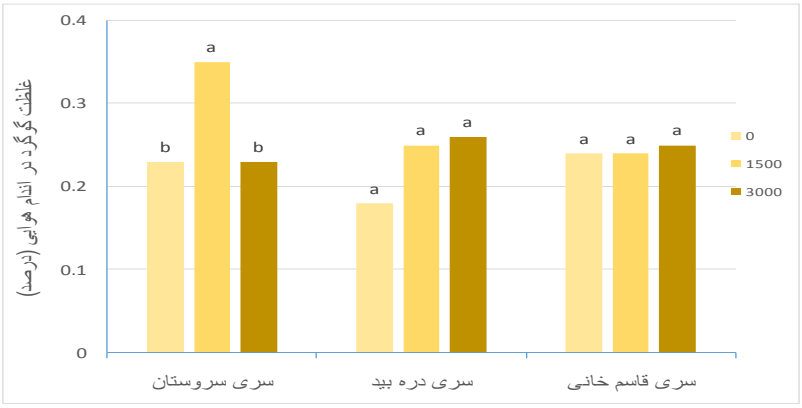
جای نگذاشت. در خاک سری قاسم خانی، کاربرد گوگرد به ویژه در سطح معادل ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار سبب افزایش وزن خشک ریشه گردید. در این شرایط کاربرد گوگرد با افزایش ۳۲ درصدی وزن خشک ریشه همراه بود.



شکل شماره ۲-۵۰- نمودار **تاثیر مصرف گوگرد (کیلوگرم در هکتار) در خاکهای مورد مطالعه بر وزن خشک ریشه گندم**

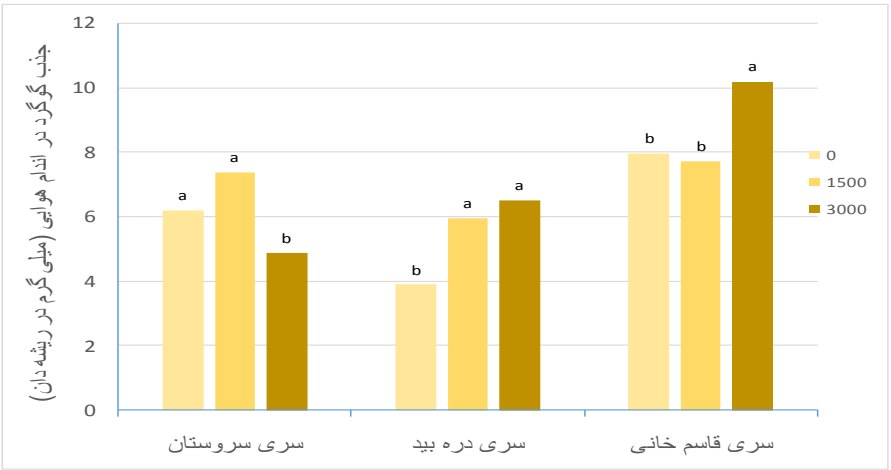
۲-۴-۳-۱-۳- غلظت و جذب گوگرد در اندام هوایی گندم

غلظت گوگرد در اندام هوایی گیاهان رشد کرده در خاکهای مختلف تفاوت معنی داری با یکدیگر نداشتند. در حالی که جذب گوگرد در گیاهان رشد کرده در خاک سری قاسم خانی بیش از دیگر خاکها بود (جدول ۲۳). به طور میانگین، غلظت و جذب گوگرد در اندام هوایی تحت تاثیر کاربرد گوگرد قرار نگرفت (جدول ۲۴). تاثیر گوگرد بر غلظت و جذب گوگرد در خاکهای مختلف متفاوت بود (شکل ۲-۵۱ و۲-۵۲). در سری خاکهای دره بید و قاسم خانی کاربرد گوگرد تاثیری بر غلظت گوگرد در اندام هوایی گندم نداشت (شکل ۲-۵۲). در حالی که در خاک سروستان تنها کاربرد معادل ۱۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار سبب افزایش معنی دار غلظت گوگرد در اندام هوایی گندم گردید.



شکل شماره ۲-۵۱- نمودار **تاثیر مصرف گوگرد (کیلوگرم در هکتار) در خاکهای مورد مطالعه بر غلظت گوگرد در اندام هوایی گندم**

در سری سروستان کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار سبب کاهش جذب گوگرد در اندام هوایی گندم گردید. این کاهش متاثر از کاهش وزن خشک اندام هوایی گندم ناشی از کاربرد گوگرد بود. در دیگر خاکها کاربرد گوگرد سبب افزایش جذب آن در اندام هوایی گندم گردید. کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار در خاکهای سری دره بید و قاسم خانی به ترتیب سبب افزایش ۶۷ و ۲۸ درصدی جذب گوگرد نسبت به شاهد گردید.



شکل شماره ۲-۵۲- نمودار **تاثیر مصرف گوگرد (کیلوگرم در هکتار) در خاکهای مورد مطالعه بر جذب گوگرد در اندام هوایی گندم**

۲-۳-۴-۲- بررسی اثرات مصرف گوگرد بر صفات اندازه گیری شده در خاک ریزوسفری گندم

۲-۴-۳-۲-۱- تغییرات pH در فواصل مختلف از ریشه

به طور میانگین، **pH** خاک در فواصل مختلف از ریشه تغییر قابل ملاحظه ای نداشت (جدول های ۲۵ تا ۲۷). به طور میانگین کاربرد گوگرد سبب کاهش **pH** محیط ریزوسفر گردید. میزان کاهش **pH** محیط ریزوسفر با کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار نسبت به شاهد در خاک های سری سروستان، دره بید و قاسم خانی به ترتیب ۰/۲۲، ۰/۲۱ و ۰/۱۴ واحد کاهش اندک ولی معنی داری نشان داد. اثر کاربرد گوگرد بر تغییرات **pH** محیط ریزوسفر در فواصل مختلف از ریشه متفاوت بود.

جدول۲- ۲۵- تاثیر کاربرد گوگرد بر تغییرات pH خاک در فواصل مختلف از ریشه در خاک سری سروستان

		کاربرد گوگرد (کیلوگرم در هکتار)			
		۰	۱۵۰۰	۳۰۰۰	میانگین
فاصله از ریشه (میلی متر)	۱	۷,۹۰ b	۷,۷۵ a	۷,۷۹ ab	a۷,۸۱
	۲	۸,۰۶ a	۷,۷۷ a	۷,۷۷ ab	a۷,۸۷
	۳	۷,۹۹ ab	۷,۸۱ a	۷,۷۵ ab	a۷,۸۵
	۴	۷,۹۹ ab	۷,۸۰ a	۷,۷۴ ab	a۷,۸۴
	۵	۷,۹۸ ab	۷,۷۳ a	۷,۸۲ a	a۷,۸۴
	>۵	۷,۹۱ b	۷,۸۳ a	۷,۶۱ b	a۷,۷۸
	میانگین	a۷,۹۷	b۷,۷۸	b۷,۷۵	

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

جدول۲- ۲۶- تاثیر کاربرد گوگرد بر تغییرات pH خاک در فواصل مختلف از ریشه در خاک سری دره بید دامنه

		کاربرد گوگرد (کیلوگرم در هکتار)			
		۰	۱۵۰۰	۳۰۰۰	میانگین
فاصله از ریشه (میلی متر)	۱	۷,۶۴۰ b	۷,۵۵ a	۷,۴۶ ab	ab۷,۵۵
	۲	۷,۷۷۵ a	۷,۶۲ a	۷,۴۸ ab	a۷,۶۲
	۳	۷,۶۱۳ b	۷,۴۹ a	۷,۴۱ b	b۷,۵۰
	۴	۷,۷۶۶ a	۷,۶۴ a	۷,۳۸ b	a۷,۶۰
	۵	۷,۶۵۰ b	۷,۴۸ a	۷,۵۶ a	ab۷,۵۶
	>۵	۷,۵۲۰ c	۷,۵۵ a	۷,۴۲ b	b۷,۵۰
	میانگین	a۷,۶۶	ab۷,۵۶	b۷,۴۵	

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

جدول۲- ۲۷- تاثیر کاربرد گوگرد بر تغییرات pH خاک در فواصل مختلف از ریشه در خاک سری قاسم خانی

		کاربرد گوگرد (کیلوگرم در هکتار)			
		۰	۱۵۰۰	۳۰۰۰	میانگین
فاصله از ریشه (میلی متر)	۱	۷٫۷۸ a	۷٫۷۸ a	۷٫۶۲ a	a۷٫۷۳
	۲	۷٫۷۵ a	۷٫۷۶ ab	۷٫۶۴ a	a۷٫۷۲
	۳	۷٫۶۹ a	۷٫۷۴ abc	۷٫۵۷ a	ab۷٫۶۷
	۴	۷٫۶۷ a	۷٫۷۲ abc	۷٫۵۰ a	ab۷٫۶۳
	۵	۷٫۶۰ a	۷٫۶۸ bc	۷٫۵۲ a	b۷٫۶۰
	>۵	۷٫۷۴ a	۷٫۶۷ c	۷٫۵۸ a	ab۷٫۶۷
	میانگین	a۷٫۷۱	a۷٫۷۳	b۷٫۵۷	

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

۲-۴-۳-۲-۲- تغییرات غلظت سولفات در فواصل مختلف از ریشه

غلظت سولفات در فواصل مختلف ریشه متفاوت بود. با کاربرد گوگرد غلظت سولفات در ریزوسفر گندم افزایش یافت. به طور میانگین با کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار غلظت سولفات محلول در ریزوسفر گندم در خاکهای سری سروستان، دره بید و قاسم خانی به ترتیب ۳۲/۸، ۲۰۶/۸ و ۵۸/۲ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد (جدول های ۲۸ تا ۳۰). در خاک سروستان در شرایط عدم کاربرد گوگرد غلظت سولفات محلول با نزدیک شدن به ریشه کاهش نشان داد (جدول ۲۸). این شرایط در صورت کاربرد معادل ۱۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار نیز مشاهده شد. در خاک سروستان در شرایط کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار، غلظت سولفات محلول خاک در فواصل مختلف ریشه از روند خاصی تبعیت نمی کرد. در خاک سری دره بید نیز در شرایط کاربرد گوگرد و با نزدیک شدن به ریشه کاهش غلظت سولفات محلول مشاهده شد به گونه ای که در فاصله ۵ و بیش از ۵ میلی متری ریشه بیشترین غلظت سولفات محلول خاک اندازه گیری گردید (جدول ۲۹). در خاک قاسم خانی روندتغییرات سولفات محلول در فواصل مختلف ریشه نسبت به دو خاک دیگر متفاوت بود (جدول ۳۰). در این خاک بیشترین غلظت سولفات در شرایط کاربرد گوگرد در فاصله کمتر از دو میلی متری ریشه مشاهده شد. در شرایط کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار، مقدار سولفات از ۲/۳ میلی اکی والان در لیتر در فاصله بیش از ۵ میلی متری به ۷/۶ میلی اکی والان در لیتر در فاصله دو میلی متری ریشه رسید.

جدول ۲-۲۸- **تاثیر کاربرد گوگرد بر تغییرات غلظت سولفات (میلی اکی والان بر لیتر) در فواصل مختلف از ریشه در خاک سری سروستان**

		کاربرد گوگرد (کیلوگرم در هکتار)			
		۰	۱۵۰۰	۳۰۰۰	میانگین
فاصله از ریشه (میلی متر)	۱	۱,۸۱۴ ab	۱,۸۷۵ a	۳,۱۲۸ a	b۲,۲۷
	۲	۱/۳۰ b	۲,۰۱۳ a	۲,۷۶۳ a	b۲,۰۲
	۳	۱,۷۰ ab	۲,۰۲۹ a	۳,۸۳۵ a	b۲,۵۲
	۴	۲,۹۰ ab	۱,۹۰۵ a	۳,۴۰۴ a	b۲,۷۴
	۵	۲,۵۴ ab	۱,۹۰۳ a	۲,۶۶۸ a	b۲,۳۷
	>۵	۴,۴۱ a	۴,۷۰۹ a	۳,۶۷۱ a	a۴,۲۶
	میانگین	b۲,۴۴	b۲,۴۱	a۳,۲۴	

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

جدول۲- ۲۹- **تاثیر کاربرد گوگرد بر تغییرات غلظت سولفات (میلی اکی والان بر لیتر) در فواصل مختلف از ریشه در خاک سری دره بید دامنه**

		کاربرد گوگرد (کیلوگرم در هکتار)			
		۰	۱۵۰۰	۳۰۰۰	میانگین
فاصله از ریشه (میلی متر)	۱	۰,۷۰۶ a	۰,۷۸۵ b	۱,۰۴۱ b	c۰,۸۴
	۲	۰,۳۴۴ a	۰,۴۷۸ b	۱,۰۰۶ b	c۰,۶۱
	۳	۰,۸۳۱ a	۰,۴۳۱ b	۱,۷۸۱ b	b۱,۰۱
	۴	۰,۱۹۴ a	۰,۳۰۵ b	۱,۰۱۰ b	c۰,۵
	۵	۱,۳۰۹ a	۲,۴۵۷ a	۴,۲۶۳ a	a۲,۶۸
	>۵	۰,۹۸۶ a	۳,۲۲۳ a	۴,۳۶۰ a	a۲,۸۶
	میانگین	c۰,۷۳	b۱,۲۸	a۲,۲۴	

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

جدول۲- ۳۰- **تاثیر کاربرد گوگرد بر تغییرات غلظت سولفات (میلی اکی والان بر لیتر) در فواصل مختلف از ریشه در خاک سری قاسم خانی**

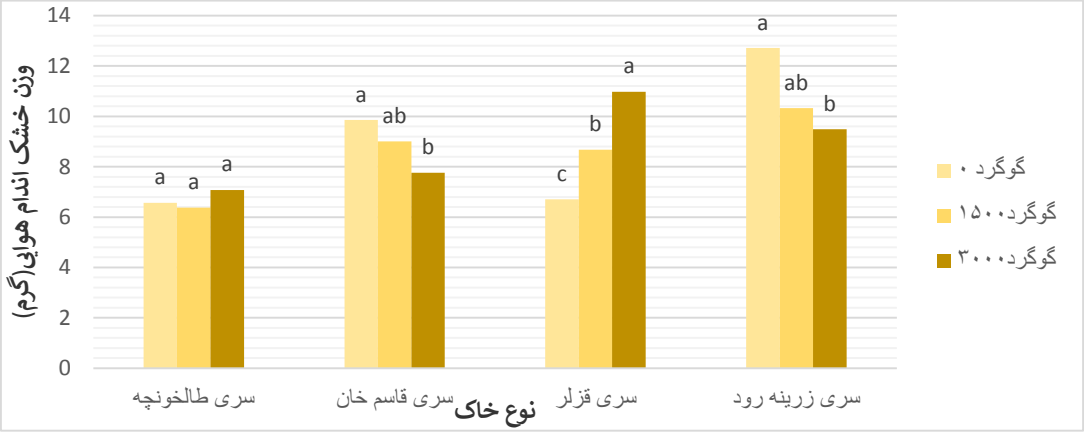
		کاربرد گوگرد (کیلوگرم در هکتار)			
		۰	۱۵۰۰	۳۰۰۰	میانگین
فاصله از ریشه (میلی متر)	۱	۱,۷۸ a	۴,۵۴۴ a	۷,۴۷۶ a	a۴,۶۰
	۲	۲,۳۳ a	۴,۲۷۰ a	۷,۶۴۱ a	a۴,۷۵
	۳	۲,۵۸ a	۳,۸۹۹ a	۲,۰۸۵ a	b۲,۸۵
	۴	۳,۷۵ a	۲,۹۸۵ a	۳,۴۶۹ a	ab۳,۴۰
	۵	۲/۹۴ a	۳,۳۸۹ a	۲,۱۴۲ a	b۲,۸۲
	>۵	۱,۹۵ a	۵,۱۸۵ a	۲,۲۵۴ a	ab۳,۱۳
	میانگین	b۲,۵۶	a۴,۱۸	a۴,۰۵	

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

۳-۳-۴-۲- نتایج حاصله از کشت ذرت

۱-۳-۳-۴-۲- وزن خشک اندام هوایی ذرت

اثر اصلی نوع خاک و اثر متقابل نوع خاک×گوگرد بر وزن خشک اندام هوایی ذرت در سطح یک درصد معنی دار شد. اثر اصلی مصرف گوگرد بر وزن خشک اندام هوایی ذرت معنی دار نبود . بیشترین وزن خشک اندام هوایی مربوط به خاک سری زرینه رود با ۱۰/۶۱ گرم و کمترین آن مربوط به خاک سری طالخونچه با ۶/۶۸ گرم بود (جدول۳۱). مصرف گوگرد نتوانست نسبت به شاهد وزن خشک اندام هوایی را به طور معنی داری افزایش دهد. متوسط عملکرد ماده ی خشک اندام هوایی ذرت در شرایط عدم مصرف گوگرد ۸/۶۲ گرم بود. با مصرف معادل ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار این میزان به ترتیب به ۸/۶۰ و ۸/۸۲ گرم رسید (جدول ۳۲). نتایج اثر متقابل نوع خاک در سطوح مختلف گوگرد بر وزن خشک اندام هوایی ذرت در شکل ۲-۱۶۸ نشان داده شده است. مصرف گوگرد در خاک سری طالخونچه تاثیری بر وزن خشک اندام هوایی نداشت. در خاک سری قاسم خانی و زرینه رود افزایش سطوح گوگرد سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی گردید.در خاک سری قزلر مصرف تا ۳۰۰۰ گوگرد در هکتار افزایش ۶۰ درصدی وزن خشک اندام هوایی را موجب شد.



شکل شماره ۲-۵۳- نمودار اثر مصرف گوگرد (کیلوگرم در هکتار) بر وزن خشک اندام هوایی در گیاه ذرت در هر یک از خاکهای مورد مطالعه

جدول۲- ۳۱- میانگین تغییرات صفات اندازه گیری شده در گیاه در سری خاک های مورد مطالعه

		وزن خشک اندام هوایی (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	غلظت گوگرد در اندام هوایی (درصد)	جذب کل گوگرد در اندام هوایی گیاه (میلی گرم در هر ریشه دان)
نوع خاک	سری طالخونچه	۶/۶۸c	۶/۲۰c	۰/۱a	۸/۶۰a
	سری قاسم خانی	۸/۸۷b	۸/۶۵a	۰/۱a	۸/۰۴a
	سری قزلر	۸/۷۸b	۵/۵۸c	۰/۱a	۷/۹۰a
	سری زرینه رود	۱۰/۶۱a	۷/۴۳b	۰/۰۹a	۸/۸۹a

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

جدول۲-۳۲- میانگین اثرات اصلی مصرف گوگرد بر صفات اندازه گیری شده در گیاه

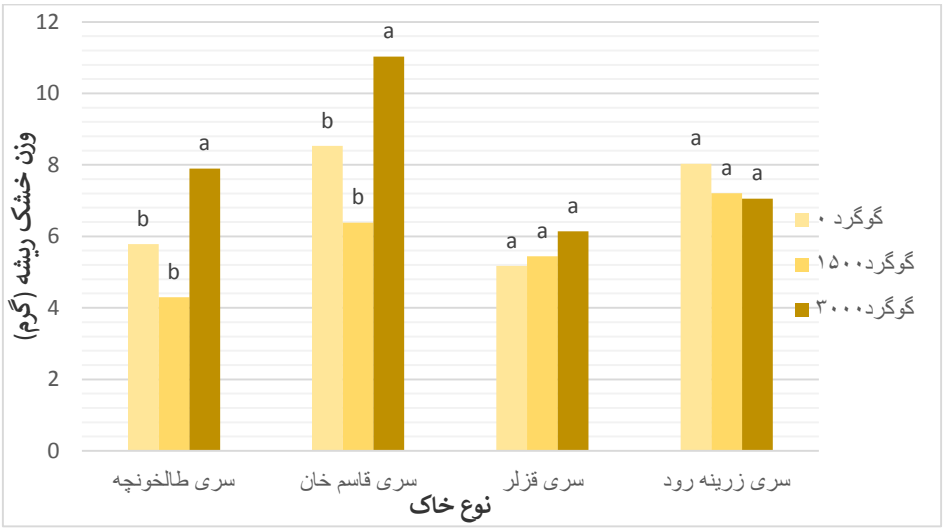
		وزن خشک اندام هوایی (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	غلظت گوگرد در اندام هوایی (درصد)	جذب کل گوگرد در اندام هوایی گیاه (میلی گرم در هر ریشه دان)
مصرف گوگرد (کیلوگرم در هکتار)	۰	۸/۶۲a	۶/۸۸b	۰/۱۲a	۸/۳۲a
	۱۵۰۰	۸/۶۰a	۵/۹۷b	۰/۰۹b	۷/۹۶a
	۳۰۰۰	۸/۸۲a	۸/۰۳a	۰/۱۰b	۸/۸۶a

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

۲-۴-۳-۳-۲- وزن خشک ریشه در گیاه ذرت

تجزیه واریانس داده ها نشان داد که استفاده از گوگرد و نوع خاک تاثیر معنی داری بر وزن خشک ریشه در سطح یک درصد داشت ولی اثر متقابل آنها بر وزن خشک ریشه از نظر آماری معنی دار نگردید . با تغییر نوع خاک وزن خشک ریشه به طور معنی داری تغییر کرد به طوری که بیشترین مقدار وزن خشک ریشه (۸/۶۵ گرم) مربوط به سری قاسم خانی بود و کمترین مقدار برابر ۵/۵۸ گرم در سری قزلر مشاهده شد (جدول ۳۱). با افزایش گوگرد به خاک مقدار وزن خشک ریشه افزایش یافت. همانطور که در جدول (۳۲) مشاهده می شود بیشترین مقدار وزن خشک ریشه برابر با ۸/۰۳ گرم مربوط به سطح سوم گوگرد بود. این تیمار نسبت به شاهد به میزان ۱۵ درصد وزن ریشه را افزایش داد.

در خاک سری طالخونچه با افزایش سطوح گوگرد وزن خشک ریشه نسبت به حالت شاهد ۳۰ درصد و در خاک سری قاسم خانی با افزایش سطوح گوگرد ۲۵ درصد نسبت به حالت شاهد افزایش نشان داد . در خاک سری قزلر و سری زرینه رود به لحاظ آماری اختلاف معنی داری در وزن خشک ریشه ناشی از کاربرد گوگرد مشاهده نشد.

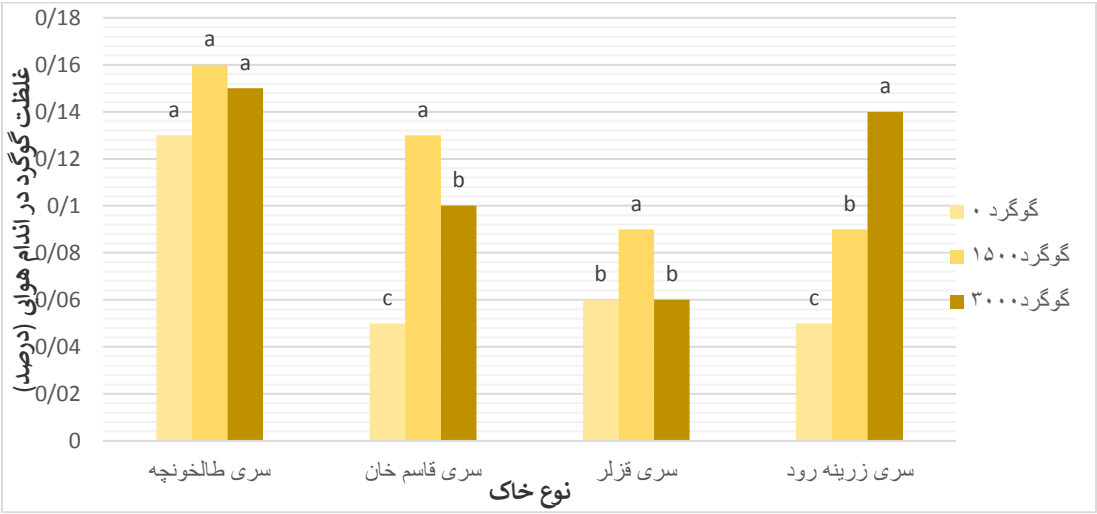


شکل شماره ۲-۵۴- نمودار اثر مصرف گوگرد (کیلوگرم در هکتار) بر وزن خشک ریشه در گیاه ذرت در هر یک از خاکهای مورد مطالعه

۲-۴-۳-۳-۳- غلظت گوگرد در اندام هوایی گیاه ذرت

به طور کلی در این تحقیق با افزایش مقدار گوگرد مصرفی غلظت گوگرد در اندام هوایی ذرت کاهش داشت.

با توجه به شکل۲-۵۵ در خاک سری طالخونچه بین شاهد و سطوح مختلف گوگرد اختلاف معنی داری مشاهده نشد. با مصرف معادل ۱۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار غلظت گوگرد در اندام هوایی نسبت به شاهد در خاک های سری قاسم خانی، قزلر و زرینه رود به ترتیب ۶۲ ، ۳۴ و ۴۵ درصد افزایش نشان داد. کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار سبب افزایش ۵۰ ، ۰ و ۶۵ درصدی غلظت گوگرد در اندام هوایی نسبت به شاهد شد که نشان داد در سری قاسم خانی با افزایش ۲ برابری گوگرد، غلظت گوگرد در اندام هوایی ذرت ۱۵ درصد کاهش یافته و در سری قزلر کاربرد این تیمار نتوانسته غلظت گوگرد را نسبت به شاهد تغییر دهد، در سری زرینه رود کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد ۲۰ درصد نسبت به تیمار ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد غلظت گوگرد را در اندام هوایی افزایش داد.



شکل شماره ۲-۵۵- نمودار اثر مصرف گوگرد (کیلوگرم در هکتار) بر غلظت گوگرد در اندام هوایی گیاه ذرت در هر یک از خاکهای مورد مطالعه

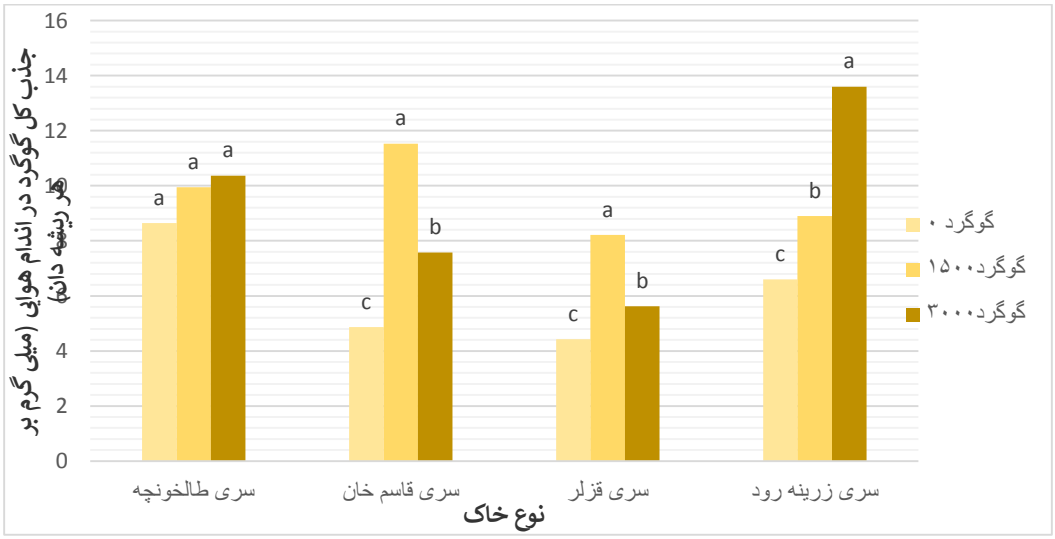
در تحقیقی که توسط هلفای (۲۰۱۰) انجام شده است غلظت گوگرد در گیاه لوبیا چشم بلبلی در تیمار گوگرد+تیوباسیلوس به طور قابل توجهی نسبت به عدم کاربرد گوگرد و یاکاربرد ماده ی آلی به همراه باکتری افزایش داشت (Halfawi,2010).

۲-۴-۳-۳-۴- جذب کل گوگرد در اندام هوایی گیاه ذرت

تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل نوع خاک در گوگرد بر جذب کل گوگرد در اندام هوایی در سطح یک درصد معنی دار است و اثر اصلی نوع خاک و اثر گوگرد غیر معنی دار شد . به طور میانگین جذب کل گوگرد در اندام

هوایی ذرت از ۷/۹۰ میلی گرم در هر ریشه دان در سری قاسم خانی تا ۸/۸۹ میلی گرم در هر ریشه دان در سری قزلر در تغییر است (جدول ۳۱). با کاربرد معادل ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد جذب کل گوگرد در اندام هوایی ذرت نسبت به شاهد ۴ درصد کاهش یافت. با کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد جذب کل گوگرد نسبت به شاهد ۶ درصد افزایش داشت (جدول ۳۲).

در خاک سری طالخونچه بین شاهد و تیمار های مصرف گوگرد از نظر جذب کل گوگرد در اندام هوایی گیاه اختلاف معنی داری مشاهده نشد. در خاک های سری قاسم خانی، قزلر و زرینه رود با مصرف معادل ۱۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار جذب گوگرد در اندام هوایی نسبت به شاهد به ترتیب ۵۸ ، ۴۶ و ۲۶ درصد افزایش داشت. کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار سبب افزایش ۳۶ ، ۲۱ و ۵۲ درصدی جذب کل گوگرد در این خاک ها شد (شکل ۲-۵۶).



شکل شماره ۲-۵۶- نمودار اثر مصرف گوگرد (کیلوگرم در هکتار) بر جذب کل گوگرد در اندام هوایی گیاه ذرت در هر یک از خاکهای مورد مطالعه

۴-۳-۴-۲- بررسی اثرات مصرف گوگرد بر صفات اندازه گیری شده در خاک ریزوسفری ذرت

۲-۴-۳-۴-۱- بررسی تغییرات pH در فواصل مختلف از ریشه

در تمام خاک ها کمترین pH در فاصله ۲ میلی متری ریشه مشاهده شد (جدول ۳۳). مقدار pH در فاصله یک میلی متری ریشه بیشتر از دو میلی متری بود. این افزایش در pH در سری طالخونچه ۰/۲ واحد، در سری قاسم

خانی ۰/۲۷ واحد و در سری قزلر و زرینه رود ۰/۲۶ و ۰/۰۵ واحد بود. این امر احتمالا ناشی از تجمع کاتیونهای محلول به ویژه کلسیم در محیط اطراف ریشه به دلیل اختلاف سرعت جذب این کاتیون ها نسبت به سرعت انتشار آنها به سمت ریشه به ویژه در خاکهای آهکی می باشد(شریعت پناهی ،۱۳۹۳).

جدول۲ -۳۳- میانگین تغییراتpH در فواصل مختلف از ریشه در سری خاک های مورد مطالعه

		نوع خاک			
		سری طالخونچه	سری قاسم خانی	سری قزلر	سری زرینه رود
فاصله از ریشه (mm)	۱	۷/۸۲b	۷/۹۰bc	۷/۸۸ab	۷/۸۲b
	۲	۷/۶۲c	۷/۶۳d	۷/۶۲c	۷/۷۷b
	۳	۸/۰a	۸/۰۴a	۷/۹۱ab	۷/۹۴a
	۴	۷/۸۴b	۷/۹۱bc	۷/۸۸ab	۷/۸۷ab
	۵	۷/۸۶b	۷/۹۵b	۷/۹۴a	۷/۹۷a
	>۵	۷/۷۵b	۷/۸۴c	۷/۸۴b	۷/۸۰b

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در هر چهار سری خاک مورد مطالعه کاربرد گوگرد در سطح ۱ درصد سبب تغییر در pH خاک گردید. افزودن گوگرد سبب کاهش pH در خاک ها گردید (جدول ۳۳). با کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار کاهش pHدر سری طالخونچه و قاسم خانی و زرینه رود ۰/۶ واحد و در سری قزلر به میزان ۰/۵ واحد مشاهده شد (جدول ۳۴).

بشارتی و همکاران(۱۳۷۷) در تحقیقی نشان دادند که pHخاک استریل حاوی گوگرد که با باکتری تیوباسیلوس تلقیح شده بود ، در خاک حاوی ۴ درصد آهک پس از ۷ هفته به میزان ۰/۸ واحد و در خاک با ۱۲ درصد آهک به میزان ۰/۷۶ پس از ۵ هفته کاهش یافت.کاهش pH در نمونه های غیر استریل نیز به همین مقدار بود. در خاک حاوی گوگرد و بدون تلقیح باکتری تیوباسیلوس کاهش pH بعد از ۷ هفته تنها ۰/۲ واحد بود.

جدول۲-۳۴-مقایسه اثر اصلی مصرف گوگرد بر pH ریزوسفر در سری خاک های مورد مطالعه

		نوع خاک			
		سری طالخونچه	سری قاسم خانی	سری قزلر	سری زرینه رود
مصرف گوگرد	۰	۸/۱۸a	۸/۲۳a	۸/۱۰a	۸/۱۳a
(کیلوگرم در	۱۵۰۰	۷/۶۸b	۷/۸۱b	۷/۸۰b	۷/۹۰b
هکتار)	۳۰۰۰	۷/۵۸c	۷/۶۱c	۷/۶۴c	۷/۵۵c

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

بطور کلی اثر مصرف گوگرد بر کاهش pHخاک در فواصل مختلف از ریشه یکسان بود. تمام فواصل از ریشه، در تیمارهای مصرف گوگرد کاهش معنی دار pHمشاهده شد (جدول ۳۵). در فاصله یک میلی متری ریشه، در خاکهای سری قاسم خانی و زرینه رود، کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در خاک بیشترین کاهش pHرا به میزان ۰/۷۴ واحد سبب گردید. در فاصله دو میلی متری از ریشه، pHمحیط ریزوسفر در خاک سری زرینه رود با ۰/۶ واحد بیشترین اختلاف و در خاک سری قزلر با ۰/۳ واحد کاهش کمترین اختلاف را با شاهد خود دارد. در فاصله سه میلی متری ریشه، در خاک سری قاسم خانی نسبت به حالت شاهد خود دارای افزایش pHتا ۰/۳ واحد بوده و سری زرینه رود و قزلر با ۰/۶ واحد کاهش بیشترین اختلاف را نسبت به شاهد داشتند. در لایه ی چهارم همه ی سری ها حدودا ۰/۶ واحد کاهش را نسبت به شاهد داشتند. در لایه ی پنجم و ششم نیز تمامی سری ها بین ۰/۵-۰/۶ کاهش pH را دارا بودند.

جدول۲- ۳۵- اثر مصرف گوگرد بر pH خاک در فواصل مختلف از ریشه در سری خاک های مورد مطالعه

فاصله از ریشه (میلی متر)	مصرف گوگرد (کیلوگرم در هکتار)	نوع خاک			
		سری طالخونچه	سری قاسم خانی	سری قزلر	سری زرینه رود
۱	۰	۸/۲۳a	۸/۳۱a	۸/۰۴bc	۸/۱۸a
	۱۵۰۰	۷/۶۷cdefg	۷/۸۲bc	۷/۷۵efgh	۷/۸۴cde
	۳۰۰۰	۷/۵۶efg	۷/۵۷efg	۷/۸۳def	۷/۴۴g
۲	۰	۷/۹۱bc	۷/۹۴b	۷/۸۲def	۸/۰۹ab
	۱۵۰۰	۷/۵۱fg	۷/۵۴fg	۷/۶۰hI	۷/۷۵def
	۳۰۰۰	۷/۴۴g	۷/۴۳g	۷/۴۴I	۷/۴۷g
۳	۰	۸/۳۵a	۷/۹۶b	۸/۲۳a	۸/۲۰a
	۱۵۰۰	۷/۸۰cde	۷/۸۳bc	۷/۸۵de	۸/۰۱abc

۷/۶۰fg	۷/۶۶fgh	۸/۲۳a	۷/۸۴cd	۳۰۰۰	
۸/۱۱ab	۸/۱۹ab	۸/۲۸a	۸/۲۵a	۰	
۷/۹۴bcd	۷/۸۴de	۷/۸۳bc	۷/۷۴cdef	۱۵۰۰	۴
۷/۵۵fg	۷/۶۰hI	۷/۶۳def	۷/۵۳fg	۳۰۰۰	
۸/۱۴ab	۸/۱۹ab	۸/۲۰a	۸/۱۳ab	۰	
۸/۰۵ab	۷/۹۷cd	۷/۹۴b	۷/۸۱cde	۱۵۰۰	۵
۷/۷۳ef	۷/۶۶fgh	۷/۶۹cde	۷/۶۳defg	۳۰۰۰	
۸/۰۷ab	۸/۱۱abc	۸/۲۸a	۸/۲۱a	۰	
۷/۸۲cde	۷/۷۸efg	۷/۷۶cd	۷/۵۶efg	۱۵۰۰	>۵
۷/۵۱g	۷/۶۴gh	۷/۴۹fg	۷/۴۷g	۳۰۰۰	

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

۲-۴-۳-۴-۲- بررسی تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی خاک در فواصل مختلف از ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر فاصله از ریشه بر تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی در خاک سری قاسم خانی غیر معنی دار و در خاک های سری طالخونچه، قزلر و زرینه رود در سطح پنج درصد معنی دار است. با افزایش فاصله از ریشه مقدار قابلیت هدایت الکتریکی خاک در سری های طالخونچه، قزلر و زرینه رود به طور معنی داری کاهش یافته و در سری قاسم خانی تفاوت معنی دار آماری مشاهده نمی شود (جدول ۳۶). ریشه ها عناصر مورد نیاز خود را به صورت کاتیون و آنیون از محلول خاک جذب می کنند ریشه های گیاه به صورت مداوم ترکیباتی مانند قندها، اسیدهای آمینه، اسیدهای آلی با وزن ملکولی کم و ویتامینها را آزاد می کنند که می توانند مورد استفاده ریزجانداران قرار گیرند و خصوصیات خاک ریزوسفری را تغییر دهند به همین دلیل EC در اطراف ریشه بیشتر از فواصل دورتر از ریشه می باشد (متقیان،۱۳۹۲).

جدول۲ -۳۶- میانگین تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی(دسی زیمنس بر متر) در فواصل مختلف از ریشه در سری خاک های مورد مطالعه

		نوع خاک			
		سری طالخونچه	سری قاسم خانی	سری قزلر	سری زرینه رود
فاصله از ریشه (mm)	۱	۱/۱۸a	۰/۶۵a	۰/۷۸a	۱/۰۵a
	۲	۰/۹۰ab	۰/۶۰a	۰/۶۳ab	۰/۸۰b
	۳	۰/۹۲ab	۰/۶۲a	۰/۶۲ab	۰/۷۵b
	۴	۰/۸۰b	۰/۵۷a	۰/۴۳b	۰/۶۵b
	۵	۰/۸۰b	۰/۵۶a	۰/۵۳b	۰/۶۰b
	>۵	۰/۷۰b	۰/۵۱a	۰/۴۸b	۰/۵۶b

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

در هر چهار نوع خاک مورد مطالعه، اثر اصلی گوگرد بر تغییراتEC خاک ریزوسفری در سطح یک درصد معنی دار گردید.

مصرف گوگرد به طور معنی داری ECخاک ها را نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۳۷). در تیمار کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار در خاک های سری طالخونچه، قاسم خانی، قزلر و زرینه رود به ترتیب ۱/۱۸، ۰/۹۶، ۰/۴۵، ۱/۴۵ واحد بیشتر از شرایط عدم مصرف گوگرد بود. محصولات اکسیداسیون گوگرد H^+ و SO_4^{-2} می باشند که غلظت نمک در خاک را افزایش می دهند. به علاوه اکسیداسیون گوگرد، سبب حل شدن ترکیبات آهکی و آزادسازی عناصری مثل فسفر و روی شده و به دنبال آن قابلیت هدایت الکتریکی افزایش می یابد (chaigon,2002).

جدول۲- ۳۷- اثر اصلی مصرف گوگرد بر تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی (EC) خاک ریزوسفری در سری خاک های مورد مطالعه

		نوع خاک			
		سری طالخونچه	سری قاسم خانی	سری قزلر	سری زرینه رود
مصرف گوگرد (کیلوگرم در هکتار)	۰	۰/۱۸c	۰/۱۴c	۰/۳۱b	۰/۱۹c
	۱۵۰۰	۱/۱۱b	۰/۵۲b	۰/۶۷a	۰/۳۸b
	۳۰۰۰	۱/۳۶a	۱/۱۰a	۰/۷۶a	۱/۶۴a

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

اثرات متقابل فاصله از ریشه و سطوح مصرف گوگرد بر ECخاک ها از نظر آماری معنی دار نبود. به عبارت دیگر تاثیر مصرف گوگرد در تغییرات ECخاک ریزوسفری تحت تاثیر فاصله از ریشه قرار نگرفت.

در ۴ نوع خاک مورد مطالعه و در تمام فواصل از ریشه، مصرف گوگرد با افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک همراه بود (جدول ۳۸). در خاک طالخونچه و زرینه رود مقدار ECدر شرایط عدم کاربرد گوگرد در تمامی لایه ها پایین تر از مقدار ECدر ۲ خاک دیگر بود. در سری زرینه رود با اضافه کردن سطح معادل ۱۵۰۰ گوگرد در هکتار مقدار ECدر تمامی لایه ها افزایش کمی نسبت به شاهد داشت. در خاکهای سری طالخونچه و قزلر، ECخاک در فاصله یک میلی متری از ریشه با کاربرد معادل ۱۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار بیش از سطح ۳۰۰۰کیلوگرم در هکتار بود ولی در سری قاسم خانی و زرینه رود با کاربرد معادل ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد ۰/۶ و ۰/۳ واحد افزایش نسبت به شاهد در مقدار EC مشاهده شد و با کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد ۰/۸۱ و ۲/۱۴ واحد افزایش مشاهده شد و افزایش دو برابری مقدار گوگرد قابلیت هدایت الکتریکی خاک را افزایش داد.

در خاک سری قزلر کاربرد گوگرد سبب افزایش ۵۵ درصدی ECنسبت به شرایط عدم کاربرد گوگرد شد. در خاک های سری طالخونچه، قاسم خانی و زرینه رود با کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به ترتیب ۱/۲۱ ، ۰/۹۵ و ۱/۶ واحد افزایش در مقدار ECنسبت به شاهد مشاهده شد.در خاک سری قاسم خانی در فاصله سه میلی متری ریشه با افزایش ۲ برابری گوگرد مصرفی مقدارEC به مقدار جزئی تغییر کرد ولی با کاربرد معادل ۱۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار ۵۷ درصد افزایش نسبت به شاهد را نشان داد. در خاک های سری طالخونچه، قزلر و زرینه رود کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به ترتیب ۱/۷۸ ، ۰/۲۲ و ۱/۲۸ واحد ECرا نسبت به شرایط عدم مصرف گوگرد (شاهد) افزایش داد. در خاک سری قزلر در فاصله چهار میلی متری از ریشه، کاهش EC (۰/۰۵ واحد نسبت به تیمار اول) در تیمار دوم گوگرد مشاهده گردید. در خاک های سری طالخونچه، قاسم خانی وزرینه رود با کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به ترتیب ۱/۱۸ ، ۱/۰۳ و ۱/۲۸ واحد افزایش نسبت به شاهد مشاهده شد.

در فاصله ی پنج و شش میلی متری از ریشه کاربرد گوگرد در هر دو سطح سبب افزایش مقدار ECنسبت به حالت شاهد شد. مقدار این افزایش در فاصله ی ۵ میلی متری ریشه با کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد در خاک های سری طالخونچه، قاسم خانی، قزلر و زرینه رود ۱/۰۸ ، ۱ ، ۰/۵۸ و ۱/۱۴ واحد و در فاصله ی شش میلی متری ۰/۹۴، ۰/۹۲، ۰/۴۸ و ۱/۰۵ واحد بود.

جدول۲- ۳۸- اثر مصرف گوگرد بر قابلیت هدایت الکتریکی(دسی زیمنس بر متر) خاک در فواصل مختلف از ریشه در سری خاک های مورد مطالعه

فاصله از ریشه (میلی متر)	مصرف گوگرد (کیلوگرم در هکتار)	نوع خاک			
		سری طالخونچه	سری قاسم خانی	سری قزلر	سری زرینه رود
	۰	۰/۲۲f	۰/۱۸ef	۰/۴۴cdef	۰/۲۳e
۱	۱۵۰۰	۱/۸۵a	۰/۷۸bc	۱/۰۹a	۰/۵۳e
	۳۰۰۰	۱/۴۸abc	۰/۹۹ab	۰/۸۱abc	۲/۳۷a
	۰	۰/۱۹f	۰/۱۵f	۰/۳۴def	۰/۲۱e
۲	۱۵۰۰	۱/۱۲bcde	۰/۵۶cd	۰/۷۶abcd	۰/۳۹e
	۳۰۰۰	۱/۴۰abcd	۱/۱۰a	۰/۷۸abcd	۱/۸۱b
	۰	۰/۱۷f	۰/۵۲d	۰/۳۰def	۰/۱۸e
۳	۱۵۰۰	۱cde	۱/۲۰a	۰/۶۲bcdef	۰/۴۰e
	۳۰۰۰	۱/۵۹ab	۰/۳۰def	۰/۹۵ab	۱/۶۸bc
	۰	۰/۱۷f	۰/۱۳f	۰/۲۷ef	۰/۱۷e
۴	۱۵۰۰	۰/۸۹ed	۰/۴۲de	۰/۵۴bcdef	۰/۳۲e
	۳۰۰۰	۱/۳۵abcde	۱/۱۶a	۰/۴۹bcdef	۱/۴۵bcd
	۰	۰/۱۷۰f	۰/۱۳f	۰/۲۵f	۰/۱۷e
۵	۱۵۰۰	۰/۹۸cde	۰/۴۶d	۰/۵۰bcdef	۰/۳۳e
	۳۰۰۰	۱/۲۵bcde	۱/۱۳a	۰/۸۳abc	۱/۳۱cd
	۰	۰/۱۷f	۰/۱۲f	۰/۲۵f	۰/۱۶e
>۵	۱۵۰۰	۰/۸۳e	۰/۳۸def	۰/۴۷cdef	۰/۳e
	۳۰۰۰	۱/۱۱bcde	۱/۰۴a	۰/۷۳abcde	۱/۲۱d

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

۲-۴-۳-۴-۳- بررسی تغییرات سولفات در محلول خاک ریزوسفری در فواصل مختلف از ریشه

بر طبق جدول تجزیه واریانس فاصله گرفتن از سطح ریشه در سری های طالخونچه، قاسم خانی و قزلر تاثیر معنی داری بر سولفات موجود در خاک نداشت اما در سری زرینه رود فاصله از ریشه در سطح ۱ درصد معنی دار بود. بر اساس جدول (۳۹) میانگین غلظت سولفات در فواصل مختلف از ریشه در سری خاک های طالخونچه،

قاسم خانی و قزلر دارای سطح آماری مشابهی بودند. در خاک زرینه رود با فاصله گرفتن از ریشه مقدار سولفات در خاک در فاصله ی سه میلی متری از ریشه ۱۴ درصد نسبت به فاصله ی یک میلی متری کاهش داشت اما در فاصله ی شش میلی متری ۳۰ درصد نسبت به فاصله ی یک میلی متری افزایش داشت.

جدول۲- ۳۹- میانگین تغییرات سولفات محلول (میلی اکی والان بر لیتر) در خاک در فواصل مختلف از ریشه در سری خاک های مورد مطالعه

		نوع خاک			
		سری طالخونچه	سری قاسم خانی	سری قزلر	سری زرینه رود
فاصله از ریشه (mm)	۱	۳۷/۲۵a	۴۰/۳۹a	۳۹/۹۶a	۳۸/۰۵b
	۳	۴۰/۶۰a	۳۹/۳۸a	۳۸/۲۸a	۳۲/۷۵c
	>۵	۳۹/۸۰a	۳۹/۱۳a	۳۵/۵۷a	۵۳/۳۰a

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطح گوگرد بر سولفات قابل جذب خاک در تمامی سری ها در سطح یک درصد معنی دار است. در نتیجه با افزایش گوگرد مقدار سولفات موجود در خاک افزایش یافت. در خاک سری طالخونچه با کاربرد معادل ۱۵۰۰ و۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد مقدار سولفات محلول به ترتیب ۷۹ و ۸۸ درصد نسبت به شرایط عدم مصرف گوگرد (شاهد) افزایش داشت (جدول ۴۰). در سری قاسم خانی با کاربرد معادل ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد سولفات محلول ۸۹ درصد افزایش را نسبت به شاهد نشان داد و با افزایش مقدار گوگرد در تیمار دو این مقدار افزایش یافت. در سری قزلر و زرینه رود نیز با کاربرد ۱۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به ترتیب ۸۵ و ۹۲ درصد افزایش سولفات را نسبت به عدم مصرف گوگرد مشاهده شد، و با افزایش گوگرد این مقدار به ۹۲ و ۹۴ درصد افزایش رسید. میزان اکسیداسیون گوگرد در خاک متفاوت است و به جمعیت باکتری تیوباسیلوس در خاک، اندازه ذرات و شرایط محیطی بستگی دارد. با افزایش گوگرد خاک، و جمعیت باکتری اکسیداسیون با سرعت بیشتری انجام می شود و در نتیجه مقدار سولفات در خاک افزایش می یابد (sabagh,2014).

جدول۲- ۴۰- اثر اصلی مصرف سطوح گوگرد بر سولفات محلول (میلی اکی والان بر لیتر) خاک ریزوسفری در سری خاک های مورد مطالعه

		نوع خاک			
		سری طالخونچه	سری قاسم خانی	سری قزلر	سری زرینه رود
مصرف گوگرد (کیلوگرم در هکتار)	۰	۸/۳۷c	۴/۱۰c	۵/۷۶c	۴/۰۳c
	۱۵۰۰	۳۹/۶۵b	۳۸/۶۶b	۳۹/۴۹b	۵۱/۷۰b
	۳۰۰۰	۶۹/۵۳a	۷۱/۹۸a	۶۸/۰۲a	۶۲/۷۲a

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل فاصله از ریشه و سطح مصرف گوگرد بر میزان سولفات محلول خاک در خاک سری طالخونچه در سطح پنج درصد و در خاک سری زرینه رود در سطح یک درصد معنی دار شد. این اثر در خاک های قاسم خانی و قزلر معنی دار نگردید. در خاک طالخونچه بیشترین مقدار سولفات محلول خاک برابر با ۷۵/۳۴ میلی اکی والان بر لیتر در فاصله شش میلی متری ریشه و با کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۴۱). کمترین مقدار سولفات در شرایط عدم مصرف گوگرد در فواصل سه و شش میلی متری ریشه حاصل شد. در سری زرینه رود بیشترین مقدار سولفات محلول خاک برابر با ۱۰۰/۰۷ میلی اکی والان در لیتر در فاصله شش میلی متری ریشه و در سطح کاربرد معادل ۱۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار حاصل شد (جدول ۴۱). در این خاک کمترین مقدار سولفات محلول برابر با ۲/۰۹ میلی اکی والان در لیتر در شرایط عدم کاربرد گوگرد و در فاصله سه میلی متری ریشه مشاهده گردید. در تمام خاکها، در شرایط عدم مصرف گوگرد، مقدار سولفات محلول در فاصله یک میلی متری ریشه بیش از دیگر فواصل بود. غلظت سولفات در محلول خاک نمی تواند به تنهایی اکسیداسیون گوگرد را منعکس کند چون دو فرایند معدنی شدن و آلی شدن گوگرد توسط میکروارگانیسم ها به طور همزمان رخداده می دهد(Sholeh and Graeme1997).

جدول ۲-۴۱- اثر مصرف گوگرد بر میزان سولفات محلول (میلی اکی والان بر لیتر) خاک در فواصل مختلف ریشه در خاک های مورد مطالعه

فاصله از ریشه (میلی متر)	مصرف گوگرد (کیلوگرم در هکتار)	نوع خاک			
		سری طالخونچه	سری قاسم خانی	سری قزلر	سری زرینه رود
	۰	۱۶/۱۴e	۵/۹۸c	۷/۷۳d	۵/۱۶e
۱	۱۵۰۰	۳۳/۲۱d	۴۲/۱۹b	۳۹/۷۲c	۳۶/۹۷d
	۳۰۰۰	۷۴/۹۶a	۷۲/۹۹a	۷۲/۵۴a	۷۲/۰۲b
	۰	۳/۰۷f	۱/۲۰c	۴/۲۱d	۲/۰۹e
۳	۱۵۰۰	۴۸/۸۹c	۳۶/۰۹b	۳۵/۷۴c	۳۴/۱۸d
	۳۰۰۰	۶۰/۱۰b	۶۸/۱۳a	۷۴/۰۵a	۶۱/۹۷c
	۰	۴/۱۴f	۴/۱۶c	۵/۹۹d	۵/۲۵e
>۵	۱۵۰۰	۳۹/۹۳cd	۳۷/۷۰b	۴۱/۷۵c	۱۰۰/۰۷a
	۳۰۰۰	۷۵/۳۴a	۷۶/۲۳a	۵۸/۹۷b	۵۴/۱۶c

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

۲-۴-۳-۴-۵- بررسی تغییرات گوگرد قابل جذب در خاک ریزوسفری در فواصل مختلف از ریشه

اثر اصلی فاصله از ریشه بر میزان گوگرد قابل جذب طبق نتایج تجزیه واریانس در تمامی خاک ها در سطح یک درصد معنی دار بود. با افزایش فاصله از ریشه مقدار گوگرد قابل جذب کاهش پیدا می کند (جدول ۴۲). در خاک سری طالخونچه با فاصله از سطح یک میلی متری ریشه مقدار گوگرد قابل جذب در فاصله ی سه میلی متری ۲۱ درصد و در فاصله ی شش میلی متری از ریشه ۵۴ درصد کاهش داشت. در سری قاسم خانی مقدار گوگرد قابل جذب با فاصله از سطح یک میلی متری ریشه، ۱۵ و ۴۴ درصد کاهش در فاصله سه و شش میلی متری از ریشه داشت. در سری قزلر مقدار گوگرد قابل جذب در فاصله ی یک و سه میلی متری از ریشه تغییرات جزئی داشت اما در فاصله ی شش میلی متری ۴۶ درصد کاهش را نسبت به فاصله ی یک میلی متری نشان داد. در سری زرینه رود نیز با فاصله از ریشه مقدار گوگرد قابل جذب ۲۱ و ۳۴ درصد کاهش را نسبت به فاصله ی یک میلی متری از ریشه نشان داد (جدول ۴۴). این امر به علت تمرکز فعالیت های ریشه در لایه های نزدیکتر به ریشه قابل پیش بینی می باشد.

جدول۲- ۴۲-میانگین تغییرات گوگرد قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم) در فواصل مختلف از ریشه در سری خاک های مورد مطالعه

		نوع خاک			
		سری طالخونچه	سری قاسم خانی	سری قزلر	سری زرینه رود
فاصله از ریشه (mm)	۱	۱۶۲/۰۳a	۹۹/۷۲a	۱۱۶/۱۱a	۱۵۳/۹۱a
	۳	۱۲۷/۷۱b	۸۳/۳۳b	۱۰۶/۸۸a	۱۲۱/۶۷b
	>۵	۷۱/۵۶c	۵۵/۹۷c	۶۳/۰۶b	۱۰۰/۹۷c

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

اثر اصلی سطوح گوگرد بر گوگرد قابل جذب در تمامی خاک ها در سطح یک درصد معنی دار شد. با افزایش مقدار گوگرد، گوگرد قابل جذب در خاک افزایش یافت (جدول ۴۳). در خاک سری طالخونچه با افزایش ۲ برابری گوگرد، گوگرد قابل جذب ۹ برابر نسبت به شاهد افزایش یافت. در این شرایط در خاک سری قاسم خانی گوگرد قابل جذب ۸/۵ برابر نسبت به شاهد افزایش نشان داد. در خاک سری قزلر و زرینه رود به ترتیب افزایش ۱۰ و ۲۴ برابری گوگرد قابل جذب مشاهده شد (جدول ۴۳).

جدول ۲-۴۳- اثر اصلی سطوح گوگرد بر گوگرد قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم) خاک در سری خاک های مورد مطالعه

		نوع خاک			
		سری طالخونچه	سری قاسم خانی	سری قزلر	سری زرینه رود
مصرف گوگرد (کیلوگرم در هکتار)	۰	۲۲/۷۱c	۱۶/۵۶c	۱۴/۶۹c	۹/۶۴c
	۱۵۰۰	۱۰۶/۸۸b	۷۲/۸۱b	۱۱۳/۷۵b	۱۱۰b
	۳۰۰۰	۲۰۵/۴۷a	۱۴۸/۲۸a	۱۵۳/۲۸a	۲۴۰/۳۱a

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

مطابق با نتایج جدول تجزیه واریانس اثر متقابل فاصله از ریشه و سطوح گوگرد بر مقدار گوگرد قابل جذب در خاک های طالخونچه، قزلر و زرینه رود در سطح یک درصد معنی دار گردید. این اثر در در خاک سری قاسم خانی معنی داری نشد. در خاک سری طالخونچه بیشترین مقدار گوگرد قابل جذب (۲۷۵/۸۳ میلی گرم بر کیلوگرم) در فاصله یک میلی متری ریشه و در شرایط کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار مشاهده شد و کمترین مقدار (۱۵ میلی گرم بر کیلوگرم) مربوط به شرایط عدم مصرف گوگرد و در فاصله شش میلی متری ریشه به دست آمد (جدول ۴۴). در سری قزلر و زرینه رود تغییرات گوگرد قابل استفاده از همین روند

تبعیت کرد. در سری قزلر در فاصله ی یک میلی متری از ریشه مقدار گوگرد قابل جذب با کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد ۹۰ درصد نسبت به حالت عدم مصرف گوگرد افزایش داشت. در فاصله ی سه میلی متری از ریشه این مقدار برابر با ۹۲ درصد بود و در فاصله ی شش میلی متری از ریشه ۸۹ درصد بود. در سری زرینه رود در فاصله ی یک میلی متری از ریشه با کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار مقدار گوگرد قابل جذب ۹۶ درصد افزایش را نسبت به حالت شاهد خود نشان داد. در فاصله ی ۳ میلی متری از ریشه این افزایش ۹۸ درصد و در فاصله ی شش میلی متری ۹۴ درصد بود.

جدول۲- ۴۴- اثرات متقابل فاصله از ریشه و سطوح مصرف گوگرد بر گوگرد قابل جذب(میلی گرم بر کیلوگرم) خاک در سری خاک های مورد مطالعه

فاصله از ریشه (میلی متر)	مصرف گوگرد (کیلوگرم در هکتار)	نوع خاک			
		سری طالخونچه	سری قاسم خانی	سری قزلر	سری زرینه رود
۱	۰	۲۵/۶۳d	۲۶/۶۷ed	۱۷/۰۸e	۱۲/۵۰e
	۱۵۰۰	۱۳۹/۱۷b	۱۰۳/۷۵b	۱۴۳/۷۵b	۱۱۰/۸۳d
	۳۰۰۰	۲۷۵/۸۳a	۱۶۸/۷۵a	۱۸۷/۵۰a	۲۹۱/۲۵a
۳	۰	۲۷/۵۰d	۱۶/۸۸ed	۱۳/۷۵e	۵e
	۱۵۰۰	۹۵/۶۳bc	۷۱/۸۸c	۱۴۳/۷۵b	۱۰۵d
	۳۰۰۰	۲۶۰a	۱۶۱/۲۵a	۱۶۳/۱۳b	۲۵۵b
>۵	۰	۱۵d	۶/۲۵ e	۱۲/۹۲ e	۱۰/۸۳e
	۱۵۰۰	۸۲/۰۸c	۴۲/۵۰ d	۶۳/۷۵ d	۱۱۲/۵۰d
	۳۰۰۰	۹۸/۷۵bc	۱۱۹/۱۷b	۱۱۲/۵۰c	۱۷۹/۵۸c

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

۲-۴-۳-۴-۶- بررسی تغییرات آهن قابل استفاده خاک ریزوسفری در فواصل مختلف از ریشه

اثر فاصله از ریشه بر میزان آهن قابل استفاده خاک در خاک های سری طالخونچه، قاسم خانی و زرینه رود معنی دار نبود. در حالی که این اثر در خاک سری قزلر در سطح یک درصد معنی دار شد. در سری قزلر آهن قابل استفاده در فاصله ی سه میلی متری از ریشه در مقایسه با فاصله ی یک میلی متری به مقدار جزئی کاهش

داشته اما در فاصله ی شش میلی متری از ریشه ۴۴ درصد کاهش را نشان داد. در سایر خاک ها تغییرات میانگین غلظت آهن قابل استفاده در بین فواصل مختلف بسیار جزئی بود (جدول ۴۵).

جدول۲- ۴۵- میانگین تغییرات آهن قابل استفاده خاک(میلی گرم بر کیلوگرم) در فواصل مختلف از ریشه در خاکهای مورد مطالعه

		نوع خاک			
		سری طالخونچه	سری قاسم خانی	سری قزلر	سری زرینه رود
فاصله از ریشه (mm)	۱	۴/۰۳a	۲/۰۸a	۲/۳۰b	۴/۱۵b
	۳	۴/۶۰a	۱/۸۵a	۲/۲۶b	۴/۴۸ab
	>۵	۴/۶۸a	۲a	۴/۱۳a	۴/۶۴a

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

اثر اصلی گوگرد بر مقدار آهن قابل استفاده در تمامی خاک ها در سطح ۱ درصد معنی دار . با کاربرد گوگرد میزان آهن قابل استفاده خاک به طور معنی داری نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۴۶). با کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار آهن قابل استفاده نسبت به شرایط عدم مصرف گوگرد در خاک های سری طالخونچه، قاسم خانی و قزلر به ترتیب ۵۵ ، ۴۸ و ۵۶ درصد افزایش داد که نشان داد کاربرد این سطح گوگرد بر مقدار آهن قابل استفاده در خاک های سری طالخونچه و قزلر بیشتر بود. در سری زرینه رود کاربرد این تیمار گوگرد سبب کاهش ۱۵ درصدی آهن قابل استفاده نسبت به شاهد شد.

کاربرد تیوباسیلوس اثر زیادی روی جذب بعضی از عناصر از جمله آهن دارد. جذب آهن شدیداً وابسته به pH خاک است، بطوری که با یک واحد افزایش در pH خاک، فعالیت Fe^{+3} و Fe^{+2} به ترتیب ۱۰۰۰ و ۱۰۰ برابر کاهش می یابد و به همین دلیل کمبود آهن در خاکهایی با pHبالا و خاک های آهکی بروز می کند (Lindsay, 1979). نشان داده شده است که با مصرف گوگرد به همراه تیوباسیلوس جذب آهن توسط ذرت افزایش می‌یابد با افزودن گوگرد به همراه تیوباسیلوس و انجام فرایند اکسیداسیون ،pHخاک کاهش، و حلالیت ترکیبات حاوی آهن افزایش یافته و در نهایت جذب آهن توسط گیاه افزایش می یابد (Rezapour,2013).

جدول۲- ۴۶- اثر اصلی مصرف گوگرد بر مقدار آهن قابل استفاده (میلی گرم بر کیلوگرم)خاک در سری خاک های مورد مطالعه

		نوع خاک			
		سری طالخونچه	سری قاسم خانی	سری قزلر	سری زرینه رود
مصرف گوگرد	۰	۲/۹۹c	۱/۴۴c	۲/۰۹b	۴/۴۹a
(کیلوگرم در	۱۵۰۰	۴/۰۴b	۱/۸۱b	۲/۱۰b	۴/۸۸a
هکتار)	۳۰۰۰	۶/۵۸a	۲/۷۶a	۴/۷۳a	۳/۸۳b

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

اثر متقابل فاصله از ریشه و سطوح مصرف گوگرد بر مقدار آهن قابل استفاده در خاک سری های طالخونچه و زرینه رود معنی دار نشد اما در خاک سری قاسم خانی و قزلر در سطح یک درصد تفاوت معنی داری را نشان داد. در خاک سری قاسم خانی در فاصله یک میلی متری از ریشه با کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد مقدار آهن قابل استفاده نسبت به شاهد ۶۹ درصد افزایش یافت در سری قزلر این افزایش ۶۴ درصد می باشد که نمایانگر تاثیر بیشتر این تیمار گوگرد در سری قاسم خانی بر مقدار آهن قابل استفاده در خاک است (جدول ۴۷). در فاصله ی سه میلی متری از سطح ریشه در سری قاسم خانی با کاربرد تیمار سطح دوم گوگرد مقدار آهن قابل استفاده نسبت به شاهد ۵۰ درصد افزایش داشت، این مقدار در سری قزلر ۱۰ درصد بود. در فاصله ی شش میلی متری از ریشه در سری قاسم خانی افزایش آهن قابل استفاده با کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد نسبت به حالت شاهد ۴۰ درصد بود این مقدار در سری قزلر ۶۹ درصد بود.

جدول۲- ۴۷- اثر مصرف گوگرد بر آهن قابل استفاده خاک ریزوسفری در فواصل مختلف از ریشه در سری خاک های مورد مطالعه

فاصله از ریشه (میلی متر)	مصرف گوگرد (کیلوگرم در هکتار)	نوع خاک			
		سری طالخونچه	سری قاسم خانی	سری قزلر	سری زرینه رود
۱	۰	۲/۶۱b	۱/۲۵d	۱/۴۵c	۴/۱۹bc
	۱۵۰۰	۳/۹۹b	۱/۵۸cd	۱/۹۸c	۴/۶۳ab
	۳۰۰۰	۶/۳۱a	۴/۰۷a	۴/۰۶b	۳/۶۳c
۳	۰	۳/۲۶b	۱/۵۳cd	۲/۶۰bc	۴/۶۴ab
	۱۵۰۰	۳/۹۶b	۱/۹۴bcd	۱/۷۸c	۴/۷۶ab
	۳۰۰۰	۶/۵۷a	۲/۰۸bc	۲/۳۵c	۳/۸۳c
>۵	۰	۳/۱۰b	۱/۵۵cd	۲/۳۸c	۴/۶۴ab
	۱۵۰۰	۴/۱۷b	۱/۹۱bcd	۲/۴۳c	۵/۲۵a
	۳۰۰۰	۶/۷۷a	۲/۵۷b	۷/۵۷a	۴/۰۵bc

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

۲-۴-۳-۴-۷- بررسی تغییرات روی قابل استفاده خاک ریزوسفری در فواصل مختلف از ریشه

اثر اصلی فاصله از ریشه بر مقدار روی قابل استفاده در خاک سری طالخونچه، قاسم خانی و زرینه رود معنی دار نبود. این اثر تنها در خاک سری قزلر در سطح پنج درصد معنی دار گردید. در خاک سری قزلر با افزایش فاصله از ریشه مقدار روی قابل استفاده کاهش یافت (جدول ۴۸). میانگین تغییرات روی قابل استفاده در خاک های سری طالخونچه، قاسم خانی و زرینه رود بسیار جزئی بود. در سری قزلر در فاصله ی سه میلی متری از ریشه روی قابل استفاده نسبت به فاصله یک میلی متری از ریشه ۲۸ درصد کاهش داشت، مقدار این کاهش در فاصله شش میلی متری از ریشه نسبت به یک میلی متری ۲۴ درصد بود.

جدول۲- ۴۸- بررسی اثر اصلی فاصله از ریشه بر مقدار روی(میلی گرم بر کیلوگرم) موجود در سری خاک های مورد مطالعه

		نوع خاک			
		سری طالخونچه	سری قاسم خانی	سری قزلر	سری زرینه رود
فاصله از ریشه (mm)	۱	۰/۷۰a	۰/۳۷a	۰/۲۹a	۳/۱۴a
	۳	۰/۶۷a	۰/۲۶b	۰/۲۱b	۳/۱۱a
	>۵	۰/۶۶a	۰/۳۱ab	۰/۲۲b	۳/۰۷a

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

بر اساس جدول تجزیه واریانس اثر گوگرد بر مقدار روی قابل استفاده خاک در خاک های مورد مطالعه معنی دار نگردید. در سری طالخونچه با کاربرد معادل ۱۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار مقدار روی قابل استفاده نسبت به شاهد تغییری نکرد اما با افزایش دو برابری گوگرد مقدار روی ۲۳ درصد افزایش یافت (جدول ۴۹). در سری قاسم خانی با کاربرد معادل ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد مقدار روی ۲۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت اما بین تیمار ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد از نظر مقدار روی تفاوتی مشاهده نشد. سری قزلر در تمامی سطوح گوگرد و شاهد مقدار روی تغییرات بسیار جزئی داشت. در سری زرینه رود با کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد افزایش ۱۰ درصدی روی قابل استفاده نسبت به شاهد مشاهده شد.

اولین دلیل احتمالی این مسئله، به روش اندازه گیری عناصر کم مصرف از جمله روی مربوط می شود. روی قابل جذب خاک به روش DTPAکه توسط لیندزی پیشنهاد شده است، اندازه گیری می شود. در این روش pH عصاره گیر روی ۷/۳ تنظیم می شود، بنابراین یک احتمال این است که اگر pH خاک کاهش یافته و مقدار

کافی روی هم آزاد شده باشد ، هنگام اندازه گیری روی در اثر افزایش pH خاک توسط محلول عصاره گیر، واکنش حلالیت و آزاد شدن روی برگشت می کند و مقداری از روی آزاد شده مجددا تثبیت می شود و روی اندازه گیری شده کمتر از مقدار روی واقعی موجود در خاک که می تواند در اختیار گیاه قرار بگیرد ، تعیین می گردد.

دلیل دیگر آنکه اکسیداسیون گوگرد، کاهش pH و آزاد شدن عناصر غذایی از جمله روی در میکروسایت ها صورت می گیرد. این نقاط را نمی توان از متن خاک جدا کرد و میزان کاهش pHو یا مقدار عناصر غذایی را در آنها اندازه گرفت. بنابراین تنها راه ممکن مخلوط کردن این نقاط با کل خاک و تعیین پارامتر های مورد نظر در نمونه خاک مخلوط شده می باشد از آنجا که نقاط میکروسایت درصد ناچیزی از حجم کل خاک را تشکیل می دهند ، اگر مقدار روی قابل جذب در این نقاط در اثر کاهش pHخاک خیلی هم بالا رفته باشد ، مقدار روی موجود در میکرو سایت ها نمی تواند روی قابل جذب کل نمونه خاک را به طور معنی داری افزایش دهد. دلیل احتمالی سوم به مینرالوژی خاک بر می گردد.ممکن است pHخاک به اندازه ی کافی جهت آزاد شدن روی کاهش یافته باشد ولی مقدار کانیهای حاوی روی موجود در خاک به قدری کم باشند که نتوانند به اندازه ی کافی روی آزاد کرده و مقدار آن را در خاک به طور معنی داری افزایش دهند (بشارتی،۱۳۷۷). هرچند که pHخاک مهمترین فاکتور افزایش روی در خاک است به طوری که با کاهش یک واحد PHحلالیت روی ۱۰۰ برابر افزایش می یابد. در محدوده‌ی pH=۵/۵-۷ روی بیشترین قابلیت جذب را دارا می باشد (Dilmaghani,2008).

جدول۲- ۴۹- اثر اصلی سطوح مصرف گوگرد بر مقدار روی قابل استفاده (میلی گرم بر کیلوگرم) خاک ریزوسفری در سری خاک های مورد مطالعه

		نوع خاک			
		سری طالخونچه	سری قاسم خانی	سری قزلر	سری زرینه رود
مصرف گوگرد (کیلوگرم در هکتار)	۰	۰/۶۰b	۰/۲۶b	۰/۲۵a	۲/۹۶b
	۱۵۰۰	۰/۶۲b	۰/۳۵a	۰/۲۴a	۳/۱۱ab
	۳۰۰۰	۰/۷۸a	۰/۳۳ab	۰/۲۴a	۳/۲۷a

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

اثر متقابل فاصله از ریشه و سطوح گوگرد تاثیر معنی داری بر میزان روی قابل استفاده خاک. در فاصله ی یک میلی متری از ریشه با کاربرد سطح ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد مقدار روی قابل استفاده در سری

طالخونچه، قاسم خانی و زرینه رود نسبت به شرایط عدم کاربرد گوگرد به ترتیب ۲۳، ۲۹ و ۶ درصد افزایش را نشان داد (جدول ۵۰). در سری قزلر با کاربرد گوگرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار مقدار روی ۱۹ درصد کاهش داشت. در فاصله ی سه میلی متری از ریشه با کاربرد معادل ۱۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار در خاک های سری قزلر و طالخونچه کاهش جزئی مقدار روی نسبت به شاهد مشاهده شد. با کاربرد سطح ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد مقدار روی در خاک های سری طالخونچه، قاسم خانی، قزلر و زرینه رود به ترتیب ۲۷، ۴، ۳۲ و ۱۰ درصد افزایش نسبت به شاهد داشت. در فاصله ی شش میلی متری از ریشه با کاربرد معادل ۱۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار مقدار روی در هر چهار سری نسبت به شاهد افزایش داشت. با کاربرد سطح ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد مقدار روی در خاک های سری طالخونچه، قاسم خانی، قزلر و زرینه رود نسبت به شاهد ۱۳، ۴۰، ۲۱ و ۹ درصد افزایش داشت (جدول ۵۰).

جدول۲- ۵۰- اثرات متقابل فاصله از ریشه و سطوح مصرف گوگرد بر روی موجود در سری خاک های مورد مطالعه

فاصله از ریشه (میلی متر)	مصرف گوگرد (کیلوگرم در هکتار)	نوع خاک			
		سری طالخونچه	سری قاسم خانی	سری قزلر	سری زرینه رود
۱	۰	۰/۵۹cd	۰/۳۰ab	۰/۳۲a	۳/۰۶ab
	۱۵۰۰	۰/۷۰abcd	۰/۴۲a	۰/۲۹ab	۳/۱۱ab
	۳۰۰۰	۰/۷۷ab	۰/۴۲a	۰/۲۶abc	۳/۲۵a
۳	۰	۰/۶۱cd	۰/۲۳b	۰/۱۷d	۳ab
	۱۵۰۰	۰/۵۶d	۰/۳۰ab	۰/۱۱bcd	۳/۰۶ab
	۳۰۰۰	۰/۸۴ a	۰/۲۴b	۰/۲۵abcd	۳/۳۳a
>۵	۰	۰/۶۱bcd	۰/۲۵b	۰/۲۳bcd	۲/۸۲b
	۱۵۰۰	۰/۵۹cd	۰/۳۰ab	۰/۳۲a	۳/۰۶ab
	۳۰۰۰	۰/۷۰abcd	۰/۴۲a	۰/۲۹ab	۳/۱۱ab

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

گودرزی (۱۳۸۶) پس از سه سال آزمایش در خاکی آهکی تحت کشت باغ انگور کاهش pH خاک را با کاربرد گوگرد همراه با تیوباسیلوس گزارش کرد. وی با مصرف ۰/۵ کیلوگرم گوگرد به ازای هر بوته مشاهده کرد که pH خاک به طور میانگین پس از ۳ سال تا ۰/۵۶ واحد کاهش یافته و از ۷/۲۳ به ۶/۶۷ واحد رسید. با دو برابر کردن کاربرد گوگرد تا سطح یک کیلوگرم به ازای هر بوته تغییری در میزان اثر مصرف گوگرد در کاهش pH خاک به

دست نیامد. اثر کاربرد گوگرد به میزان یک کیلوگرم برای هر بوته در کاهش pH خاک با کاربرد کود حیوانی افزایش یافت به گونه ای که کاربرد یک کیلوگرم گوگرد همراه با ۱۰ کیلوگرم کود حیوانی برای هر بوته میزان pH خاک را تا ۰/۷۴ واحد کاهش داد. این میزان کاهش در خاکی آهکی با حدود ۳۰ درصد کربنات کلسیم معادل باعث افزایش قابلیت دسترسی عناصر آهن، منگنز و تا حدی روی در خاک گردید که به تبع آن میزان این عناصر نیز در برگ انگور افزایش داشت.

۲-۴-۳-۴-۸- بررسی تغییرات جمعیت باکتری تیوباسیلوس در فواصل مختلف از ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که به جز خاک زرینه رود اثر فاصله از ریشه بر روی جمعیت باکتری های اکسیدکننده گوگرد معنی دار نبود.

جدول۲- ۵۱- اثر اصلی فاصله از ریشه بر لگاریتم جمعیت باکتری های تیوباسیلوس در سری خاک های مورد مطالعه

		نوع خاک			
		سری طالخونچه	سری قاسم خانی	سری قزلر	سری زرینه رود
فاصله از ریشه (mm)	۱	۲/۶۷a	۲/۸۶a	۱/۲۵a	۱/۵۵a
	>۵	۲/۸۳a	۳/۱۶a	۱/۵۶a	۱/۹۱b

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

اثر گوگرد بر جمعیت باکتری های تیوباسیلوس در تمامی سری ها در سطح یک درصد معنی دار گردید. با کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد جمعیت باکتری های تیوباسیلوس در خاک های سری طالخونچه، قاسم خانی، قزلر و زرینه رود به ترتیب ۸۴، ۸۴، ۶۲ و ۷۱ درصد نسبت به شاهد که فاقد هیچ گونه باکتری بود افزایش داشت (جدول ۵۲). این نتیجه با توجه به تلقیح خاک با باکتری تیوباسیلوس و افزایش مقدار کاربرد آن همراه با افزایش گوگرد قابل پیش بینی بود.

جدول۲- ۵۲-(الف)- اثر اصلی سطوح مصرف گوگرد بر لگاریتم جمعیت باکتری تیوباسیلوس در سری خاک های مورد مطالعه

		نوع خاک			
		سری طالخونچه	سری قاسم خانی	سری قزلر	سری زرینه رود
مصرف گوگرد (کیلوگرم در هکتار)	۰	۱b	۱c	۱b	۱b
	۱۵۰۰	۱/۵۸b	۲/۱۵b	۱b	۱b
	۳۰۰۰	۶/۲۸a	۶/۲۹a	۲/۶۱a	۳/۵۳a

در هر ستون، اعداد با حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل فاصله از ریشه و سطوح گوگرد بر روی تعداد باکتری موجود در خاک های سری قاسم خانی و قزلر تاثیر معنی داری نداشت ولی در خاک سری طالخونچه در سطح پنج درصد و در خاک سری زرینه رود در سطح یک درصد تفاوت معنی دار آماری مشاهده شد. در فاصله ی یک میلی متری از ریشه با کاربرد معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد جمعیت باکتری تیوباسیلوس نسبت به شاهد در خاک های سری طالخونچه، قاسم خانی، قزلرو زرینه رود به ترتیب ۸۳، ۸۵، ۵۰ و ۶۹ درصد افزایش داشت (جدول ۵۳). در فاصله ی شش میلی متری از ریشه با کاربرد همین مقدار گوگرد افزایش تعداد باکتری در خاک ها به ترتیب ۸۵، ۸۳، ۶۹ و ۷۳ درصد بود و همانطو که مشاهده می شود با فاصله از ریشه در سری خاک های طالخونچه و قاسم خانی تعداد باکتری به صورت جزئی تغییر کرده اما در سری قزلر و زرینه رود با فاصله از ریشه تعداد باکتری ها بیشتر شده است.

جدول۲- ۵۲- (ب)-اثرمصرف گوگرد بر لگاریتم جمعیت باکتریهای تیوباسیلوس در فواصل مختلف از ریشه در سری خاک های مورد مطالعه

فاصله از ریشه (میلی متر)	مصرف گوگرد (کیلوگرم در هکتار)	نوع خاک			
		سری طالخونچه	سری قاسم خانی	سری قزلر	سری زرینه رود
۱	۰	۱d	۱c	۱c	۱b
	۱۵۰۰	۲/۱۶c	۲/۲۴b	۱c	۱b
	۳۰۰۰	۵/۹۵b	۶/۶۰a	۲b	۳/۲۰a
>۵	۰	۱d	۱c	۱c	۱b
	۱۵۰۰	۱d	۲/۰۲b	۱c	۱b
	۳۰۰۰	۶/۵۰a	۶/۰۹a	۳/۲۲a	۳/۷۴a

۲-۴-۳-۴-۹- نتایج کلی

۱- کاربرد گوگرد سبب کاهش pH محیط ریزوسفر گیاه گندم و ذرت گردید.
۲- بیشترین تاثیر در کاهش pH ریزوسفر از کاربرد ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد به همراه تیوباسیلوس به دست آمد.

۳- اثر کاربرد گوگرد در کاهش pH به نوع خاک بستگی دارد. ظرفیت بافری pH مهمترین ویژگی دخیل در پاسخ متفاوت خاکها می باشد.
۴- تغییرات pH در فواصل مختلف از ریشه هر دو گیاه گندم و ذرت ناچیز بود.
۵- کاربرد گوگرد سبب افزایش غلظت سولفات و گوگرد قابل استفاده در محیط ریزوسفر گردید.
۶- کاربرد گوگرد با افزایش آهن و روی قابل استفاده خاک همراه بود.

الف) تغییرات pH در فواصل مختلف از ریشه گندم در اثر کاربرد گوگرد در سه سری خاک مختلف

۲-۵۷- تغییرات pH در فواصل مختلف از ریشه گندم در اثر کاربرد گوگرد در سری خاک سروستان(فارس)

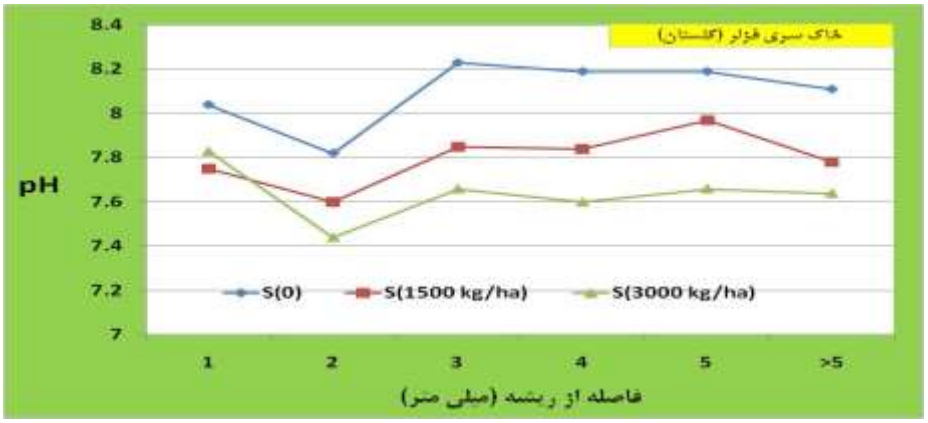
۲-۵۸- تغییرات pH در فواصل مختلف از ریشه گندم در اثر کاربرد گوگرد در سری خاک دره بید دامنه(اصفهان)

۲-۵۹- تغییرات pH در فواصل مختلف از ریشه گندم در اثر کاربرد گوگرد در سری خاک قاسم خانی (خراسان رضوی)

ب) تغییرات pH در فواصل مختلف از ریشه ذرت در اثر کاربرد گوگرد در چهار سری خاک مختلف

۲-۶۰- تغییرات pH در فواصل مختلف از ریشه ذرت در اثر کاربرد گوگرد در سری خاک طالخونچه (اصفهان)

۲-۶۱- تغییرات pH در فواصل مختلف از ریشه ذرت در اثر کاربرد گوگرد در سری خاک قاسم خانی (خراسان)



۲-۶۲- تغییرات pH در فواصل مختلف از ریشه ذرت در اثر کاربرد گوگرد در سری خاک قزلر (گلستان)

۲-۶۳- تغییرات pH در فواصل مختلف از ریشه ذرت در اثر کاربرد گوگرد در سری خاک زرینه رود(آذربایجان غربی)

۴-۴-۲- بررسی معدنی شدن گوگرد عنصری در شرایط رطوبتی و حرارتی مختلف

نتایج تجزیه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ۳۴ سری خاک‌های مورد آزمایش به شرح زیر در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج این آزمایش نشان داد با افزایش سطوح مصرفی گوگرد در تمام سری های خاک به جز خاک‌های شور، مقدار هدایت الکتریکی افزایش و pH خاک کاهش یافت که البته مقدار افزایش شوری و کاهش مقدار pH در سری‌های خاک با هم متفاوت است که بستگی به نوع خاک، مقدار کربنات کلسیم و مقدار گوگرد اولیه خاک دارد. مشخص شد در برخی از خاک‌ها به علت خاصیت بافری، کاهش pH خاک کمتر و زودتر از بقیه خاکها ثابت و کم کم به مقدار اولیه نزدیک، ولی به مقدار اولیه نمی رسید.

جدول ۵۳- نتایج تجزیه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکهای مورد آزمایش (۳۰-۰ سانتیمتری)

سری	درصد اشباع	pH 1:2.5	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	کربن آلی (درصد)	فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم)	آهن (میلی‌گرم درکیلوگرم)	روی (میلی گرم درکیلوگرم)	ظرفیت تبادل کاتیونی (meq/100g)	کربنات کلسیم کل (درصد)	گوگرد قابل جذب (میلی گرم در کیلوگرم)	بافت
سری امامزاده بده	۳۴	۷/۹۱	۰/۷	۰/۸۴	۷/۲	۳/۷	۰/۸	۹/۲	۶۳/۴	۱۹۴/۲۵	Loam
سری شورجه	۳۰	۸/۱۷	۰/۲۳	۰/۸۱	۸	۴/۵	۰/۳	۹/۲	۳۷/۵	۱۰/۵	Sandy Loam
سری ساحل	۳۳	۸/۳	۰/۸۸	۰/۱۱	۱/۲	۳	۰/۳	۵/۲	۲۰/۷	۴۲/۵	Sandy Loam
سری قراول تپه	۴۷	۸/۱۷	۰/۹۰	۱/۲	۸	۳۳	۱/۵	۱۴/۸	۱۴/۹	۸۵/۵	Silty Clay Loam
سری بوشگان	۴۷	۷/۶۹	۲/۶۷	۰/۸۸	۳/۵	۶	۰/۵	۱۴/۶	۴۹/۹	۳۵۶/۲۵	Silty Clay
سری قزلر	۴۲	۸/۲۵	۰/۲۶	۱/۱۷	۷	۷/۶	۱	۱۳/۲	۱۳/۵	۷/۵	Silty Clay
سری گوگ تپه	۴۳	۷/۹۲	۰/۱۷	۱/۰۶	۸/۴	۶/۲۶	۰/۳	۲۳/۴	۴۶/۸	۳/۲۵	Loam
سری ۵	۴۷	۷/۸	۰/۳۰	۱/۰۹	۱۵/۴	۱۰/۶	۰/۸	۲۳	۳۶/۸	۱۳/۷۵	Silty Clay Loam
سری زرینه رود	۴۳	۸/۱۶	۰/۳۶	۱/۲۹	۲۹	۱۰/۲	۵/۱	۲۱/۴	۱۸	۱۹	Loam
سری قدمگاه	۳۳	۸/۲	۰/۱۴	۰/۳۴	۳	۳/۵	۰/۳	۷/۶	۲۹/۲	۳/۲۵	Silty Loam
سری دق	۴۲	۸/۱۱	۰/۲۵	۰/۸۷	۱۶/۴	۱۰/۱	۰/۹	۱۸/۸	۳۹/۴	۷/۵	Clay Loam
سری دوچنگ	۳۳	۸/۰۵	۱/۱۲	۰/۷۷	۱۸/۵	¾	۱/۶	۱۸/۸	۶۱/۷	۱۲۱/۷۵	Loam
سری عطیش	۳۵	۷/۸	۱۳/۶	۰/۲۱	۷	۴/۲	۰/۹۲	۷	۴۸/۵	۸۰۲/۵	Loam
سری علی عگده	۵۳	۷/۸۶	۱۰/۳۵	۰/۵۷	۵	۶/۲	۱	۱۰/۸	۴۶	۷۷۵	Clay
سری دره بید	۳۸	۷/۶۵	۰/۱۱	۰/۵۴	۲۰/۲	۸/۲	۰/۵	۲۳/۴	۱۴/۹	۲	Silty Clay
سری سروستان	۳۹	۷/۸۲	۴/۲۷	۰/۳	۳/۵	۲/۴	۰/۳	۱۰/۸	۲۱/۷	۱۱۱۰	Sandy Loam
سری درین	۴۹	۸/۱۵	۰/۱۸	۰/۶۱	۴	۴/۶	۰/۳	۲۸/۶	۶/۳	۷/۷۵	Clay Loam
سری خرقانی	۳۶	۷/۷۱	۳/۲	۰/۷۷	۱۰/۶	۱۰/۷	۰/۵	۱۵/۲	۶۳	۵۱۱	Silty Clay
سری بالستان	۲۸	۷/۵	۰/۱۵	۰/۶۸	۷/۳	۴/۶	۰/۴	۱۳/۶	۰/۹۶	۴/۲۵	Sandy Loam

ادامه جدول ۵۳

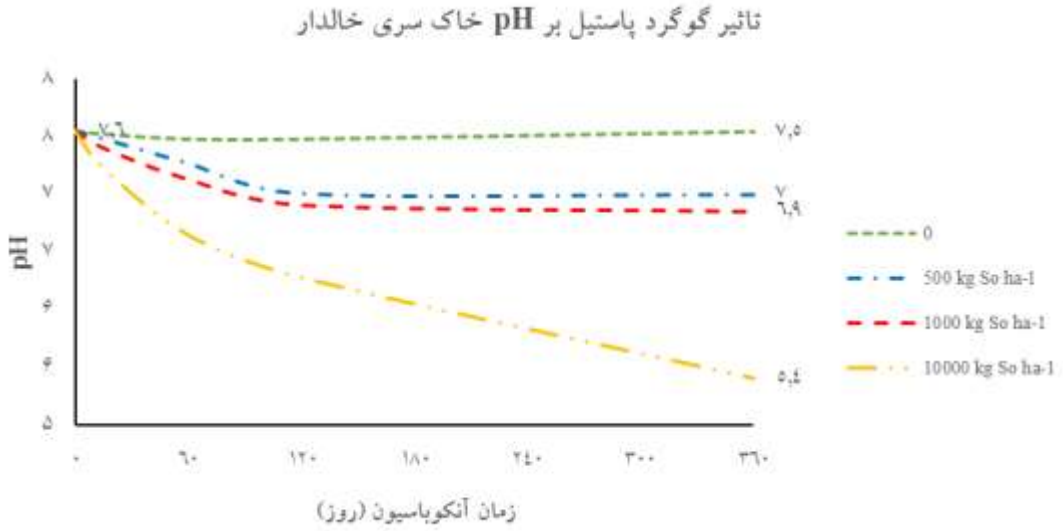
سری لنجان	۴۱	۷/۸۲	۶/۸	۰/۵۶	۱۳	۶/۳	۰/۶	۱۴/۲	۳۴/۳	۸۲۷/۵	Silty Clay Loam
سری ابراهیم آباد	۳۹	۸	۱۲/۶۶	۰/۲۲	۴/۴	۴/۴	۰/۴	۱۱/۴	۲۱	۹۱۲/۵	Clay Loam
سری طالخونچه	۱۷	۸/۳	۰/۱۶	۰/۰۶	۶	۲/۴	۰/۴	۷	۷۰	۱۰/۲۵	Loam Sandy
سری نجم آباد	۲۲	۷/۹۰	۰/۱۸	۰/۰۸	۴	۶	۰/۲	۷/۴	۸/۴	۹	Loam Sandy
سری بابل	۶۳	۷/۶	۰/۳۶	۱/۸۱	۳۶/۴	۶۰/۲	۰/۹۵	۳۴	۳/۱	۱۶/۵	Clay
سری خالدار	۵۴	۷/۵۰	۰/۲۱	۰/۹۸	۹/۶	۱۸/۲	۰/۳	۳۸/۴	۱/۲	۴	Clay
سری قاسم خانی	۲۷	۸/۲۵	۰/۲۷	۰/۲۲	۷/۶	۳/۶۵	۰/۳	۱۰/۶	۴۵/۸	۱۲/۷۵	Loam
سری فلارد	۴۷	۷/۹۱	۰/۳	۱/۱۶	۵/۴	۴/۵	۰/۳	۲۴/۶	۳۳/۱	۸/۶۲	Silty Clay
سری سراجی گناباد	۲۴	۷/۸	۰/۲	۰/۰۶	۱۱/۴	۳/۷	۰/۳	۹/۶	۱۶/۶	۷/۷۵	Loam
سری شریف آباد	۴۱	۷/۸	۰/۲۳	۰/۸۷	۱۵/۴	۶/۱	۰/۴	۲۳	۴۳/۶	۱/۷۵	Silty Clay Loam
سری شیخ شجاع	۲۴	۷/۸	۰/۱۸	۰/۰۳	۳/۴	۲/۳	۰/۱	۲/۲	۸۷/۷	۱۷	clay
سری جذوشی	۴۴	۸/۰۶	۱۸/۶	۰/۷	۱	۰/۸	۰/۶	۹/۲	۱۷	۵۴۰	Sandy Loam
سری کم سرخ	۲۸	۷/۹۷	۱/۱۵	۰/۲۵	۱۲/۶	۳	۰/۵	۱۱/۲	۱۶/۶	۱۱۶	Loam
سری سابوکی	۲۲	۷/۷۹	۰/۹	۰/۰۱	۳	۳	۰/۲	۴/۴	۶/۷	۹/۵	Sandy
سری فرم	۵۵	۷/۶	۰/۳	۱/۴۹	۵۱/۶	۸۷	۴/۱	۲۰/۴	۷	۱۰/۲۵	Clay Loam

جدول۵۴- نتایج تجزیه ورمی کمپوست

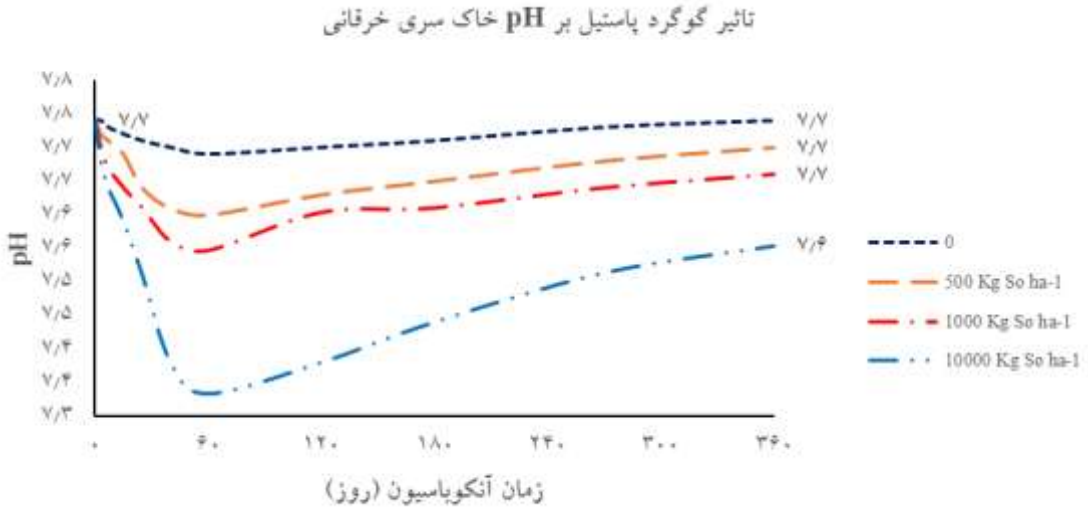
pH	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	رطوبت (درصد)	ازت کل (درصد)	کربن آلی (درصد)	فسفر کل بر حسب P2O5	پتاسیم کل برحسب K2O	آهن (میلی گرم درکیلوگرم)	روی (میلی گرم درکیلوگرم)	گوگرد محلول (درصد)	گوگرد کل (درصد)	سرب (میلی گرم درکیلوگرم)	کادمیم (میلی گرم درکیلوگرم)
۷/۵۴	۱۷/۵۸	۷/۲۹	۱/۵۵	۲۴/۸۸	۱/۳۷	۰/۲۴	۱۱۹۷۸	۲۳۹	۰/۰۸۹	۰/۶۷	۴۴/۵	۳

مقادیر اندازه‌گیری شده قابلیت هدایت الکتریکی خاک، pH و سولفات خاک به عنوان نمایه‌هایی از اکسایش گوگرد در خاک، در سطوح مختلف گوگرد کاربردی در شرایط مختلف رطوبتی و حرارتی پس از طی دوره آنکوباسیون تیمارهای آزمایشی در قسمت نتایج و در جداول جداگانه در قسمت تفصیلی گزارش بررسی اکسیداسیون گوگرد عنصری (پاستیل) تولیدی پژوهشگاه صنعت نفت در شرایط رطوبتی و حرارتی مختلف آورده شده است.

نتایج نشان داد که مقادیر سولفات و قابلیت هدایت الکتریکی خاک‌ها با افزایش سطوح گوگرد کاربردی بعد از سپری شدن دوره آنکوباسیون در خاک‌های مورد آزمایش افزایش و pH کاهش داشت که بیانگر فرآیند اکسیداسیون گوگرد است. همچنین با کاربرد مقادیر مختلف گوگرد در شرایط مختلف رطوبتی در خاک‌های مورد آزمایش به استثنای خاک‌های شور (مانند سری خاک‌های عطیش، ابراهیم آباد، علی عگذه، لنجان، و سروستان)، pH کاهش و هدایت الکتریکی، سولفات محلول، فسفات، آهن و روی قابل استفاده افزایش یافت و بین تأثیر تیمارهای مختلف روی صفات اندازه گیری شده، اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد ($P<0.01$) وجود داشت که ناشی از اکسایش گوگرد و تولید اسید سولفوریک بوسیله ریزجانداران اکسید کننده گوگرد است. در اغلب خاک‌های مورد آزمایش، بیشترین مقدار کاهش pH و بالاترین مقدار هدایت الکتریکی و سولفات محلول، آهن و روی قابل استفاده با کاربرد ۱۰۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار و در شرایط رطوبتی ۴۰ درصد بود. همچنین بیشترین مقدار فسفات قابل استفاده با ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار بود. بیشترین و کمترین مقدار کاهش pH خاک به ترتیب در بین خاک‌های مورد آزمایش، سری خالدار و خرقانی با ۲/۵۴، ۰/۳۸ واحد نسبت به تیمار شاهد بود (شکل شماره ۲-۶۴ و ۲-۶۵). نتایج این تحقیق نشان داد که اگرچه مصرف گوگرد بیشتر از ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار، باعث کاهش pH ، افزایش هدایت الکتریکی، سولفات محلول، آهن و روی قابل استفاده خاک شد. ولی باعث کاهش مقدار فسفات در طول دوره آنکوباسیون شد.



شکل شماره ۲-۶۴- تاثیر گوگرد بر pH خاک سری خالدار



شکل شماره ۲-۶۵- تاثیر گوگرد بر pH خاک در سری خرقانی

با کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار، کمترین مقدار سولفات تولیدی در میان سری خاک‌های مورد آزمایش با سری سابوکی به مقدار ۱۴۳ میلی‌گرم در کیلوگرم در ۶۰ روز آنکوباسیون و با ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار با سری دوچنگ به مقدار ۳۸۲۲ میلی‌گرم سولفات محلول در کیلوگرم خاک بود. همچنین بیشترین مقدار سولفات تولیدی با کاربرد ده تن در هکتار گوگرد عنصری در شرایط رطوبتی ۴۰ درصد در میان خاک‌های مورد

آزمایش با سری دره بید و با مقدار ۵۶۲۰ میلی‌گرم سولفات در کیلوگرم خاک و کمترین مقدار سولفات تولیدی با سری سابوکی با مقدار ۴۰۱ میلی‌گرم سولفات در کیلوگرم خاک در ۶۰ روز آنکوباسیون بود.

در سری خاک‌های عطیس، ابراهیم آباد، علی عگذه، جذوشی، سروستان و لنجان به علت بالابودن شوری خاک، درصد آهک و مقدار سولفات اولیه خاک، مصرف مقادیر مختلف گوگرد در شرایط مختلف رطوبتی تأثیری برخصوصیات شیمیایی خاک نداشت و در بعضی از موارد باعث کاهش مقدار عناصر غذایی قابل‌استفاده شد. با توجه به مقدار سولفات اندازه‌گیری شده در این خاک‌ها در مراحل مختلف آنکوباسیون، به نظر می‌رسد که به اندازه کافی یون سولفات محلول در خاک وجود داشته و نیازی به افزودن گوگرد و یا ترکیبات مشابه به این چنین خاک‌هایی نمی‌باشد.

نتایج این آزمایش نشان داد، خاک‌های مختلف، واکنش‌های متفاوتی از لحاظ کاهش pH خاک، افزایش شوری و حلالیت عناصر غذایی را در شرایط مختلف رطوبتی و در زمان‌های مختلف آنکوباسیون نسبت به مصرف مقادیر مختلف گوگرد عنصری نشان دادند که این ناشی از متفاوت بودن خصوصیات این خاک‌ها (مانند مقدار آهک، مقدار سولفات اولیه خاک و بافت خاک) می‌باشد.

با افزایش دوره آنکوباسیون و اکسیداسیون گوگرد در نتیجه فعالیت ریزجانداران اکسید کننده گوگرد، pH خاک کاهش و این روند نزولی در شرایط رطوبتی ۴۰ درصد اشباع نسبی بیشتر بود. نتیجه گیری شد که در برخی از خاک‌ها مانند سری خاک قراول تپه هرچه مقدار درصد آهک بیشتر بود، کاهش pH و مقدار اکسیداسیون گوگرد در خاک ناشی از افزودن گوگرد عنصری کمتر بود و بعد از مدتی دوباره، بسته به درصد آهک شروع به افزایش و نزدیک شدن به حالت اولیه نمود که ناشی ازظرفیت بافری خاک‌ها و مقدار کربنات کلسیم بالای خاک است. خاصیت بافری خاک به وجود رس، مواد آلی، آهک، ترکیبات فسفاته و بسیاری از ترکیبات شیمیایی دیگر بر می‌گردد (شکل ۳). هرگاه مقدار اسید تولید شده در اثر اکسیداسیون گوگرد، توان خنثی کردن عوامل بافر را دارا باشد، pH خاک کاهش می‌یابد (بشارتی و همکاران، ۱۳۹۵).

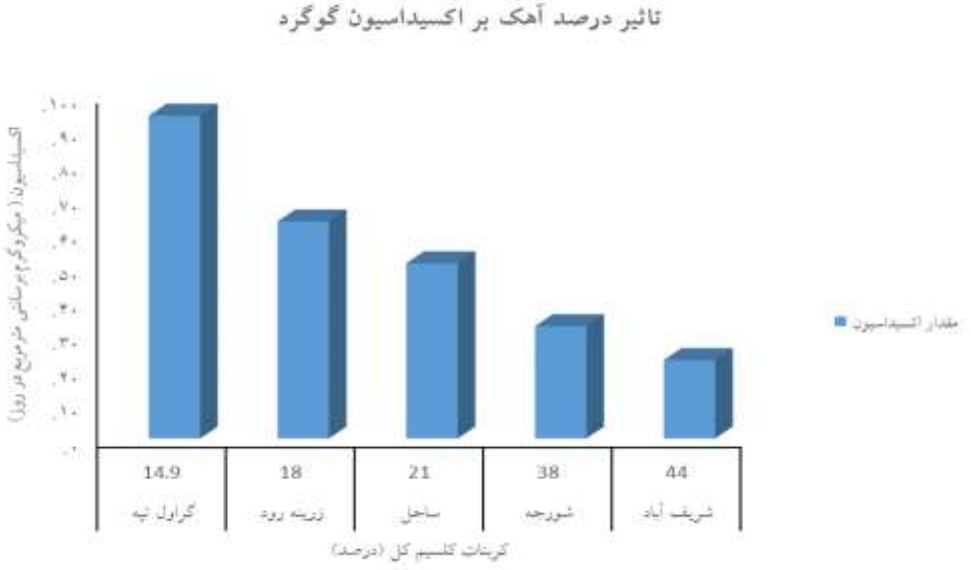
به‌طور کلی کاهش کم pH خاک در اثر مصرف گوگرد می‌تواند، ناشی از دلایل زیر باشد (Falatah, 1998).

۱- ظرفیت بافری زیاد (در نتیجه مقدار کربنات کلسیم زیاد و ماده آلی کم)

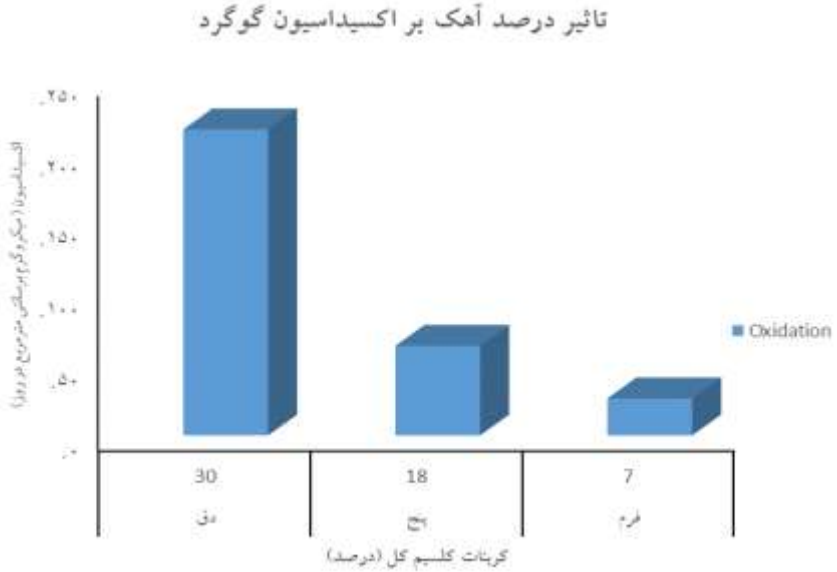
۲- اکسیداسیون ناقص گوگرد عنصری به اسید سولفوریک

در برخی از خاک‌ها به عنوان مثال سری دق (دارای ۳۰ آهک کل) در مقایسه با سری فرم (دارای۷درصدآهک کل) مشاهده شد علی رغم بالابودن مقدار آهک کل، مقدار کاهش pH و افزایش عناصر غذایی بیشتر از خاک‌هایی با مقدار آهک کل پایین بود و این موید آن است که علی رغم اینکه درصد آهک یکی از فاکتورهایی مهم در کاهش قابلیت عناصر غذایی حساس به pH است، ولی مقدار آهک کل به تنهایی تعیین

کننده نیست (شکل ۴). چون این احتمال که آهک موجود در خاک از نوع غیرفعال بوده (آهک درشتی که توسط عوامل پوشش دهنده مانند رس، مواد آلی پوشیده شده است) که در واکنش خنثی کردن اسید شرکت نکرده است، نیز وجود دارد (بشارتی، ۱۳۷۹). بنابراین هر خاکی دارای پتانسیلی مخصوص به خود برای اکسیداسیون گوگرد می‌باشد که وابسته به خصوصیات آن خاک است و تنها مقدار کربنات کلسیم یک معیار برای مصرف گوگرد به منظور افزایش قابلیت‌استفاده از عناصر غذایی نمی‌باشد. همچنین خاک شورجه نسبت به خاک سری ساحل به علت خواص فیزیکی بهتر (تهویه، نفوذپذیری، ظرفیت نگهداری و رطوبت خاک)، باعث می شود که فعالیت ریزجانداران و در نتیجه اکسیداسیون گوگرد در این خاک افزایش یابد.



شکل شماره ۲-۶۶- تاثیر درصد آهک بر اکسیداسیون گوگرد



شکل شماره ۲-۶۷- تاثیر درصد آهک بر اکسیداسیون گوگرد

نتایج این تحقیق با تحقیقات هاشمی مجد و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت داشت که به این نتیجه رسیدند که با افزایش مقدار مصرف گوگرد، pH خاک کاهش و بیشترین مقدار کاهش آن در ۲۸ روز آنکوباسیون بود. مقدار هدایت الکتریکی و فسفات قابل‌استفاده خاک نیز با کاربرد گوگرد و زمان آنکوباسیون افزایش و بیشترین مقدار آن‌ها به ترتیب در ۳۲ و ۸ هفته دوره آنکوباسیون بود، مقدار فسفات قابل‌استفاده نیز پس از ۸ هفته کاهش یافت. در این تحقیق مشاهده شد که با مصرف گوگرد بیشتر از ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار، چه در شرایط رطوبتی ۳۰ یا ۶۰ درصد اشباع نسبی در خاک‌های مختلف، مقدار اکسیداسیون گوگرد کاهش یافت. این نتیجه با نتایج جانزن و بتانی (Janzen and Betany.1987a) هماهنگی داشت که گزارش کردند با افزایش مقدار گوگرد مصرفی در خاک‌های با بافت‌های مختلف تا حدود ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار، مقدار سولفات تولیدی و اکسیداسیون گوگرد افزایش و رابطه میان آن‌ها خطی است.

کاربرد بیشتر از ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار، باعث کاهش مقدار اکسیداسیون گوگرد می‌شود. که ناشی از یکی یا بیشتر عوامل زیر می‌تواند باشد (Janzen and Betany.1987a).

۱- کاهش تعداد ریزجانداران اکسیدکننده گوگرد در واحد سطح

۲- اثرات منفی pH یا تجمع زیاد مواد حد واسط اکسیداسیون گوگرد

۳- افزایش نمک‌های محلول (شوری خاک)

البته مهدیش و همکاران (Modaihsh *et al.*, 1998) عدم افزایش میزان اکسیداسیون گوگرد در خاک همراه با مصرف بیشتر آن، را به اختلاط نامناسب گوگرد با خاک مرتبط دانستند. کسراییان و همکاران (۱۳۸۹) طی یک آزمایش گلخانه‌ای گزارش کردند که بهترین تیمار از لحاظ کاهش pH خاک و سولفات تولیدی کاربرد ۲ تن در هکتار گوگرد بود و بیشتر از آن تأثیری در مقدار گوگرد اکسیده شده نداشت.

نتایج این آزمایش نشان داد که با افزایش مقدار رطوبت خاک از ۴۰ به ۶۰ درصد اشباع نسبی، مقدار اکسیداسیون گوگرد و در نتیجه کاهش pH خاک و افزایش حلالیت عناصر غذایی در سطوح مختلف کود گوگرد مصرفی کمتر شد. علت آن ناشی از این است که با افزایش رطوبت خاک خشک، اکسیداسیون گوگرد افزایش یافته و به حد مطلوب می‌رسد، سپس با افزایش مجدد رطوبت به دلیل کاهش اکسیژن در منافذ خاک، از سرعت اکسایش گوگرد کاسته می‌شود. در رطوبت‌های کمتر از ظرفیت زراعی به‌دلیل محدودیت آب برای ریزجانداران اکسیدکننده و در رطوبت‌های بالاتر به واسطه کمی اکسیژن در خاک، اکسیداسیون گوگرد کاهش می‌یابد. مناسب‌ترین رطوبت برای اکسیداسیون گوگرد، رطوبت نزدیک ظرفیت زراعی است (Moser and Olsen, 1953; Kittams and Attoe, 1965; Janzen and Betany.1987a).

در این آزمایش مشخص شد که با افزایش مقدار گوگرد و دوره آنکوباسیون، pH خاک از طریق اکسیداسیون گوگرد بوسیله ریزجانداران و تولید اسید سولفوریک، کاهش و در نتیجه حلالیت نمک‌های مختلف، هدایت الکتریکی خاک افزایش یافت. در تمام خاک‌های مورد آزمایش، بیشترین مقدار هدایت الکتریکی در پایان دوره آنکوباسیون بود که با نتایج هاشمی مجد (۲۰۱۲) مطابقت داشت. همچنین نتایج مشابهی توسط عبدالفتاح و همکاران (Abdel-Fattah *et al.*, 1984) و الکولی و همکاران (El-Kholy *et al.*, 2014) گزارش شده است که دریافتند که مقدار هدایت الکتریکی با افزایش مصرف گوگرد و دوره آنکوباسیون افزایش یافت.

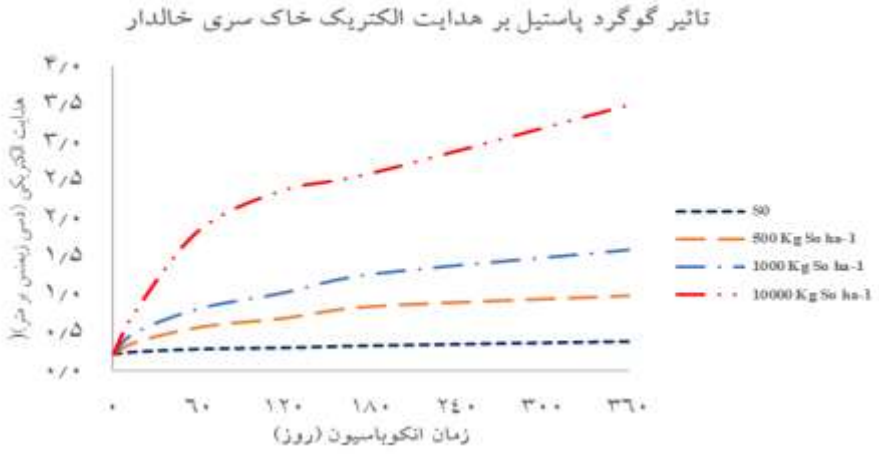
در اثر اکسایش گوگرد در خاک اسید سولفوریک تولید شده با کربنات و بی‌کربنات‌های خاک (به ویژه کربنات‌های کلسیم و منیزیم که در خاک‌های آهکی فراوان هستند) واکنش داده و موجب انحلال آن‌ها می شود. در نتیجه تشکیل املاح محلول و تشکیل سولفات‌های کلسیم و منیزیم در خاک، هدایت الکتریکی خاک افزایش می‌یابد (Lindemann and Cifuentes, 1993). در طی فرآیند اکسیداسیون گوگرد در خاک، اسید سولفوریک تولید شده با کربنات کلسیم در خاک‌های آهکی واکنش داده و گچ نشکیل می‌شود. گچ نسبت به کربنات کلسیم محلول تر است و در نتیجه هدایت الکتریکی یا شوری خاک افزایش می‌یابد (Slaton, 1998).

$$S+O_2 \longrightarrow SO_2 + 1/2O_2 \rightarrow SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4 \quad (1)$$

$$H_2SO_4 + CaCO_3 \rightarrow CaSO_4 + H_2O + CO_2 \quad (2)$$

اگر در محیط گچ و آهک هردو با هم وجود داشته باشند اسید تولید از اکسیداسیون گوگرد، تأثیر کمی بر pH خاک دارد و یا بدون تأثیر است (Lindsay,1979). افزایش شوری خاک توسط صفا و همکاران (Safaa *et al.*, 2013) نیز گزارش شده است. بنابر این می‌توان علت افزایش هدایت الکتریکی را می‌توان به تجمع نمک‌های حاصل از اکسایش گوگرد نسبت داد.

اولجن و همکاران (Ulgen *et al.*, 1989) به این نتیجه رسیدند که همبستگی مثبتی میان کل نمک‌ها و مقدار گوگرد خاک وجود دارد. آن‌ها همچنین گزارش کردند که که افزایش شوری خاک باعث افزایش مقدار گوگرد قابل استفاده می‌شود. اورمان و کاپلان (Kaplan and Orman, 2009) گزارش کردند که یک همبستگی مثبت میان گوگرد سولفاته و هدایت الکتریکی خاک وجود دارد. در این تحقیق مشخص شد که در تمام خاک-های مورد آزمایش، بیشترین مقدار هدایت الکتریکی با بالاترین سطح مصرف گوگرد عنصری بود و آنیون سولفات باعث افزایش در مقدار نمک‌های محلول شد که با نتایج تحقیق اورمان و هوسین (Orman and Huseyin,2012) مطابقت داشت (شکل ۵). لازم به ذکر است خاکی که دارای رطوبت بیشتری است (۶۰ درصد درصد اشباع نسبی) در مقایسه با خاکی که دارای رطوبت کمتری است (۴۰ درصد درصد اشباع نسبی) دارای هدایت الکتریکی کمتر و در این آزمایش انجام شده، در خاک‌های مختلف دارای مقدار اکسیداسیون گوگرد کمتری بود. نتایج این تحقیق با نتیجه بدست آمده بوسیله بورنز (Burns, 1985) مطابقت داشت که گزارش کرد مقدار مناسب رطوبت خاک برای ماکزیمم اکسیداسیون گوگرد زیر ظرفیت زراعی است. در این زمینه عبدالفتاح و هیل (Abdel-Fattah and Hilal., 1985) گزارش کردند که مقدار اختلاف در هدایت الکتریکی دراثر اکسیداسیون گوگرد وابسته به مقدار مصرف گوگرد عنصری و نوع خاک است.



شکل شماره ۲-۶۸- تاثیر گوگرد بر هدایت الکتریک خاک خالدار

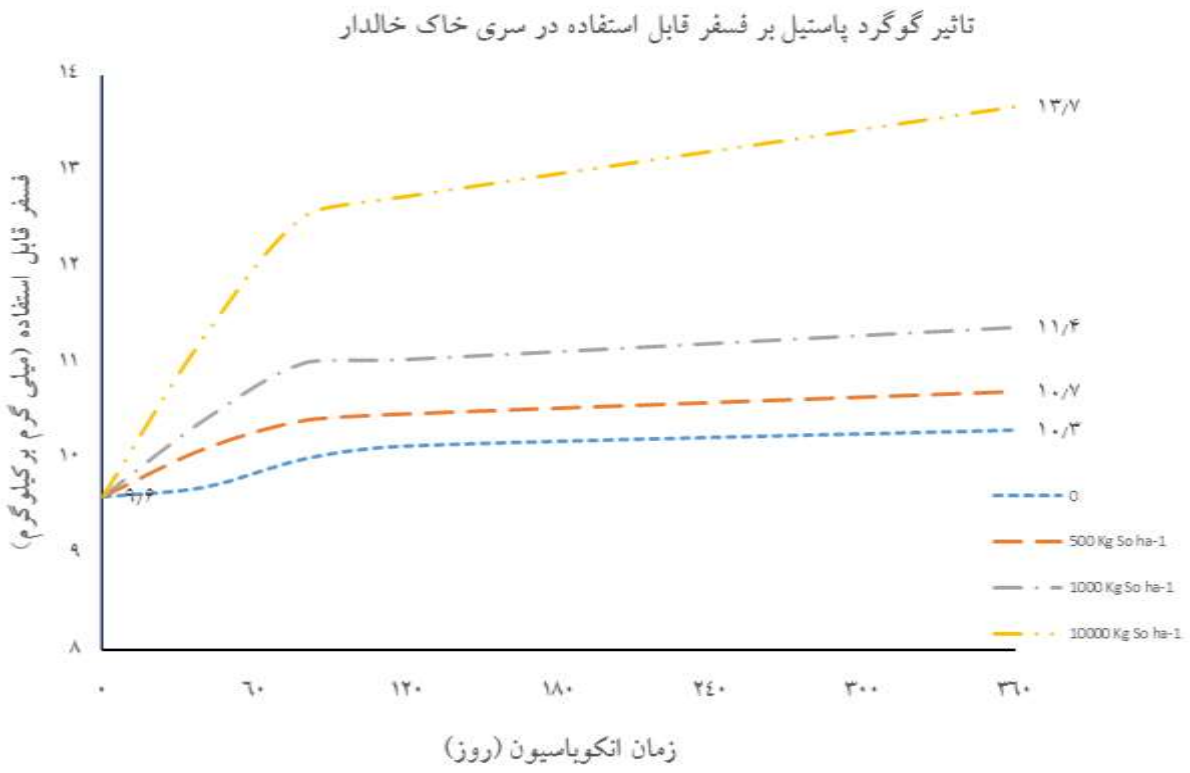
در این تحقیق مشخص شد که در خاک‌های که دارای شوری اولیه زیادی هستند (مانند سری‌های عطبش، سروستان، علی عگذه، ابراهیم آباد) دارای تغییرات کمی در مقدار هدایت الکتریکی خاک می‌باشند و این ناشی از فعالیت کم ریزجانداران اکسیدکننده گوگرد، در نتیجه غلظت زیاد نمک‌های محلول می‌باشد. در نتیجه مقدار اکسیداسیون گوگرد، کاهش pH خاک و حلالیت عناصرغذایی در آن‌ها کم خواهد بود. گزارش شده است که مقدار هدایت الکتریکی خاک تحت فاکتورهای متعددی مانند مقدار رطوبت خاک، غلظت یون‌ها در خاک، نوع و مقدار رس و جرم مخصوص ظاهری خاک قرار می‌گیرد (Brune and Doolittle, 1990). باید یادآوری کرد که مقدار هدایت الکتریکی در سوسپانسیون خاک به آب (1:2.5) کمتر از هدایت الکتریکی بوسیله عصاره اشباع است که ناشی از حجم بیشتر آب در سوسپانسیون خاک و آب است.

نتایج این آزمایش نشان داد که درتمام خاک‌های مورد آزمایش با مصرف گوگرد ، مقدار سولفات محلول خاک افزایش یافت و این روند در مقادیر بالای مصرف گوگرد عنصری از شدت بیشتری برخوردار بود. مشخص شد که هرچه مقدار شوری خاک‌های آهکی بیشتر بود، مقدار سولفات محلول آن، در اثر مصرف گوگرد عنصری نسبت به تیمار شاهد زیادتر شد. در این خصوص می‌توان به سری خاک خرقانی اشاره کرد که دارای مقدار هدایت الکتریکی ۳/۲ دسی زیمنس برمتر است. این افزایش بیشتر در مقدار سولفات، ناشی از کاهش بیشتر pH خاک و تبدیل گوگرد به اسید سولفوریک بوسیله ریزجانداران خاک است. توران و همکاران (Turan *et al.*, 2013) گزارش کردند که که با مصرف گوگرد در طول ۸ هفته آنکوباسیون به‌طور پیوسته pH خاک کاهش و هدایت الکتریکی خاک افزایش یافت و گوگرد سولفاته به طور خطی با کاربرد گوگرد عنصری در طول ۸ هفته آنکوباسیون افزایش یافت. برخی محقیقین دیگر به این نتیجه رسیدند که با افزودن گوگرد، pH خاک کاهش می‌یابد و این کاهش وقتی که مقدار آهک خاک کم است، می‌تواند بیشتر باشد (Modaihsh *et al.*, 1989). مقدار فسفات قابل استفاده با کاربرد گوگرد در تمام خاک‌های مورد آزمایش به جز خاک‌های شور در شرایط مختلف رطوبتی افزایش یافت که این ناشی از اکسیداسیون گوگرد به اسید سولفوریک و در نتیجه کاهش pH خاک و افزایش حلالیت فسفات است.

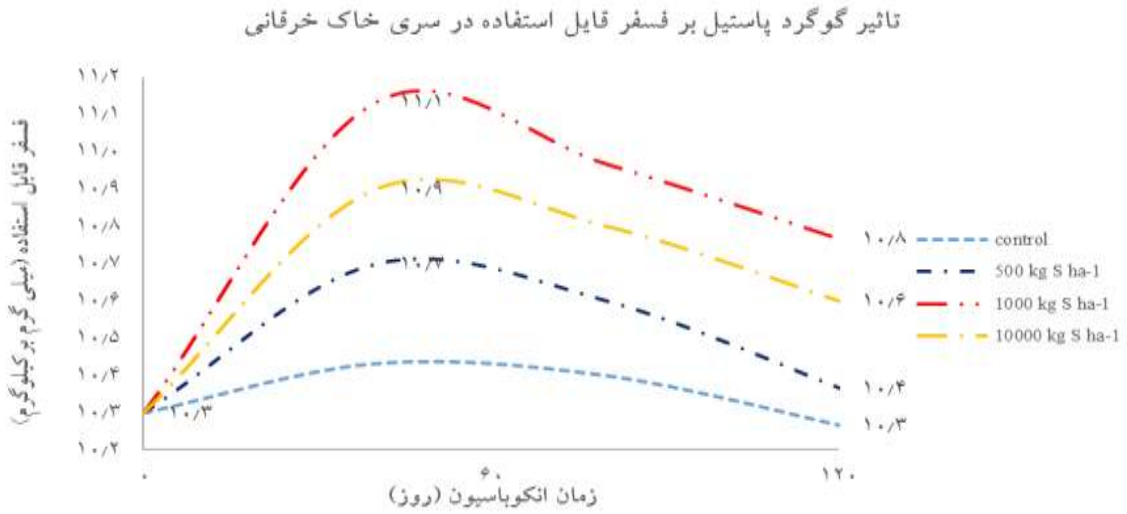
در تمام خاک‌های مورد آزمایش به جز چند سری از خاکها (مانند سری خاک خالدار)، مقدار فسفر قابل استفاده به طور معنی‌داری با افزایش مصرف گوگرد از ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار افزایش و پس از آن کاهش یافت، ولی مقدار آهن و روی قابل استفاده از ۵۰۰ تا ۱۰۰۰۰ کیلوگرم درهکتار افزایش یافت(شکل ۶ و ۷). بنابراین مصرف بهینه گوگرد می‌تواند در خاک‌های آهکی منجر به افزایش میزان عناصرغذایی مانند فسفات قابل‌استفاده و جذب آن توسط گیاه گردد. همچنین مصرف بیش از اندازه گوگرد با تبدیل مقدار زیادی از کربنات کلسیم خاک به گچ باعث افزایش شوری خاک و غلظت بالای یون کلسیم درمحلول خاک می‌شود.

غلظت بالای یون کلسیم در محلول خاک نیز به عنوان مثال با تبدیل یون‌های فسفات به صورت فسفات‌های مختلف کلسیم منجر به کاهش غلظت فسفات قابل جذب خاک می‌گردد (بابایی و همکاران، ۱۳۹۱) که یکی از دلایل کاهش قابلیت استفاده عناصرغذایی در این آزمایش احتمالاً ناشی از همین عامل است. نتایج این تحقیق با تحقیقات مهدیش و همکاران (Modaihesh *et al.*, 1985) نیز مطابق داشت که گزارش کردند تغییر قابلیت دسترسی عناصر غذایی به مقدار آهک و نسبت آهک به رس در خاک بستگی دارد. در خاک‌هایی که آهک و نسبت آهک به رس کمتری داشتند، تأثیر مصرف گوگرد بیشتر نمایان بود.

کاپلان و اورمان (Kaplan and Orman, 1998) گزارش کردند که افزایش مقدار فسفات قابل استفاده با کاربرد گوگرد، در نتیجه کاهش pH خاک و آزاد سازی فسفات از ترکیبات نامحلول است. الکولی و همکاران (El-Kholy *et al.*, 2014) به این نتیجه رسیدند که کاربرد گوگرد در خاک‌های با بافت‌های مختلف، سبب افزایش مقدار فسفات در خاک شد و مقدار این افزایش، بستگی به نوع خاک دارد و مقدار ۵۰۰ الی ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار برای افزایش مقدار فسفات قابل استفاده، پیشنهاد کردند.

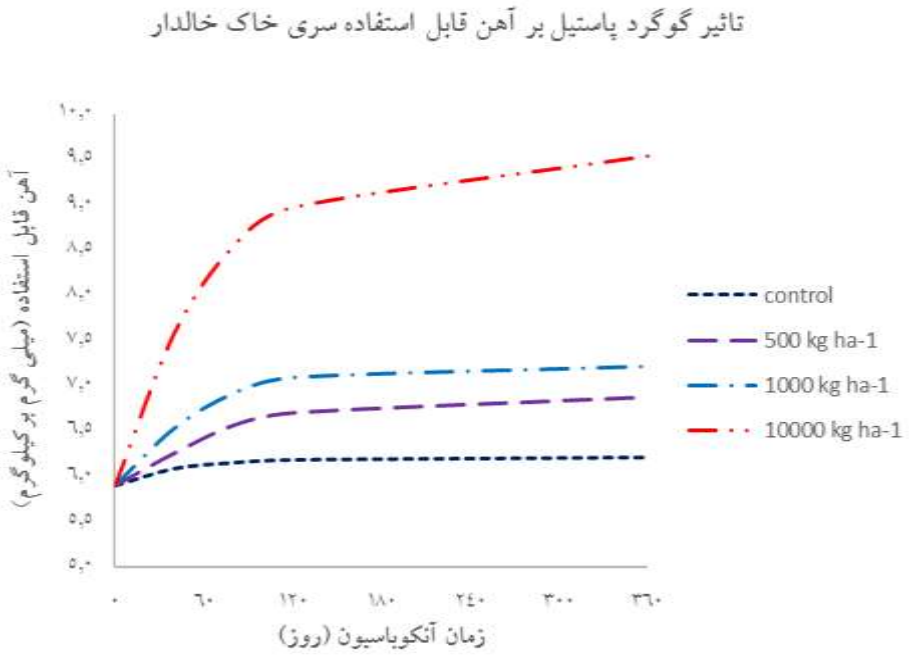


شکل شماره ۲-۶۹- تاثیر گوگرد پاستیل بر فسفر قابل استفاده خاک

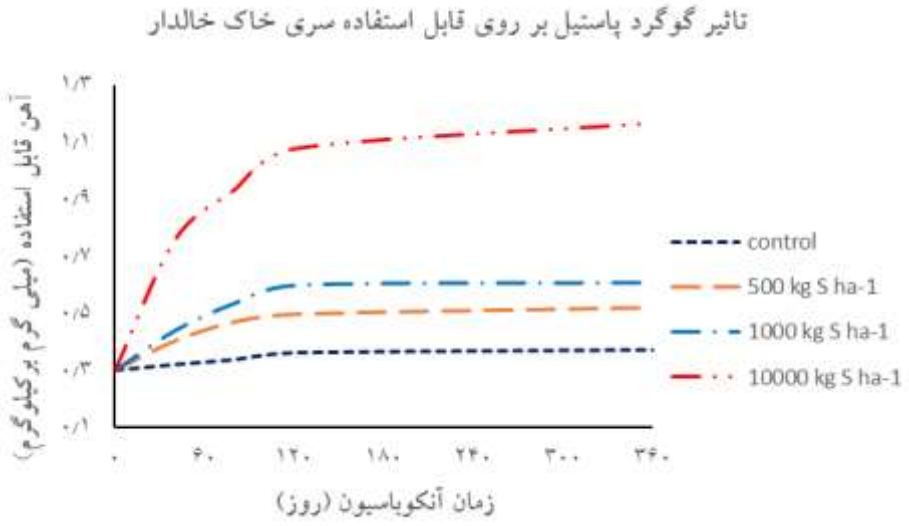


شکل شماره۲-۷۰- تاثیر گوگرد پاستیل بر فسفر قابل استفاده خاک سری خرقانی

در این تحقیق مشخص شد که با کاربرد مقادیر مختلف گوگرد عنصری همراه با باکتری تیوباسیلوس غلظت آهن و روی قابل استفاده در خاک در تمام خاک‌های مورد آزمایش به استثنای خاک‌های شور در شرایط مختلف رطوبتی نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت که با نتایج تحقیقات محققانی نظیر (Karimizarchi *et al*., 2014a; Abou *et al*., 2011)، گوهرگانی (۱۳۹۴)، بشارتی و همکاران (۱۳۹۵) هماهنگی داشت. مشخص شد بیشترین مقدار روی و آهن قابل استفاده در خاک‌های مورد آزمایش با کاربرد ۱۰۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و در شرایط رطوبتی ۴۰ درصد اشباع نسبی بود. گزارش شده است که مصرف گوگرد عنصری در خاک‌های آهکی در اثر اکسیداسیون و تولید اسید سولفوریک، pH و غلظت بی‌کربنات را کاهش و مقدار آهن و روی قابل‌استفاده را در خاک افزایش داد (Kalbasi *et al*., 1998; Safaa *et al*., 2013) که نتایج بدست آمده از این تحقیق را تایید می‌نماید. اثرات مفید کاربرد گوگرد در افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی کم‌مصرف از جمله آهن و روی توسط بشارتی (۱۳۷۷)، مهدیش و همکاران (Modaihsh *et al*., 1989) و لیندرمن و سیفونتس (Cifuentes and Lindemann, 1993) به اثبات رسیده است.



شکل شماره ۲-۷۱– تاثیر گوگرد بر آهن قابل استفاده خاک خالدار



شکل شماره ۲-۷۲– تاثیر گوگرد بر روی قابل استفاده خاک خالدار

مقدار اکسیداسیون گوگرد در خاک‌های مورد آزمایش به استثنای خاک‌های شور در طول دوره آنکوباسیون و در شرایط مختلف رطوبتی افزایش و بیشترین مقدار آن با تیمار کودی ۵۰۰ کیلوگرم درهکتار گوگرد عنصری در شرایط ۴۰ درصد رطوبت اشباع نسبی بود که بیشترین مقدار و زمان آن با توجه به خصوصیات خاک‌های مورد آزمایش متفاوت بود.

مشاهده شد که با افزایش مقدار گوگرد مصرفی در شرایط مختلف رطوبتی مقدار اکسیداسیون گوگرد در تمام سری خاک‌های مورد آزمایش، کاهش یافت که احتمالاً ناشی از کاهش فعالیت ریزجانداران اکسید کننده گوگرد و وجود شرایط نامناسب برای فعالیت مانند شوری خاک می‌باشد. با کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار عنصری، کمترین و بیشترین مقدار اکسیداسیون در میان سری خاک‌های مورد آزمایش با سری‌های خرقانی و قدمگاه به ترتیب به مقدار ۱۳/۷ و ۲۱۶ میکروگرم گوگرد بر سانتی مترمربع در روز، در ۲۵ روز آنکوباسیون و در شرایط رطوبتی ۴۰ درصد بود. با کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار نیز کمترین و بیشترین مقدار اکسیداسیون در میان سری خاک‌های مورد آزمایش با سری‌های خرقانی و قدمگاه به ترتیب به مقدار ۱۲ و ۱۱۶ میکروگرم گوگرد بر سانتی مترمربع در روز و در ۲۵ روز آنکوباسیون و در شرایط رطوبتی ۴۰ درصد اشباع نسبی بود.

جدول۲- ۵۵ - مقایسه میانگین تأثیر مقدار گوگرد عنصری در شرایط رطوبتی بر اکسیداسیون گوگرد در زمان‌های مختلف آنکوباسیون خاک خالدار

(میکروگرم گوگرد بر سانتی مربع در روز)

گوگرد مصرفی (کیلوگرم درهکتار)	رطوبت اشباع (درصد)	۲۵روز *	۶۰ روز *	۳۶۰ روز
۵۰۰	۴۰	۸۰/۲ a	۳۹/۲ a	۸/۷ a
	۶۰	۵۵/۵ b	۲۸/۲ b	۶/۱ b
۱۰۰۰	۴۰	۴۹ c	۲۶/۸ c	۵/۲ c
	۶۰	۳۷/۱ d	۱۸/۳ d	۳/۹ d
۱۰۰۰۰	۴۰	۱۴/۳ e	۶/۴ e	۱/۲ e
	۶۰	۱۴/۲ e	۵/۹ e	۱/۱ e

* حروف مشابه در هر ستون بین تیمارهای کودی نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد.

جدول-۲- ۵۶- تأثیر مقدار گوگرد عنصری در شرایط رطوبتی بر اکسیداسیون گوگرد در زمان‌های مختلف آنکوباسیون خاک خرقانی

(میکروگرم گوگرد بر سانتی مربع در روز)

گوگرد مصرفی (کیلوگرم درهکتار)	رطوبت اشباع (درصد)	۲۵روز *	۶۰ روز *	۳۶۰ روز
۵۰۰	۴۰	۶۴ a	۱۱ a	۲ a
	۶۰	۲۵ c	۹ a	۱ a
۱۰۰۰	۴۰	۳۶ b	۹ a	۲ a
	۶۰	۲۵ c	۸ a	۱ a
۱۰۰۰۰	۴۰	۹ d	۳ b	۱ a
	۶۰	۷ d	۲ b	۰/۴ a

* حروف مشابه در هر ستون بین تیمارهای کودی نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد.

در این آزمایش مشخص شد که کاهش pH خاک در خاک‌های با بافت شنی نسبت به خاک‌هایی با بافت سنگین تر بیشتر بود که ناشی از مقدار تهویه و اکسیژن بیشتر است که باعث تسریع در اکسیداسیون گوگرد بوسیله ریزجانداران هوازی به سولفات می‌شود. در این خصوص جانزن و بتانی (Janzen and Betany., 1987) گزارش کردند که خاک‌های با بافت‌های رسی دارای مقدار رطوبت بیشتر و تهویه کمتری در مقایسه با خاک‌های درشت بافت می‌باشد. در نتیجه مقدار اکسیداسیون گوگرد در ظرفیت زراعی درخاک‌های رسی در نتیجه انتشار اکسیژن به خلل و فرج خاک کمتر است. نتایج مشابهی بوسیله زهو و همکاران (Zhao *et al.*, 1996) گزارش شده است که درصد گوگرد اکسیده شده در دو خاک با بافت شنی بعد از ۳۸ روز آنکوباسیون در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد بیشتر از دو خاک با بافت رسی بود. این اختلاف در مقدار اکسیداسیون گوگرد و تولید سولفات احتمالاً در نتیجه ایموبیلزاسیون میکروبی می‌باشد. همچنین مشاهده شد، خاک‌هایی که دارای مقدار گوگرد اولیه کمتری می‌باشند مقدار سولفات کمتری در نتیجه اکسیداسیون گوگرد داشتند.

نتایج این آزمایش نشان داد که با کاربرد مقادیر مختلف گوگرد عنصری و افزایش درجه حرارت از ۱۴ به ۳۶درجه سانتی گراد در خاک‌های مورد آزمایش، pH کاهش، هدایت الکتریکی و سولفات محلول افزایش یافت و بین تأثیر تیمارهای مختلف روی صفات اندازه گیری شده، اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد ($p<0.01$) وجود داشت. تغییرات pH، هدایت الکتریکی و سولفات محلول با توجه به خصوصیات آن‌ها در زمان‌های مختلف آنکوباسیون متفاوت بود.

در اغلب خاک‌های مورد آزمایش، بیشترین مقدار کاهش pH و بالاترین مقدار هدایت الکتریکی و سولفات محلول با کاربرد ۱۰۰۰۰ کیلوگرم گوگرد عنصری بود. بیشترین مقدار کاهش pH خاک به ترتیب در سری‌های قاسم خانی و زرینه رود و کمترین مقدار کاهش pH خاک در سری بابل به ترتیب با ۰/۵۶ و ۰/۲۷واحد نسبت به تیمار شاهد بود. همچنین با کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم درهکتار گوگرد عنصری، بیشترین وکمترین مقدار کاهش pH با سری‌های زرینه رود و طالخونچه که به ترتیب ۰/۳۲و ۰/۱۸ واحد نسبت به تیمار شاهد اختلاف داشتند که این ناشی از اکسیداسیون گوگرد و تولید اسید سولفوریک در نتیجه وجود شرایط مناسب برای فعالیت ریزجانداران اکسید کننده گوگرد است.

در این آزمایش مشخص شد که خاک‌های که دارای بافت یکسان دارند، مانند سری‌های مانند سری قاسم خانی با سری‌های رزینه رود و سراجی گناباد، ولی از نظر درصد آهک با هم متفاوت هستند (سری قاسم خانی ۴۵/۸، زرینه رود ۱۸، سراجی گناباد ۱۶/۶ درصد آهک) نشان داد که خاک‌هایی که دارای درصد آهک بیشتری هستند (سری قاسم خانی ۴۵/۸ درصد) تا مقدار ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به خاک‌هایی که دارای درصد آهک کمتری می‌باشند (سری زرینه رود ۱۸ و سراجی گناباد ۱۶/۶ درصد) تغییر pH خاک و سایر فاکتورها در آن کمتر است که این ناشی از خصوصیات بافری خاک و درصد آهک بالاست و تنها در مقدار بیشتر از ۱۰۰۰ کیلوگرم مقدار کاهش pH بیشتر است که در آزمایش اول این تحقیق ثابت شد که تأثیر منفی بر مقدار عناصر غذایی قابل‌استفاده در خاک از جمله فسفات قابل استغاده می‌گذارد.

اگر بدون توجه به سایر خصوصیات، تنها درصد آهک در نظر گرفته شود، مشاهده شد که برای تمام خاک‌ها صدق نمی‌کند. در مورد برخی از خاک‌ها از جمله طالخونچه، شریف آباد، قاسم خانی، قدمگاه و زرینه رود که به ترتیب از روند نزولی درصد آهک برخوردار می‌باشند، صدق می‌کند. ولی در مورد سایر خاک‌ها تبعیت نمی‌کند. بر این اساس نمی‌توان تنها از درصد آهک به عنوان معیاری برای مصرف گوگرد در خاک‌های مختلف استفاده کرد. چون عوامل مختلفی بر اکسیداسیون گوگرد موثرند، لذا باید سایر خصوصیات خاک نیز مد نظر قرار گیرد (جدول ۲-۵۷).

جدول۲- ۵۷- مقایسه میانگین تأثیر مقادیر مختلف گوگرد عنصری در شرایط حرارتی بر pH، هدایت الکتریکی و سولفات محلول خاک قاسم خانی

گوگرد مصرفی (کیلوگرم در هکتار)	درجه حرارت (سانتی گراد)	pH			هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)			سولفات محلول (میلی‌گرم در کیلوگرم)		
		۱۴ روز	۲۸ روز	۴۲ روز	۱۴ روز	۲۸ روز	۴۲ روز	۱۴ روز	۲۸ روز	۴۲ روز
۰	۱۴	۸/۳۱ a	۸/۲۸ a	۸/۲۶ a	۰/۲۶ efg	۰/۲۷ de	۰/۲۸ f	۸۲ b	۹۴ b	۱۱۵b
	۲۵	۸/۲۸ ab	۸/۲۵ ab	۸/۲۳ ab	۰/۲۶ fg	۰/۲۸ de	۰/۲۹ f	۱۳۵ b	۱۴۹ b	۱۷۸b
	۳۶	۸/۲۹ ab	۸/۲۷ a	۸/۲۳ ab	۰/۲۴ g	۰/۲۵ e	۰/۲۷ f	۱۲۸ b	۱۳۱ b	۱۴۵b
۵۰۰	۱۴	۸/۲۷abc	۸/۲۳ abc	۸/۱۸ bc	۰/۲۴ g	۰/۲۸ de	۰/۳۱f	۱۴۸ b	۱۷۱ b	۲۴۶b
	۲۵	۸/۲۰cde	۸/۱۹ abcd	۸/۱۳ cd	۰/۳۴ cde	۰/۳۶ c	۰/۳۸ e	۳۳۱ b	۴۰۴ b	۵۰۵b
	۳۶	۸/۲۳bcd	۸/۱۹ bcd	۸/۱۲ cde	۰/۳۲ def	۰/۳۳ cd	۰/۴۲ e	۲۶۳ b	۲۹۳ b	۳۳۵b
۱۰۰۰	۱۴	۸/۲۲bcd	۸/۱۶ cde	۸/۰۸ de	۰/۳۱defg	۰/۳۴ cd	۰/۴۰ e	۲۶۲ b	۳۳۴ b	۴۲۷ b
	۲۵	۸/۲۰cde	۸/۱۴ de	۸/۰۵ ef	۰/۴۳ b	۰/۴۷ b	۰/۵۴ d	۵۶۰ b	۶۸۲ b	۸۰۶ b
	۳۶	۸/۱۷ de	۸/۰۹ e	۷/۹۹ f	۰/۳۷ bcd	۰/۴۸ b	۰/۶۲ c	۲۹۸ b	۴۴۳ b	۵۰۸ b
۱۰۰۰۰	۱۴	۸/۱۳ e	۸ f	۷/۸۷ g	۰/۴۱ bc	۰/۵۰ b	۰/۵۶cd	۸۳۵ ab	۹۵۵ b	۱۰۲۵ b
	۲۵	۸/۰۳ f	۷/۹۴ f	۷/۶۹ h	۰/۶۱ a	۰/۸۰ a	۱ a	۳۴۳۹ a	۳۸۵۴ a	۴۰۹۳ a
	۳۶	۸/۰۱ f	۷/۸۳ g	۷/۷۱ h	۰/۵۶ a	۰/۷۳۰ b	۰/۸۴ b	۱۴۸۸ab	۱۸۲۰ab	۲۱۹۲ab

* حروف مشابه در هر ستون بین تیمارهای کودی نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد.

با افزایش درجه حرارت از ۱۴ درجه به ۲۵ و ۳۶ درجه سانتی‌گراد در خاک‌های مختلف، pH کاهش و هدایت الکتریکی، سولفات محلول و مقدار اکسیداسیون گوگرد در نتیجه مصرف مقادیر مختلف گوگرد عنصری افزایش یافت و این تغییرات در بعضی از خاک‌ها که دارای آهک بیشتری بودند، تا حدودی کمتر بود. البته در برخی دیگر از خاک‌ها شرایط منفاوت بود که فاکتورهای دیگر نظیر سولفات اولیه و کربن آلی و..تأثیرداشت.

بیشترین مقدار اکسیداسیون با تیمار ۵۰۰ کیلوگرم گوگرد درهکتار بود که در خاک سری قزلز، زرینه رود، دره بید، قاسم خانی و طالخونچه در شرایط حرارتی ۲۵ درجه سانتی‌گراد و در سری قدمگاه، بابل، گناباد و شربف آباد در دمای ۳۶ درجه سانتی‌گراد و در ۱۴ روز آنکوباسیون بود. با افزایش زمان آنکوباسیون، مقدار اکسیداسیون کاهش یافت که ناشی از کاهش فعالیت ریزجانداران اکسیدکننده گوگرد در نتیجه افزایش شوری و خاصیت بافری خاک است (جدول ۵۸ و ۵۹). نتایج این تحقیق با نتایج جانزن و بتانی (Janzen and Bettany, 1987a) ، اولاک و همکاران (Aulakh *et al.*, 2002) و جاجی و همکاران (Jaggi *et al.*, 2005) مطابقت داشت.

جدول۲- ۵۸- مقایسه میانگین تأثیر شرایط حرارتی بر مقدار اکسیداسیون گوگرد عنصری در زمان‌های مختلف آنکوباسیون خاک قزلر (میکروگرم گوگرد بر سانتی مربع در روز)

گوگرد مصرفی	۱۴ روز			۲۸ روز			۴۲ روز		
(کیلوگرم در هکتار)	۱۴ c°	۲۵ c°	۳۶ c°	۱۴ c°	۲۵ c°	۳۶ c°	۱۴ c°	۲۵ c°	۳۶ c°
۵۰۰	۸۸/۵ c	۱۱۵/۷ a	۱۰۲/۸ b	۴۷/۹ c	۷۱/۵ a	۶۳/۷ b	۴۵/۱ c	۶۱/۸ a	۵۱/۷ b
۱۰۰۰	۵۶/۴ e	۷۰/۴ d	۶۱/۱ de	۳۷/۲ d	۴۶/۸ c	۴۰/۴ cd	۲۷/۹ f	۳۶/۹ d	۳۱/۵ e
۱۰۰۰۰	۶/۱ g	۱۸/۵ f	۱۱/۳ fg	۴/۲ e	۱۱ e	۶/۷ e	۳/۶ h	۷/۹ g	۴/۸ h

* حروف مشابه در هر ستون بین تیمارهای کودی نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد

جدول۲- ۵۹- مقایسه میانگین تأثیر شرایط حرارتی بر مقدار اکسیداسیون گوگرد عنصری در زمان‌های مختلف آنکوباسیون خاک قدمگاه (میکروگرم گوگرد بر سانتی مربع در روز)

گوگرد مصرفی	۱۴ روز			۲۸ روز			۴۲ روز		
(کیلوگرم در هکتار)	۱۴ c°	۲۵ c°	۳۶ c°	۱۴ c°	۲۵ c°	۳۶ c°	۱۴ c°	۲۵ c°	۳۶ c°
۵۰۰	۵۹/۶ c	۷۱/۶ b	۱۰۲/۹ a	۳۸ c	۴۲/۸ b	۶۱/۸ a	۱۳/۷ d	۴۷/۶ a	۳۷/۲ b
۱۰۰۰	۴۰/۸ d	۴۳/۹ d	۵۶/۱ c	۲۲/۶ e	۲۵/۶ d	۳۸/۱ c	۱۰/۹ d	۲۶/۵ c	۲۳/۵ c
۱۰۰۰۰	۱۸/۳ e	۱۸/۹ e	۱۹/۸ e	۹/۶ f	۹/۹ f	۱۰/۴ f	۱/۷ e	۸/۵ de	۳/۹ ed

* حروف مشابه در هر ستون بین تیمارهای کودی نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که خاک‌های مختلف واکنش‌های متفاوتی از لحاظ کاهش pH خاک، افزایش شوری، سولفات محلول و حلالیت عناصر غذایی را در شرایط مختلف رطوبتی و در زمان‌های مختلف آنکوباسیون نسبت به مصرف مقادیر مختلف گوگرد عنصری از خود نشان دادند که این ناشی از متفاوت بودن خصوصیات این خاک‌ها (مانند مقدار آهک، مقدار سولفات اولیه و بافت خاک) می‌باشد. در اغلب خاک‌های مورد آزمایش بین تأثیر مقادیر تیمارهای مختلف گوگرد عنصری در شرایط مختلف رطوبتی (۴۰ و ۶۰ درصد رطوبت اشباع نسبی) بر pH، هدایت الکتریکی، فسفات، سولفات محلول، آهن و روی قابل‌استفاده در سطح یک درصد اختلاف معنی-داری ($p<0.01$) وجود داشت که حاکی از تأثیر مثبت کاربرد گوگرد در خاک‌های مورد آزمایش بود.

بیشترین مقدار کاهش pH و بالاترین مقدار هدایت الکتریکی، سولفات محلول، آهن و روی قابل استفاده با کاربرد ۱۰۰۰۰ کیلوگرم گوگرد عنصری در شرایط رطوبتی ۴۰ درصد بود، ولی بیشترین مقدار فسفات قابل استفاده با ۱۰۰۰ کیلوگرم درهکتار بود. رطوبت مناسب برای انجام فعالیت ریزجانداران اکسید کننده گوگرد نزدیک ظرفیت زراعی است و با افزایش مقدار رطوبت بیشتر از ظرفیت زراعی فعالیت ریزجانداران اکسید کننده گوگرد کاهش و اثر بخشی گوگرد کمتر خواهد بود که نتایج این تحقیق آن را تائید می‌کند.. در سری خاک‌های

عطیس، ابراهیم آباد، علی عگذه، جذوشی، سروستان و لنجان که عمدتاً مربوط به استان‌های بوشهر و خوزستان می‌باشند، به علت بالابودن شوری خاک، درصد آهک و مقدار سولفات قابل جذب خاک، کاربرد مقادیر مختلف گوگرد عنصری در شرایط مختلف رطوبتی تأثیری برخصوصیات شیمیایی خاک نداشته و قابل توجه نبود. چنین استنباط گردید که در برخی از خاک‌ها هر چه مقدار درصد کربنات کلسیم کل بیشتر بود، کاهش pH خاک ناشی از افزودن گوگرد عنصری کمتر بود و بعد از مدتی دوباره بسته به درصد کربنات کلسیم کل به دلیل ظرفیت بافری خاک، شروع به افزایش و نزدیک شدن به حالت اولیه نمود. در برخی از خاک‌های دیگر به عنوان مثال در سری شورجه (دارای ۳۸ درصد آهک کل) در مقایسه با سری ساحل (دارای ۲۱درصد آهک کل)، علی-رغم بالابودن مقدار آهک کل، مشاهده شد که مقدار کاهش pH و افزایش عناصر غذایی در آن بیشتر بود و این بیانگر آن است که علاوه بر درصد آهک، سایر خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک، نیز در اثر بخشی گوگرد مؤثر و باید لحاظ شوند.

در اغلب خاک‌های مورد آزمایش آهن و روی قابل استفاده، به طور معنی‌داری با افزایش کاربرد گوگرد عنصری از ۵۰۰ تا ۱۰۰۰۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت که دامنه تغییرات آنها متغییر است که این ناشی از متفاوت بودن خصوصیات این خاک‌ها بود و به‌طورکلی نمی‌توان برای تمام خاک‌های زراعی توصیه واحدی ارائه نمود. همچین مقدار فسفات قابل استفاده در بیشترخاک‌ها، با کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار همراه با باکتری تیوباسیلوس بود. بیشترین مقدار اکسیداسیون گوگرد در خاک‌های مورد آزمایش به استثنای خاک‌های شور، با تیمار کودی ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد عنصری در شرایط ۴۰ درصد رطوبت اشباع نسبی و دوره آنکوباسیون ۲۵ روز بود.

در این تحقیق پیش‌بینی تغییرات pH، هدایت الکتریکی، فسفات و سولفات محلول، آهن، روی قابل استفاده و مقدار اکسیداسیون گوگرد را در شرایط مختلف رطوبتی با کاربرد مقادیر گوگرد مصرفی و در زمان‌های مختلف آنکوباسیون، با استفاده از یک سری از معادلات بدست آمد که می‌تواند برای توصیه کودی گوگردی در شرایط مختلف رطوبتی استفاده شود و تغییرات این پارامترها را پیش‌بینی کرد که در گزارش تفصیلی به آن‌ها اشاره شده است..

نتایج بخش دوم این تحقیق نشان داد که با کاربرد مقادیر مختلف گوگرد عنصری و افزایش درجه حرارت از ۱۴ به ۳۶درجه سانتی‌گراد در خاک‌های مورد آزمایش، pH کاهش، هدایت الکتریکی، سولفات محلول و مقدار اکسیداسیون گوگرد افزایش یافت. در تمام خاک‌های مورد آزمایش بیشترین مقدار اکسیداسیون با تیمار کودی ۵۰۰ کیلوگرم درهکتار در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و دوره ۱۴ روزه بود. این بیانگر آن است که اکسیداسیون

و در نتیجه اثر بخشی گوگرد در مناطقی که در موقع نیاز گیاهان دمای محیط بین ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی گراد است، بیشتر می‌باشد.

عبارت دیگر تأثیر پذیری محصولات زراعی از گوگرد در محصولات بهاره مانند دانه‌های روغنی آفتابگردان و یا ذرت بیشتر از محصولات زمستانه مانند گندم است. نتایج نشان داد که با مصرف گوگرد عنصری بیشتر از ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار چه در شرایط رطوبتی (۴۰ یا ۶۰ درصد اشباع نسبی) و یا شرایط مختلف حرارتی (۱۴، ۲۵ و ۳۶ درجه سانتی‌گراد) در خاک‌های مختلف، مقدار اکسیداسیون گوگرد کاهش یافت که حاکی از توصیه غیر معقول و از لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه نمی‌باشد.

در بخش دوم این تحقیق پیش‌بینی تغییرات pH، هدایت الکتریکی، سولفات محلول و مقدار اکسیداسیون گوگرد را در شرایط مختلف حرارتی و مقادیرکاربرد گوگرد مصرفی و در زمان‌های مختلف آنکوباسیون با استفاده از یک سری از معادلات بدست آمد که می‌تواند برای توصیه کودی گوگردی در شرایط مختلف حرارتی استفاده شود و تغییرات این پارامترها را پیش‌بینی کرد که در گزارش تفصیلی به آن‌ها اشاره شده است.

جمع بندی نهایی

* بیشترین مقدار کاهش pH خاک و افزایش هدایت الکتریکی، سولفات محلول و عناصر غذایی با کاربرد مقادیر مختلف گوگرد در شرایط رطوبتی ۴۰ درصد رطوبت اشباع بود.
* در اغلب خاک‌های بررسی شده، بیشترین مقدار فسفات قابل استفاده با کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار بدست آمد.
* بیشترین مقدار کاهش pH خاک و افزایش هدایت الکتریکی و سولفات محلول در درجه حرارت ۳۶ درجه سانتی گراد بود.
* بیشترین مقدار اکسیداسیون گوگرد در شرایط رطوبتی و حرارتی مختلف با کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار بود.
* از لحاظ اقتصادی کاربرد ۱۰۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار، برای خاک‌های آهکی مناسب نمی‌باشد.
* برای پیش بینی تغییرات pH، هدایت الکتریکی، عناصر غذایی، سولفات و مقدار اکسیداسیون با کاربرد مقادیر مختلف گوگرد و در شرایط رطوبتی و حرارتی مختلف، یک سری معادله با توجه به داده‌های این پژوهش و با استفاده از ترم افزار آماری SPSS تعیین شد.

* مصرف گوگرد در خاک‌های گچی، در شالیزارهای شمال کشور و در خاک‌هایی که دامنه حد بحرانی گوگرد با روش توربیدیمتری بیشتر از ۲۵ تا ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد، قابل توصیه نمی باشد.
* از مصرف گوگرد مذاب در خاک‌های زراعی جدداً خودداری شود، زیرا در محلول خاک به‌صورت پودر در نمی آیند. کاربرد گوگرد مذاب، فقط در تولید اسید سولفوریک می‌باشد.
* برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد خاک‌های گچی به منابع مختلف از جمله کتاب خاک‌های گچی (ویژگی وکاربرد)، نویسنده آقای دکتر نوایر تومانیان دانشیار محترم مرکز تحقیقات، آموزش و منابع طبیعی استان اصفهان مراجعه فرمایید.

پیشنهادها

* با توجه به نتایج بدست آمده، مصرف گوگرد تا حدود ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار باشد.
* استفاده از معادلات بدست آمده در این تحقیق برای پیش‌بینی تغییرات pH، هدایت الکتریکی، عناصر غذایی، سولفات و مقدار اکسیداسیون گوگرد با کاربرد مقادیر مختلف گوگرد در شرایط رطوبتی و حرارتی مختلف.
* کاربرد مقدار بیشتر از ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به علت افزایش شوری، کاهش مقدار فسفات قابل استفاده، مشکلات زیست محیطی و مقرون به صرفه نبودن از لحاظ اقتصادی، قابل پیشنهاد نمی‌باشد.
* در توصیه کود گوگرد علاوه بر مقدار کربنات کلسیم، سایر خصوصیات خاک نظیر مقدار سولفات قابل جذب اولیه خاک، درصد کربن آلی، هدایت الکتریکی و بافت خاک نیز در نظر گرفته شود.
* نتایج این پژوهش شامل خاک‌های شور نمی‌شود، لذا تحقیقات بیشتری در باره کاربرد گوگرد در این خاک‌ها پیشنهاد می‌شود.

۵-۴-۲- امکان سنجی اضافه نمودن باکتری‌های اکسید کننده گوگرد در مراحل تولید و مصرف گوگرد بنتونیتی

هدف از این فعالیت مطالعه، بررسی امکان پذیری و نحوه افزایش باکتری به گوگرد بنتونیتی می‌باشد که در قالب فعالیت‌های ذیل صورت می‌گیرد.

I. جداسازی و شناسایی تیوباسیلوس‌های هالوفیل (هالوتیوباسیل‌ها) اکسید کننده گوگرد از نمونه‌های خاک و آب ایران.

II. جداسازی و شناسایی باسیلوس‌های گرم مثبت اسپوردار اکسید کننده گوگرد از نمونه‌های خاک و آب ایران.

III. بررسی تأثیر مواد افزودنی در افزایش ماندگاری باکتری‌های اکسید کننده گوگرد و پوشش‌دهی گرانول‌های گوگرد با باکتری‌های فرموله شده.

۱-۵-۴-۲- نتایج فعالیت‌های اول و دوم

"جداسازی و شناسایی تیوباسیلوس‌های هالوفیل (هالوتیوباسیل‌ها) اکسید کننده گوگرد از نمونه‌های خاک و آب ایران"

"جداسازی و شناسایی باسیلوس‌های گرم مثبت اسپوردار اکسید کننده گوگرد از نمونه‌های خاک و آب ایران"

۲-۴-۵-۱-۱- آنالیز فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها:

در این مرحله، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی برخی از نمونه‌های خاک و رسوب، نظیر pH ، EC محلول اشباع، بافت خاک و ... در جدول ۳۹۴ آورده شده است.

جدول۲- ۶۰- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی برخی از نمونه‌های خاک و رسوب

شماره نمونه	بافت خاک	EC عصاره اشباع (dsm^{-1})	مجموع کاتیون ها و آنیون ها (meq/l)	pH گل اشباع	درصد مواد خنثی شونده	کربنات	بی کربنات (mg/l)	سدیم (mg/l)
اردبیل (آب گرم ساری سو)	-	۱۳۰/۲	۱۳۰۲	۰/۲۸	-	۰	۰	۱۷۵۵۰
اردبیل (آب گرم سرعین)	-	۸۵	۸۵۰	۰/۴۸	-	۰	۰	۱۱۲۵۰
اردبیل (آب گرم قینرجه)	-	۱۱۲	۱۱۲۰	۷/۳	-	۰	۲۷	۱۴۰۵۰
اصفهان	فولکوله	*۱۳,۳۴	۱۳۳/۴	۷,۲	۲۸,۹	۰	۲۴	۳۹۵۶۰
اصفهان	فولکوله	۱۰,۱۵	۱۰۱/۵	۷,۲	۴۳,۷	۰	۷۳	۲۳۰۰۰
هشتگرد	C	۱۰۷,۴	۱۰۷۴	۷,۷	۱۹,۸	۰	۶۱	۱۵۴۱۰
هشتگرد	C	۱۱۷,۳	۱۱۷۳	۷,۸	۱۹,۸	۰	۷۳	۱۷۲۵۰
سمنان	فولکوله	*۲۳,۱	۲۳۱	۷,۲	۱۲,۱	۰	۲۴	۷۷۷۴۰
سمنان	فولکوله	۱۷,۱۱	۱۷۱/۱	۶,۸	۱۹,۶	۰	۱۲۲	۸۶۹۴۰
اهواز	Si-C	۳۲,۹	۳۲۹	۷,۵	۴۱,۹	۰	۱۴۶	۴۱۴۰
اهواز	C	۳۶,۵	۳۶۵	۷,۴	۴۲,۸	۰	۱۳۴	۱۸۳۰
تبریز	C-L	۱۶۲,۴	۱۶۲۴	۷,۹	۱۶,۶	۰	۱۲۲	۱۸۰۰
تبریز	C	*۱۵,۳	۱۵۳	۷,۹	۱۵,۸	۰	۲۲۰	۲۰۰۰
تبریز	L	۷۶,۲	۷۶۲	۷,۸	۵,۹	۰	۱۴۶	۱۴۴۰
لرستان	Si-C	۵,۸۹	۵۸/۹	۷,۶	۵۰,۱	۰	۲۵۶	۴۰۰

EC*:در رقت ۱/۲۵ عصاره اشباع قرائت شده است.

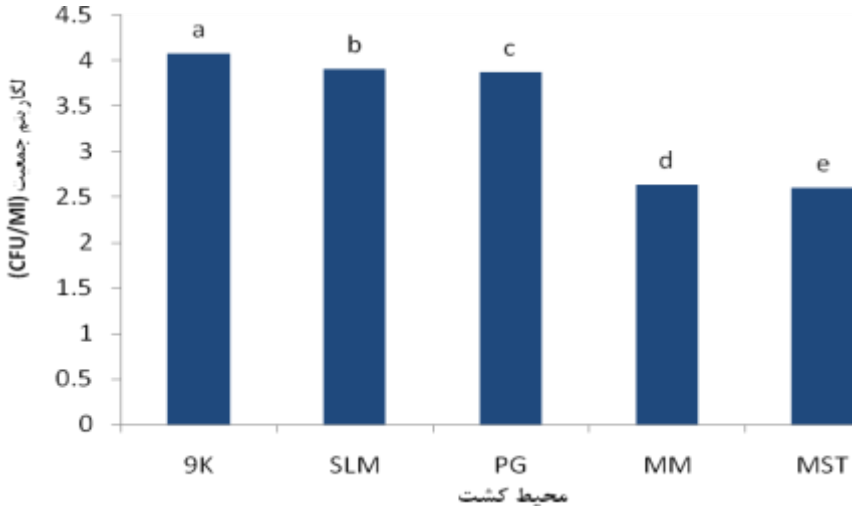
۲-۴-۵-۱-۲- بهینه‌سازی محیط کشت، غربالگری و جداسازی باکتری‌های اکسید کننده گوگرد:

بر اساس نتایج جدول ۶۱، به دست آمده از مقایسه محیط‌های کشت، نهایتا محیط کشت9K به دلیل بیشتر بودن تعداد و تنوع باکتری‌های اکسید کننده گوگرد جدا شده از آن به عنوان مناسب ترین محیط کشت و جهت ادامه آزمایش‌های بعدی بر روی آن انتخاب شد.

جدول۲- ۶۱- تجزیه واریانس تأثیر نوع محیط کشت بر روی جمعیت باکتری‌های جداسازی شده از نمونه

منبع	درجه آزادی	میانگین مربعات
باکتری	۹	۱۱/۶۴**
محیط کشت	۴	۱۶/۳۱**
باکتری* محیط کشت	۳۶	۲/۲**
خطا	۱۰۰	۰/۲۶
ضریب تغییرات		۱/۵

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.



شکل شماره ۲-۷۳- نمودار لگاریتم جمعیت ایزوله‌های جداسازی از پنج محیط کشت متفاوت. حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد ندارند.

علاوه بر این بر اساس نتایج غربالگری و جداسازی نهایتا ۵۰ ایزوله از نمونه‌ها به دست آمد که فقط ۴۰ ایزوله قادر به تغییر رنگ معرف در کمتر از یک هفته بوده که همگی مورد رنگ‌آمیزی گرم قرار گرفتند. از این بین نه تنها هیچکدام با ویژگی‌های باکتری جنس باسیلوس مطابقت نداشتند بلکه فقط ۲۸ ایزوله از لحاظ ظاهری با باکتری‌های جنس هالوتیوباسیل (میله‌ای کوتاه و گرم منفی) مطابقت داشته، که آزمون‌های بعدی بر روی آن‌ها انجام شد.

۲-۴-۵-۱-۳- خصوصیات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ایزوله‌ها:

همانطور که در جدول ۶۲ آمده است، تمامی ایزوله‌های مورد نظر میله‌ای کوتاه و گرم منفی بوده اما از لحاظ سایر خصوصیات مانند تحرک، احیای نیترات، رشد در غلظت‌های مختلف نمک، استفاده از منبع قندی و منابع مختلف گوگرد متفاوتند.

جدول۲- ۶۲- برخی از خصوصیات بیوشیمیایی ایزوله‌ها

ایزوله	شکل	نوع گرم	تحرک	احیای نیترات	رشد هتروتروفی	میزان افت pH	رشد در غلظت‌های مختلف نمک		رشد در منابع مختلف گوگرد			
							نیم مولار	**یک مولار**	**تیوسولفات**	**گوگرد عنصری**	**تیوسیونات**	تتراتیونات
۱	Rod	–	+	–	+	۱/۵۸	+	–	+	+	–	–
۲	Rod	–	+	–	+	۱/۴۸	+	–	+	+	–	–
۳	Rod	–	+	–	+	۲	+	–	+	–	–	–
۴	Rod	–	+	+	+		+	–	+	–	–	–
۵	Rod	–	+	+	–	۳/۵۲	+	–	+	+	–	–
۶	Rod	–	+	–	+	۸	–	–	+	+	–	–
۷	Rod	–	+	–	–	۱/۴۴	+	–	+	–	–	+
۸	Rod	–	+	–	+	۲/۴۳	+	–	+	+	–	–
۹	Rod	–	–	+	–	۰/۹۳	+	–	+	–	–	–
۱۰	Rod	–	–	+	+	۱	+	–	+	–	–	–
۱۱	Rod	–	–	–	+	۱/۲	+	–	+	+	–	+
۱۲	Rod	–	–	+	=	۰/۹	–	–	+	–	–	–
۱۳	Rod	–	+	–	+	۰/۸۹	+	–	+	+	–	+
۱۴	Rod	–	+	–	–	۱/۲	+	–	+	+	–	–

ادامه جدول۲ -۶۲

ایزوله	شکل	نوع گرم	تحرک	احیای نیترات	رشد هتروتروفی	میزان افت pH	رشد در غلظت‌های مختلف نمک		رشد در منابع مختلف گوگرد			
							نیم مولار	**یک مولار**	**تیوسولفات**	**گوگرد عنصری**	**تیوسیونات**	تتراتیونات
۱۵	Rod	–	+	–	+	۲/۱۳	+	–	+	–	–	–
۱۶	Rod	–	-	–	+	۰/۳۴	+	–	+	–	–	–
۱۷	Rod	–	+	+	+	۰/۰۸	+	–	+	–	–	–
۱۸	Rod	–	+	+	–	۲/۵	+	–	+	+	–	–
۱۹	Rod	–	+	–	–	۳/۴۴	+	+	+	+	–	+
۲۰	Rod	–	+	–	–	۴/۲۱	+	+	+	+	–	+
۲۱	Rod	–	+	–	–	۳/۴۱	+	+	+	+	–	+
۲۲	Rod	–	+	+	–	۰/۹۱	+	–	+	+	–	–
۲۳	Rod	–	+	+	–	۱	+	–	+	–	–	–
۲۴	Rod	–	+	+	–	۱	–	–	+	+	–	+
۲۵	Rod	–	+	+	–	۱/۲۳	–	–	+	–	–	+
۲۶	Rod	–	+	+	–	۱/۴۵	–	–	+	–	–	–
۲۷	Rod	–	+	+	–	۰/۳۷	–	–	+	–	–	–
۲۸	Rod	–	+	+	–	۱/۶۸	–	–	+	–	–	–

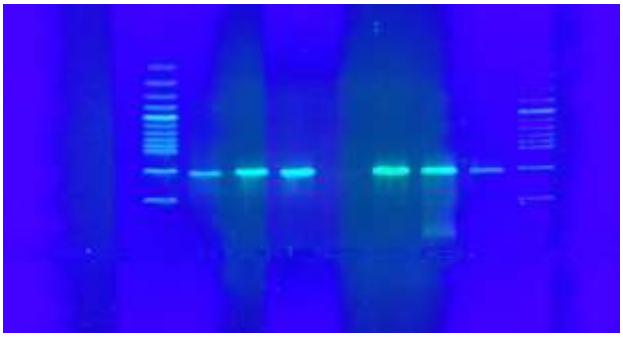
جدول۲- ۶۳- مقدار سولفات تولیدی هر ایزوله در غلظت‌های مختلف نمک کلرید سدیم

شماره ایزوله	غلظت نمک			میانگین غلظت سولفات (میلی‌گرم بر لیتر)
	صفر مولار	نیم مولار	یک مولار	
۱	۲۶۰/۳۲	۱۹۳/۴	۰	۲۲۶/۸۶
۲	۳۷۴/۰۸	۹۵/۹۴	۰	۲۳۵
۳	۳۵۳/۹۱	۲۲۰/۱۹	۰	۲۸۷/۰۵
۴	۱۸۷/۴۷	۲۹۳/۴۸	۰	۲۴۰/۴۸
۵	۴۳۲/۸۱	۲۲۷/۴	۰	۳۳۰/۱۱
۶	۶۵/۹۸	۰	۰	۶۵/۹۸
۷	۱۲۲/۲۱	۱۳۶/۹۳	۰	۱۲۹/۵۷
۸	۱۰۸/۵۵	۲۲۷/۵	۰	۱۶۸/۰۳
۹	۱۲۹/۸۴	۱۲۶/۶۸	۰	۱۲۸/۲۶
۱۰	۴۱/۵	۱۴۶/۹۱	۰	۹۴/۲
۱۱	۶۰۵/۸۲	۹۲/۷۵	۰	۳۴۹/۲۹
۱۲	۶۲/۵۳	۰	۰	۶۲/۵۳
۱۳	۱۸۶/۱	۷۳/۹۶	۰	۱۳۰/۰۳
۱۴	۳۳۴/۷	۲۴۳/۲۲	۰	۲۸۸/۹۶
۱۵	۸۶/۴	۱۴۵/۵۴	۰	۱۱۵/۹۷
۱۶	۱۳۷/۴۵	۱۹۱/۷	۰	۱۶۴/۵۸
۱۷	۲۳۴/۳۳	۱۵۲/۲۷	۰	۱۹۳/۳
۱۸	۱۳۵۹/۷	۲۴۵/۶۳	۰	۸۰۲/۶۷
۱۹	۳۷۴/۷۹	۱۰۰۲/۱	۹۵۵/۹۴	۸۲۲/۲
۲۰	۴۸۷/۵۳	۱۴۲۷/۵۱	۱۰۴۶/۵۹	۹۸۷/۲۱
۲۱	۳۲۴/۲۳	۳۰۶/۲۸	۲۷۳/۱۵	۳۰۱/۲۲
۲۲	۵۲۴/۱۷	۷۸/۱	۰	۳۰۱/۱۴
۲۳	۱۰۱۴/۱	۴۸۲/۲۶	۰	۷۴۸/۱۸
۲۴	۸۸/۵۱	۰	۰	۸۸/۵۱
۲۵	۳۹۲/۳۴	۰	۰	۳۹۲/۳۴
۲۶	۹۶۷/۲۸	۰	۰	۹۶۷/۲۸
۲۷	۵۶/۹۸	۰	۰	۵۶/۹۸
۲۸	۹۵۶/۵۴	۰	۰	۹۵۶/۵۴

بر اساس نتایج ۶۳ ، بیشترین مقدار میانگین سولفات تولید شده در محیط به ترتیب از طریق ایزوله‌های شماره ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۳، ۲۶، ۲۸ بوده است. اما از آنجا که ایزوله‌های هدف در این مطالعه تیوباسیلوس‌های شورپسند می‌باشند، و تیوباسیلوس‌ها توان احیای نیترات را ندارند، تنها ایزوله‌های شماره ۱۹ و ۲۰ و همینطور ایزوله ۲۱

(قادر به اکسیداسیون در غلظت یک مولار نمک و عدم احیای نیترات) به عنوان ایزوله‌های برتر مورد شناسایی مولکولی و مطالعات بعدی قرار گرفتند. این ایزوله ها به ترتیب (۱۹، ۲۰ و ۲۱) با شماره های:

I20 (*Halothiobacillus neapolitanus*)، I21 (*Halothiobacillus neapolitanus*) و I23 (*Halothiobacillus neapolitanus*) در بانک جهانی ژن ثبت شدند.



شکل۲-۷۴- تصویر ژل مربوط به شناسایی مولکولی ایزوله‌های هدف.

۲-۴-۵-۱-۴-محدودیت ها و مطلوبیت های دما، pH و شوری ایزوله‌های منتخب:

جدول۲- ۶۴- محدودیت‌ها و مطلوبیت‌های دما، pH و شوری ایزوله‌های منتخب

ویژگی	شماره ایزوله	
	I23	**I20/I21**
دمای اپتیمم	۳۰-۲۸	۳۰-۲۸
دمای محدود کننده	۱۶>	۲۰>
pH اپتیمم	۷-۷/۵	۶/۷-۵/۵
pH محدود کننده	۲/۵>	۳>
اپتیمم غلظت نمک	۰/۵	۰/۵
غلظت نمک محدود کننده	۱<	۱<

بر اساس نتایج جدول ۶۴، ویژگی‌های بسیار مشابه دو سویه I21 و I20 و همینطور افت شدید توانایی سویه I20 در اکسیداسیون گوگرد در غلظت یک مولار نمک، در مطالعات گرمخانه‌ای تنها از دو سویه I21 و I23 استفاده شد.

۲-۴-۵-۱-۵-نتایج آزمون گرمخانه ای:

جدول۲- ۶۵- آنالیز خاک زراعی مورد استفاده در آزمون گرمخانه‌ای

بافت خاک	Mn	Cu	Zn	Fe	P	K	N	OC	PH	EC
	میلی گرم بر کیلوگرم (قابل استفاده)						درصد			($dS.m^{-1}$)
کلی لوم	۵/۲	۱/۹۲	۱/۸۲	۲/۲	۴/۵	۲۳۴	۰/۰۶	۰/۶۲	۸/۲	۱۹/۱

جدول۲- ۶۶- آنالیز واریانس تاثیر تیمارها بر میانگین EC ، pH و غلظت سولفات تولیدی در ماه اول انکوباسیون خاک

منبع	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		EC	pH	غلظت سولفات
باکتری	۳	۱/۲۴*	۵/۲۵*	۷۱۹۹۵۲۹/۰۲*
شوری	۲	۲۹۹/۸۹*	۱/۰۵*	۱۰۱۴۱۸۰/۰۳*
گوگرد	۲	۱/۶۷*	۶/۹۶*	۷۲۷۶۴۲۶/۶۶*
باکتری* شوری	۶	۰/۳۶*	۱/۱۹*	۱۵۱۳۲۱۲/۹۵*
باکتری* گوگرد	۶	۰/۲۹*	۱/۲۸*	۱۴۹۹۵۵۳/۱۳*
شوری* گوگرد	۴	۰/۱۶*	۰/۳۸*	۲۱۲۲۶۹/۷۵*
باکتری*شوری*گوگرد	۱۲	۰/۰۸۷*	۰/۴۴*	۳۱۶۰۵۵/۶۶*
خطا	۷۲	۰/۹	۰/۱۵	۲۹۳۶
ضریب تغییرات		۷/۳	۵/۵	۹/۵

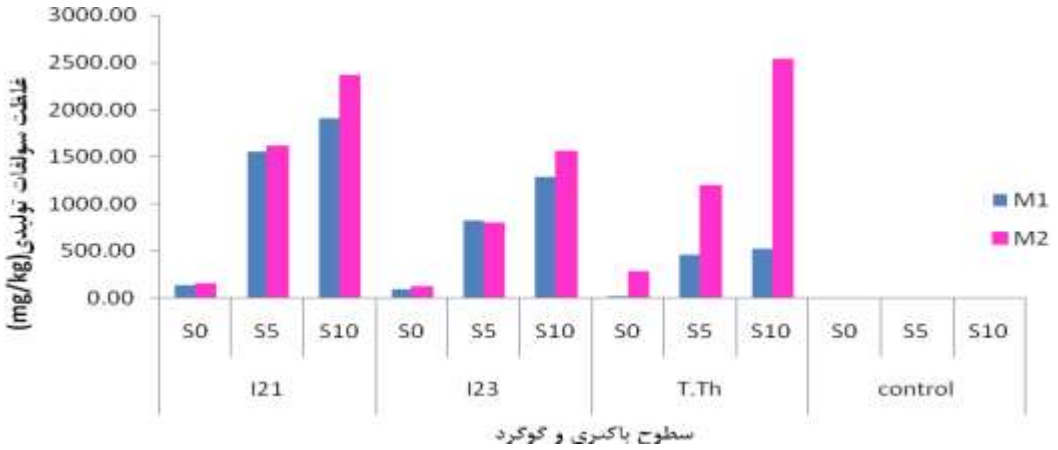
*: معنی‌دار بودن در سطح پنج درصد.

جدول۲- ۶۷- آنالیز واریانس تاثیر تیمارها بر میانگین EC ، pH و غلظت سولفات تولیدی در ماه دوم انکوباسیون خاک

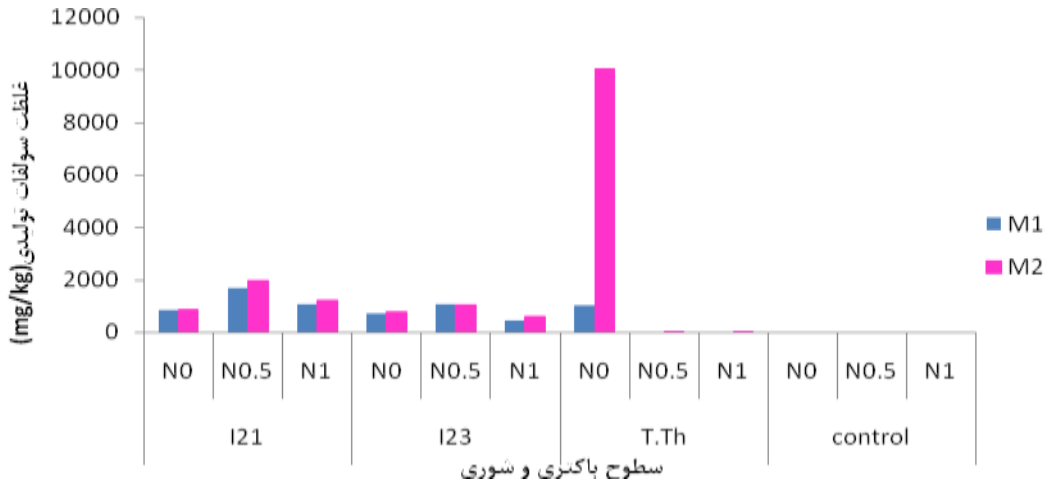
منبع	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		EC	pH	غلظت سولفات
باکتری	۳	۱/۶۹*	۷/۰۶*	۵۶۰۲۰۴۳۵/۱*
شوری	۲	۲۹۳/۰۲*	۱/۱۸*	۶۵۴۳۳۴۸۰/۹*
گوگرد	۲	۲/۱۹*	۸/۷۷*	۴۵۵۸۹۰۸۲/۸*
باکتری* شوری	۶	۰/۵۷*	۱/۶۷*	۷۹۸۱۶۳۹۳/۷*
باکتری* گوگرد	۶	۰/۳۵*	۱/۴۱*	۱۲۲۵۳۰۵۱/۴*
شوری* گوگرد	۴	۰/۲۴*	۰/۲۹*	۱۴۶۰۰۲۷۹/۱*
باکتری*شوری*گوگرد	۱۲	۰/۱۳*	۰/۴۴*	۱۷۴۳۰۱۶۹/۸*
خطا	۷۲	۰/۸۴	۰/۹۷	۹۲۸۵
ضریب تغییرات		۱/۵	۱/۲۸	۶/۸۸

*: معنی‌دار بودن در سطح پنج درصد.

بر اساس نتایج جداول ۶۶ و ۶۷ ، تأثیر تمامی تیمارهای باکتری (چهار سطح (I21, I23, *Thiobacillus.Thiooxidans* و control)، شوری (سه سطح)، گوگرد (سه سطح) و همینطور اثر متقابل آن‌ها بر روی تغییرات هر سه فاکتور EC، pH و غلظت سولفات قابل جذب خاک در هر دو ماه در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است.

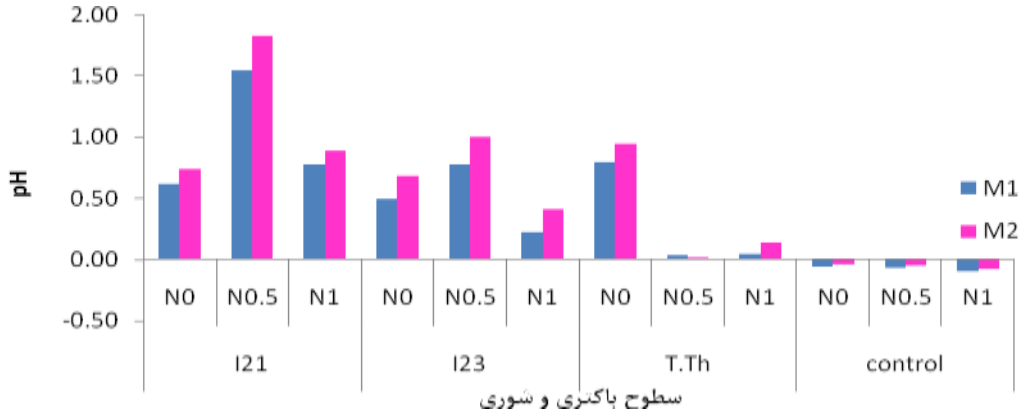


شکل شماره ۲-۷۵- نمودار تأثیر تیمارهای باکتری و گوگرد بر روی غلظت سولفات قابل جذب در خاک. S0: گوگرد صفر درصد، S5: گوگرد پنج درصد و S10: گوگرد ده درصد. M1 و M2: به ترتیب ماه اول و دوم انکوباسیون.



شکل ۲-۷۶- نمودار تأثیر تیمارهای باکتری و شوری بر روی غلظت سولفات قابل جذب در خاک. N0: شوری صفر مولار، N0.5: شوری نیم مولار و N1: شوری یک مولار. M1 و M2: به ترتیب ماه اول و دوم انکوباسیون.

در تمامی تیمارهای باکتری به جز کنترل، افزایش درصد گوگرد (۱۷۴-۲) و شوری (۱۷۵-۲) هر کدام به طور جداگانه در خاک منجر به افزایش غلظت سولفات محلول پس از هر دو دوره انکوباسیون شده اند.



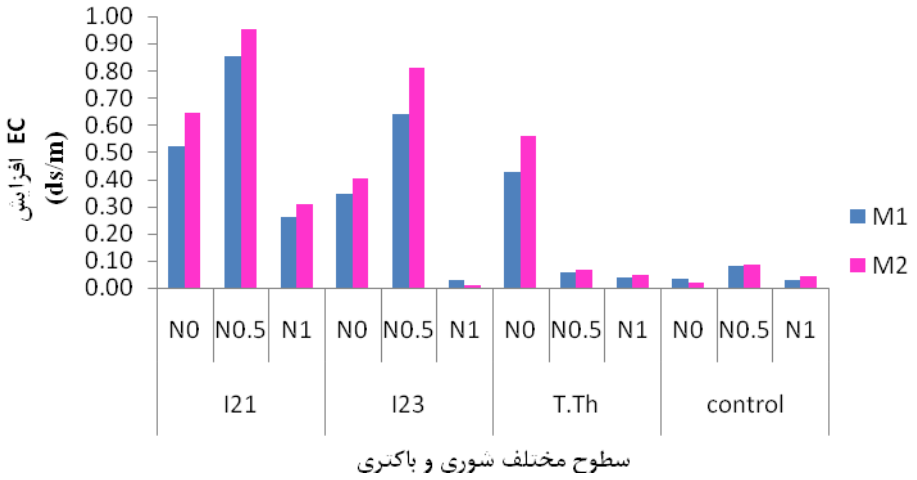
شکل ۲-۷۷- نمودار تأثیر تیمارهای باکتری-شوری بر روی تغییرات pH خاک. N0: شوری صفر مولار، N0.5: شوری نیم مولار و N1: شوری یک مولار. M1 و M2: به ترتیب ماه اول و دوم انکوباسیون.

شکل ۲- ۷۸- نمودار اثر متقابل باکتری-شوری بر روی تغییرات pH خاک. N0: شوری صفر مولار، N0.5: شوری نیم مولار و N1: شوری یک مولار. M1 و M2: به ترتیب ماه اول و دوم انکوباسیون.

با افزایش میزان شوری از ۰ به ۰,۵ مولار، تنها در تیمارهای شورپسند I21 و I23 ، pH خاک کاهش یافته است. همچنین با افزایش درصد گوگرد، افت pH خاک افزایش یافته است. بیشترین میزان افت در تمام تیمارها مربوط به سطح گوگرد ۱۰ درصد بوده است.

شکل ۲-۷۹- نمودار اثر متقابل گوگرد-شوری بر روی تغییرات pH خاک. N0: شوری صفر مولار، N0.5: شوری نیم مولار و N1: شوری یک مولار.:S0 گوگرد صفر درصد، S5: گوگرد پنج درصد و S10: گوگرد ده درصد. M1 و M2: به ترتیب ماه اول و دوم انکوباسیون.

با افزایش میزان گوگرد از ۰ به ۱۰ درصد، در تمامی تیمارهای شوری افت pH افزایش یافته است. بیشترین میزان افت در تیمارهای نیم مولار و سطح ۱۰ درصد گوگرد بوده است (نمودار ۲-۷۹).



شکل ۲-۸۰- نمودار اثر متقابل باکتری-شوری بر روی تغییرات EC خاک. N0: شوری صفر مولار، N0.5: شوری نیم مولار و N1: شوری یک مولار. M1 و M2: به ترتیب ماه اول و دوم انکوباسیون.

شکل ۲- ۸۱- نمودار اثر متقابل باکتری-گوگرد بر روی تغییرات EC خاک. S0: گوگرد صفر درصد، S5: گوگرد پنج درصد و S10: گوگرد ده درصد. M1 و M2: به ترتیب ماه اول و دوم انکوباسیون.

با افزایش شوری از صفر به نیم مولار، میزان اکسیداسیون گوگرد، تولید نمک‌های سولفاته و نهایتا افزایش شوری در تیمارهای شور پسند I21 و I23 بیشتر بوده است. بر خلاف تیمار شاهد مثبت (T.Th) شوری بیش از نیم مولار تأثیر منفی بر تمامی تیمارها داشته است (نمودار ۲-۸۰). همچنین با افزایش سطح گوگرد در تمامی تیمارهای باکتری، میزان اکسیداسیون گوگرد، تولید نمک های سولفاته و نهایتا شوری خاک افزایش یافته است (نمودار ۲-۸۱).

نهایتا با افزایش سطح گوگرد در تمامی تیمارهای شوری، میزان اکسیداسیون گوگرد، تولید نمک‌های سولفاته و نهایتا شوری خاک افزایش یافته است (نمودار ۲-۸۲).

شکل ۲-۸۲- نمودار اثر متقابل شوری-گوگرد بر روی تغییرات EC خاک. S0: گوگرد صفر درصد، S5: گوگرد پنج درصد و S10: گوگرد ده درصد. M1: شوری نیم مولار و N1: شوری یک مولار. M2: به ترتیب ماه اول و دوم انکوباسیون.

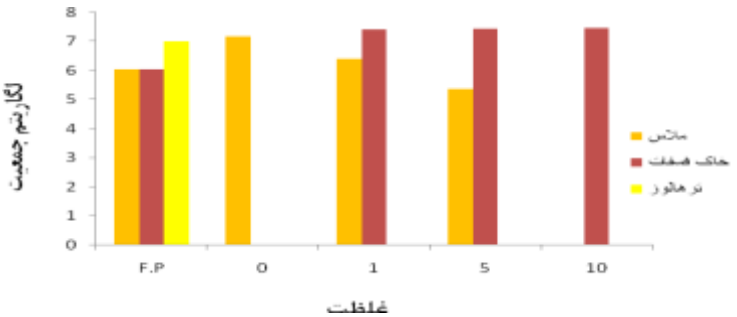
نهایتا قابل ذکر است که در تمام تیمارهای باکتری افزایش سطح گوگرد منجر به افزایش میزان سولفات تولیدی شده است. افزایش شوری از صفر به نیم مولار منجر به کاهش ۹۹/۶ درصدی میزان اکسیداسیون

گوگرد و سولفات تولیدی در تیمار T. Th و افزایش ۵۴/۶ و ۲۳ میزان تولید سولفات در تیمار با سویه های شورپسند I21 و I23 شده است. افزایش شوری خاک از صفر به نیم مولار، از طریق تحریک میزان اکسیداسیون گوگرد در سویه‌های شورپسند، منجر به کاهش pH خاک در این تیمارها نسبت به تیمار با شاهد مثبت غیر شورپسند T.Th شده است. بیشترین افت pH خاک در تیمار نیم مولار نمک، با سویه شورپسند I21 و برابر ۱/۸۳ واحد بوده است. که با سایر تیمارها اختلاف معنی داری در سطح یک درصد داشته است. افزایش سطح گوگرد (به عنوان سوبسترای میکروبی) از صفر به ۱۰ درصد، منجر به افت هرچه بیشتر pH شده است. بیشترین افت pH در تیمار ۱۰ درصد گوگرد با سویه I21 و برابر ۲/۰۳ واحد بوده است. که با سایر تیمارها اختلاف معنی داری در سطح یک درصد داشته است.

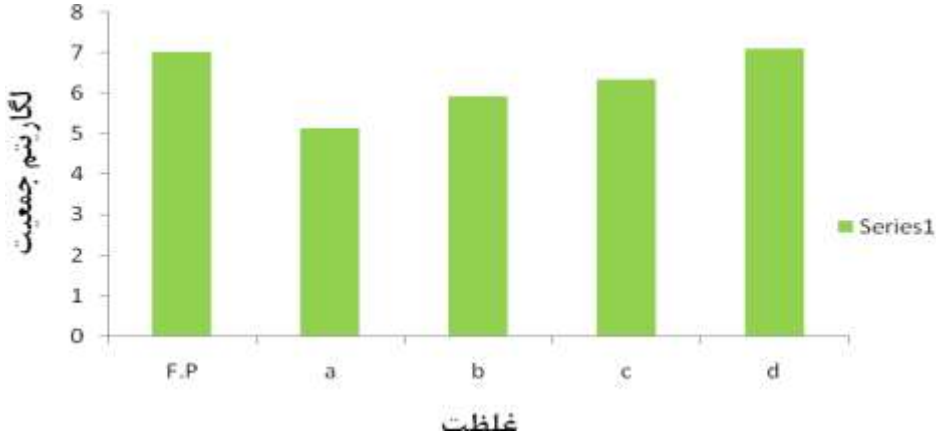
افزایش شوری خاک از صفر به نیم مولار، به دلیل تحریک اکسیداسیون و تولید هرچه بیشتر نمک های سولفاته در خاک تیمار شده با سویه های شورپسند برعکس تیمار با شاهد مثبت غیر شورپسند T.Th ، منجر به افزایش شوری ثانویه خاک شد. افزایش سطح گوگرد از صفر به ۱۰ درصد، به دلیل تاثیر مستقیم بر اکسیداسیون میکروبی، منجر به افزایش شوری ثانویه خاک در تمام تیمارهای باکتری شد. تیمار خاک‌ها با سویه‌های شورپسند I21 و I23 ، به دلیل پایداری هرچه بیشتر این سویه‌ها در خاک نسبت به سویه‌های غیر مقاوم می تواند در افزایش راندمان اکسیداسیون گوگرد و اصلاح خاک مؤثرتر باشد.

۲-۵-۴-۲- نتایج فعالیت سوم:

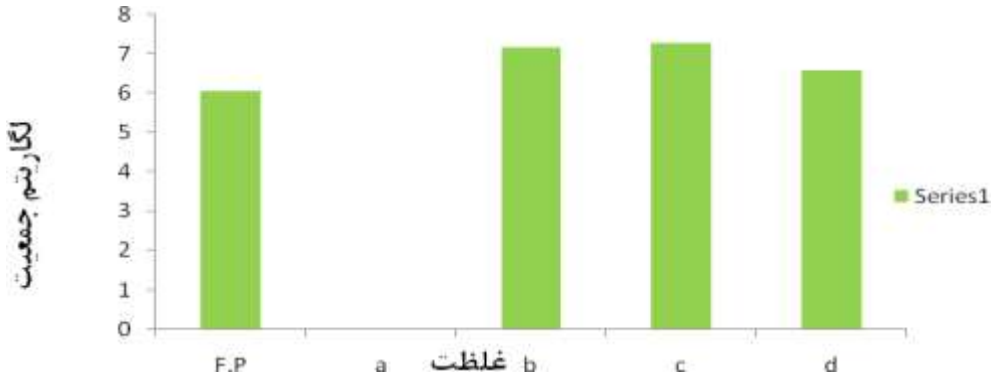
"بررسی تأثیر مواد افزودنی در افزایش ماندگاری باکتری‌های اکسید کننده گوگرد و پوشش‌دهی گرانول‌های گوگرد با باکتری‌های فرموله شده"



شکل ۲-۸۳- نمودار تاثیر غلظت های مختلف ملاس، ترهالوز و خاک فسفات بر روی لگاریتم جمعیت سویه I21 . F.P (جمعیت اولیه). در موارد نمایش داده نشده جمعیت صفر بوده است.

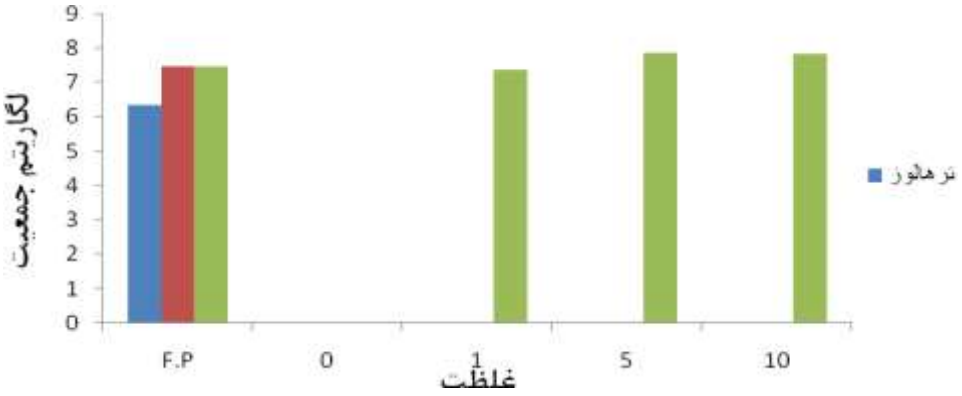


شکل ۲-۸۴- نمودار تاثیر غلظت های مختلف کیتوزان بر روی لگاریتم جمعیت سویه I21. (a: غلظت ۰، b: غلظت ۰/۰۱، c: غلظت ۰/۱ و d: غلظت ۵ درصد). F.P (جمعیت اولیه).

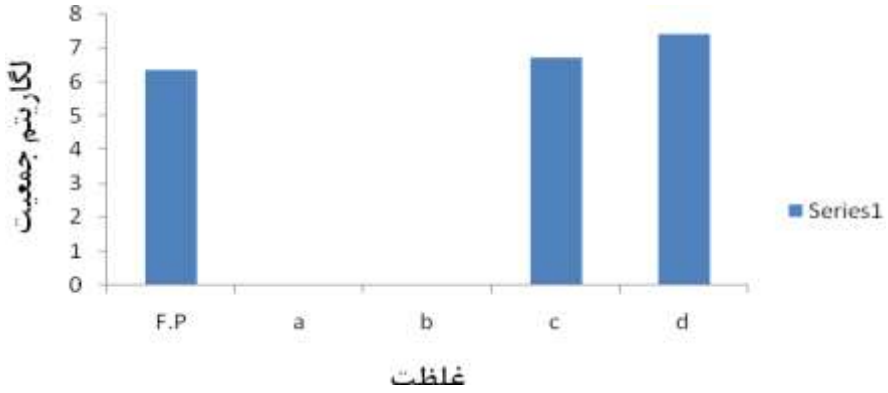


شکل ۲-۸۵- نمودار تاثیر غلظت های مختلف آلژینات سدیم بر روی لگاریتم جمعیت سویه I21. (a: غلظت ۰، b: غلظت ۰/۱، c: غلظت ۱ و d: غلظت ۱۰ درصد). در موارد نمایش داده نشده جمعیت صفر بوده است. F.P (جمعیت اولیه).

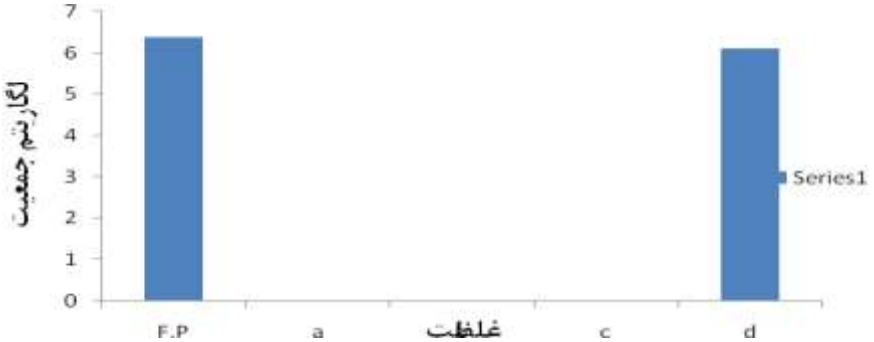
بر اساس نمودارشکل ۲-۸۳، غلظت های مختلف ملاس هیچ تآثیر مثبتی بر ماندگاری سویه I21 نداشته است. در عین حال با افزایش غلظت کیتوزان و آلژینات سدیم به ترتیب از صفر به پنج (نمودار شکل ۲-۸۴) و از صفر به یک درصد میزان ماندگاری این سویه افزایش یافته است (نمودار شکل ۲-۸۵).



شکل ۲-۸۶- نمودار تاثیر غلظت های مختلف ملاس، ترهالوز و خاک فسفات بر روی لگاریتم جمعیت سویه I23. F.P (جمعیت اولیه). در موارد نمایش داده نشده جمعیت صفر بوده است.



شکل ۲-۸۷- نمودار تاثیر غلظت های مختلف کیتوزان بر روی لگاریتم جمعیت سویه I23. (a: غلظت ۰، b: غلظت ۰/۰۱، c: غلظت ۰/۱ و d: غلظت ۵ درصد). F.P (جمعیت اولیه). در موارد نمایش داده نشده جمعیت صفر بوده است.



شکل ۲-۸۸- نمودار اثیر غلظت های مختلف آلژینات سدیم بر روی لگاریتم جمعیت سویه I23. (a: غلظت ۰، b: غلظت ۰/۰۱، c: غلظت ۱ و d: غلظت ۱۰ درصد). F.P (جمعیت اولیه). در موارد نمایش داده نشده جمعیت صفر بوده است.

نهایتاً، قابل ذکر است که جمعیت سویه‌های مذکور پس از دوران نگهداری در یخچال بسته به نوع ماده نگهدارنده و سویه متغییر بوده است. در اینجا ترهالوز بر روی پایداری هر دو سویه I23 وI21 تأثیر منفی داشته و جمعیت را به صفر رسانده است. در رابطه با سویه I21 استفاده از ملاس، کیتوزان، خاک فسفات و آلژینات سدیم منجر به افزایش پایداری سویه پس از یک ماه ماندگاری در یخچال شد. در اینجا خاک فسفات ده درصد و آلژینات سدیم یک درصد بیشترین تأثیر مثبت را بر افزایش ماندگاری باکتری داشته اند. در رابطه با سویه I23 نیز استفاده از ملاس، کیتوزان، خاک فسفات و آلژینات سدیم منجر به افزایش پایداری سویه پس از یک ماه ماندگاری در یخچال شد. از این بین خاک فسفات ده درصد و کیتوزان پنج درصد بیشترین تأثیر مثبت را بر افزایش ماندگاری این سویه داشته اند. بر خلاف دو سویه مذکور، جمعیت سویه تیوباسیلوس تیواکسیدانس در تمام تیمارها پس از دوره یک ماهه به صفر رسیده که نشان دهنده پایداری کمتر این سویه نسبت به دو سویه منتخب این پروژه می‌باشد.

نتایج کلی:

- از بین ۴۰ ایزوله باکتری انتخابی اولیه ،سه ایزوله به عنوان ایزوله‌های برتر مورد شناسایی مولکولی قرار گرفتند. این ایزوله ها با شماره های ذیل در بانک جهانی ثبت شدند:

  120(*Halothiobacillus neapolitanus*)

  121(Halothiobacillusneapolitanus)
  I23 (*Halothiobacillus neapolitanus*)

- نهایتا قابل ذکر است که در تمام تیمارهای باکتری افزایش سطح گوگرد منجر به افزایش میزان سولفات تولیدی شده است.
- بیشترین افت pH در تیمار ۱۰ درصد گوگرد با سویه I21 و برابر ۲/۰۳ واحد بوده است. که با سایر تیمارها اختلاف معنی داری در سطح یک درصد داشته است.
- تیمار خاک‌ها با سویه‌های شورپسند I21 و I23 ، به دلیل پایداری بیشتر این سویه‌ها در خاک نسبت به سویه‌های غیر مقاوم می تواند در افزایش راندمان اکسیداسیون گوگرد و اصلاح خاک مؤثرتر باشد.

- در خصوص فرمولاسیون مناسب برای نگهداری باکتری ها در رابطه با سویه I21 استفاده از ملاس، کیتوزان، خاک فسفات و آلژینات سدیم منجر به افزایش پایداری سویه پس از یک ماه ماندگاری در یخچال شد. در اینجا خاک فسفات ده درصد و آلژینات سدیم یک درصد بیشترین تأثیر مثبت را بر افزایش ماندگاری باکتری داشته اند.

- در رابطه با سویه I23 نیز استفاده از ملاس، کیتوزان، خاک فسفات و آلژینات سدیم منجر به افزایش پایداری سویه پس از یک ماه ماندگاری در یخچال شد. از این بین خاک فسفات ده درصد و کیتوزان پنج درصد بیشترین تأثیر مثبت را بر افزایش ماندگاری این سویه داشته اند.

- بر خلاف دو سویه مذکور، جمعیت سویه تیوباسیلوس تیواکسیدانس در تمام تیمارها پس از دوره یک ماهه به صفر رسیده که نشان دهنده پایداری کمتر این سویه نسبت به دو سویه منتخب این پروژه می-باشد.

مراجع فصل دو

۱. احیایی، م و بهبهانی، ع (۱۳۷۲). شرح روش‌های تجزیه خاک. نشریه شماره ۸۹۳. چاپ اول. انتشارات موسسه تحقیقات خاک وآب، ایران.

۲. بشارتی کلایه، ح. ۱۳۷۷. بررسی اثرات کاربرد گوگرد همراه با گونه‌های تیوباسیلوس در افزایش جذب برخی از عناصر غذائی در خاک. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۳. بشارتی، ح. ۱۳۷۷. بررسی اثرات کاربرد گوگرد همراه با گونه‌های تیوباسیلوس در افزایش قابلیت جذب برخی از عناصر غذایی در خاک. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران. ۱۷۶ صفحه.

۴. بشارتی، ح. ۱۳۷۹. اکسایش گوگرد در خاک و بهینه‌سازی شرایط خاک جهت افزایش اکسیداسیون آن. مجله علوم خاک و آب. شماره ۷.

۵. بشارتی، ح. و صالح راستین، ن. ۱۳۷۸. بررسی تاثیر کاربرد مایه تلقیح باکتری‌های تیوباسیلوس همراه با گوگرد در افزایش جذب فسفر. مجله علوم خاک و آب. شماره ۱۳.

۶. بشارتی، ح.، خسروی، ه.، مستشاری، م.، کامران میرزاشاهی، ک.، قادری، ج.، ذبیحی، ح. ۱۳۹۵. بررسی اثر تیوباسیلوس، گوگرد و فسفر بر شاخص های رشد ذرت در برخی ازمناطق ایران. مجله علمی و پژوهشی تحقیقات کاربردی خاک.جلد ۴ (۱): . انتشارات دانشگاه ارومیه.

۷. بناری، ع.، موسوی نیک، م.، بهدانی، م. ع.، بشارتی، ح. ۱۳۹۲. تأثیر مقادیر کود آلی گوگرد و تقسیط نیتروژن بر عملکرد و اجزاء آن در آفتابگردان. نشریه تولید گیاهان زراعی. ۶(۳): ۱-۱۵.

۸. پسندیده، م.، ملکوتی، م. ج. و کشاورز، پ. ۱۳۸۲. بررسی اثر گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس بر اکسایش گوگرد، pH محتویات چالکود و فراهمی فسفر از کود بیوفسفات طلایی. اولین سمینار ملی تولید و مصرف گوگرد در کشور، مشهد، ایران.

۹. جلیلی، ف.، نصر الله زاده، ع.، ولیلو، ر. ۱۳۹۲. اثر گوگرد و کود دامی بر عملکرد و پروتیین گندم زرین. مجله پژوهش درعلوم زراعی. شماره ۱۹ سال ۵ .

۱۰. چقازردی، ح.، محمدی، غ.، بهشتی آل آقا، ع. ۱۳۹۲. ارزیابی اثر گوگرد و کود دامی بر خصوصیات رشد گیاه ذرت (سینگل کراس ۷۰۴) و اسیدیته خاک. پژوهش های زراعی ایران. ۱۱(۱): ۱۶۲-۱۷۰.

۱۱. خادمی، ز.، بلالی، م. ر.، اسدی، ف.، شهبازی،ک.، رضایی، ح.، فیض الله زاده اردبیلی، م.، بارزگان،ک.، طهرانی، م. ح. ۱۳۹۰. افزایش کارآیی کودهای پرمصرف و بررسی نقش گوگرد و منیزیم بر افزایش عملکرد و بهبود کیفیت گندم. گزارش نهایی شماره ۱۷۰۳، انتشارات موسسه تحقیقات خاک وآب، ۴۲۴ص.

۱۲. رحیمیان، ز. ۱۳۹۰. اثر گوگرد و تیوباسیلوس به همراه ماده آلی بر صفات کمی و کیفی کلزا. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۳(۱۲): ۱۹-۲۷.

۱۳. صفاری، م.، مددی زاده، م .و شریعتی نیا، ف. ۱۳۹۰. بررسی آثار تغذیه ای عناصر نیتروژن، بور و گوگرد بر خصوصیات کمی و کیفی دانه گلرنگ. مجله علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۲(۱): ۱۳۳-۱۴۱.

۱۴. مصطفوی راد، م.، طهماسبی سروستانی، ز.، مدرس ثانوی، س. ع. م.، قلاوند، ا. ۱۳۹۰. ارزیابی عملکرد، ترکیب اسیدهای چرب و میزان عناصر ریزمغذی بذر در ارقام پر محصول کلزا تحت تأثیر مقادیر مختلف گوگرد. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی ۴۰(۱): ۴۳-۶۰.

۱۵. ملکوتی، م. ج. و رضایی، ح. ۱۳۸۰. نقش گوگرد، کلسیم و منیزیم در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی. چاپ اول. نشر آموزش کشاورزی. ص ۱-۳۲.

۱۶. ملکوتی، م. ج. و همایی، م. ۱۳۸۲. حاصلخیزی مناطق خشک و نیمه خشک «مشکلات و راه‌حل‌ها». چاپ دوم. دانشگاه تربیت مدرس. دفتر نشر آثار علمی. ص ۱۶۵-۱۷۱.

17. Agrifacts. 2003. Sulfate-VS. Elemental sulfur Part ll: Characterstics of S oxidation sou./ URL: http//WWW. Back-To-basics. Net/agrifacts/ pdf/ b2b2 9 b. pdf.

18. Ansori, A., and Gholami, A. (2015). Improved nutrient uptake and growth of maize in response to inoculation with thiobacillus and mycorrhiza on an alkaline soil. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 46, 2111-2126.

19. Attoe, O. J. and Olson, R. A. 1966. Factors affecting the rate of oxidation of elemental sulfur and that added in rock-phosphate-sulfur fusion. Soil. Sci. 101: 317-327.

20. Bagoyoko, M., S. Alvey, G. Neumann, and A. Buerkert. 2000. Root induced increase in soil pH and nutrient availability to field-grown cereals and legumes on acid sandy soils of Sudano-Sahelian West Africa. Plant Soil 225: 117-127.

21. Barber, S. A. 1995. Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach. 2nd ed. John Wiley and Sons, Inc. New York.

22. Bardiya, M. C., Narunarula, N. and Vyas, S. R. 1982. Effect of inoculation of Thiobacillus on the Lucerne crop (*Madicago Sativa* L.) grown in alkali soils. HAU J. Res., 11(4): 286-290.

23. Bertrand, I., P. Hinsinger, B. Jaillard, and J. C. Arvieu. 1999. Dynamics of phosphorus in the rhizosphere of maize and rape grown on synthetic phosphate calcite and goethite. Plant Soil 211: 111-119.

24. Black C. A., Evans D. D., and Dinauer R. C. (1965). Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 653-708.

25. Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. Agronomy Journal. 54, 464-465.

26. Chaignon, V., F. Bedin, and P. Hinsinger. 2002. Copper availability and rhizosphere pH changes as affected by nitrogen supply for tomato and oilseed rape on an acidic and calcareous soil. Plant Soil 243: 219-228.

27. Chesnin, L., and Yien, C. (1951). Turbidimetric determination of available sulfates. Soil Science Society of America Journal. 15, 149-151.

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

29. Cifuentes, F. R. and Lindemann, W. C. 1993. Organic matter stimulation of elemental sulfur oxidation in calcareous soil. Soil Sci. Soc. Am. J., 57: 727-731.

30. Corti, G., A. Agnelli, R. Cuniglio, M. F. Sanjurjo, and S. Cocco. 2005. Characteristics of rhizosphere soil from natural and agricultural environments. p. 57-128. In P. M.

31. Dakora, F. D., and D. A. Phillips. 2002. Root exudates as mediators of mineral acquisition in low nutrient environments. Plant Soil 245: 35-47.

32. Darrah, P. R. 1993. The rhizosphere and plant nutrition: a quantitative approach. Plant Soil 155/156: 1-20.

33. Deluca, T. H., Skogley, E. O. and Engle, R. E. 1989. Band-applied elemental sulfur to enhance the phytoavailability of phosphorus in alkaline calcareous soils, Biol. Fert. Soils. 7: 346-350.

34. Dubey, S. K. and Billore, S. D. 1995. Effect of level and sorce of sulfur on symbiotic and biometrical parameters of soybean (*Glycin max*). Indian J. Agri. Sci., 65(2): 140-144.

35. Erdal, I., Kepenek, K., and KIZILGÖZ, İ. (2004). Effect of foliar iron applications at different growth stages on iron and some nutrient concentrations in strawberry cultivars. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 28, 421-427.

36. Fitz, W. J., W. W. Wenzel, G. Wieshammer and B. Istenic. 2003. Microtome sectioning causes artifacts in rhizobox experiments. Plant Soil 256: 455-462.

37. Fox, R., Atesalp, H., Kampbell, D., and Rhoades, H. (1964a). Factors influencing the availability of sulfur fertilizers to alfalfa and corn. Soil Science Society of America Journal. 28, 406-408.

38. Fox, R. L., Olson, R., and Rhoades, H. F. (1964b). Evaluating the sulfur status of soils by plant and soil tests. Soil Science Society of America Journal. 28, 243-246.

39. Gollany, H. T., and T. E. Schumacher. 1993. Combined use of colorimetric and microelectrode methods for evaluating rhizosphere pH. Plant Soil 154: 151-159.

40. Gupta, J., Jalali, V., and Wali, P. (1997). Effect of sulpHur sources and levels on yield and sulpHur uptake in rice. International Journal of Tropical Agriculture. 15, 177-180.

41. Hinsinger, P., and R. J. Gilkes. 1997. Dissolution of phosphate rock in the rhizosphere of five plant species grown in an acid, phosphorus fixing mineral substrate. Geoderma 75: 231-249.

42. Hinsinger P. 1998.How do plant roots acquire mineral nutrients? Chemical processes involved in the rhizosphere. Adv. Agron. 64: 225-265.

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

44. Jahiruddin, M., and M. S. Cresser. 1993. A study of the effect of rhizosphere on the availability of N, P, K, Zn, Cu, Fe, and Mn in soil. J. Indian Soc. Soil Sci. 41: 481-490.

45. Janzen, H. and Bettany, J. R. 1987. Measurment of sulfur oxidation in soils. Soil Sci., 143: 44-452.

46. Kalbasi, M., Filsoof, F. and Rezai-Nejad, Y. 1988. E ffect of sulfur treatment on yield and uptake of Fe, Zn and Mn by corn, sorghum and soybean. J. plant Nutr., 11: 1353-1360.

47. Kaplan, M. and Orman, S. 1998. Effect of elemental sulfur and sulfur containing west in calcareouse soil in Turkry. J. plant Nutr. 21 (8): 1655- 1665.

48. Karimi, F., Bahmanyar, M. A., and Shahabi, M. (2012). Investigation the effects of sulfur and cattle manure application on macronutrient availability in calcareous soil and accumulationin leaf and seed of canola. European journal of experimental biology. 2, 836-842.

49. Kelly, D. P. and Harrison, A. P. 1989. Genus Thiobacillus 1942-1858. In J. T. Staley (ed). Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Vol. 39 th ed. Williams & Wikins, Baltimore.

50. Khan, M. I., Ibrahim, M. and Rashid-Ayub, A. 1986. Berseen response to sulfur application. Agron. Abstract., 411-426.

51. Khan, M. J., Khan, M. H., Khattak, R. A., and Jan, M. T. (2006). Response of maize to different levels of sulfur. Communications in soil science and plant analysis. 37, 41-51.

52. khavazi, K., Nourgholipour, F. and Malakouti, M. J. 2001. Effect of Thiobacillus and phosphate solubilizing bacteria on increasing P availability from rock phosphate and related Appropriate Technology-Latest Development and Practical Expriences. Kuala Lampur, Malasia.

53. Kilham, K. 1994. Soil Ecology. Cambirdge University Press.

54. Kittmas,H. A. and Attoe, O. J. 1965. Availability of phosphorus in rock phosphate-sulfur fusion. Agronomy J. 57: 331-334.

55. Kochar, R. K., Arora, B. R. and Nayyar, V. K. 1990. Effect of sulfur and zinc application on maize crop. J. Indian Soc. Soil Sci. 38: 339-341.

56. lindsay, W. L., and Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil science society of America journal. 42, 421-428.

57. Marschner, H., V. Romheld and H. Ossenberg-Neuhaus. 1982. Rapid method for measuring changes in pH and reducing processes along roots of intact plants. Int. J. Plant Physiol. 105: 407-416.

58. Marschner, H., and V. Romheld. 1983. In vivo measurement of root-induced pH changes at the soil-root interface: effect of plant species and nitrogen source. Int. J. Plant Physiol. 111: 241-251.

59. Mc Caskil, M. R. and Blair, J. G. 1987. Particle size and soil texture effects on elemental sulfure oxidation. Agronomy J. 79: 1079-1083.

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

61. McLean, E. (1982). Soil pH and lime requirement. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, 199-224.

62. Miller, J. R. 1965. Effect of sulfur and gypsum addition on availability of rock phosphate. Soil. Sci. 82: 129-134.

63. Modaihsh, S., AL. Mustafa, A. and Metwally, A. E. 1989. Effect of elemental sulfur on chemical changes and nutrient availability in calcareous soils. Plant and Soil, 116: 95-101.

64. Nye, P. H. 1981. Changes of pH across the rhizosphere induced by roots. Plant Soil 61:7-26.

65. Nye, P. H. 1986. Acid-base changes in the rhizosphere. Adv. Plant Nutr. 2: 129-153.

66. Papper, I. L. and Miller, R. H. 1978. Comparison of the oxidation of Thiosulfate and elemental sulfur by two heterotrophic bacteria and Thiobacillus thiooxidans. Soil Biol. Biochem. 126 (1): 9-14.

67. Pathiratna, L. S. S., De, U. P. Waidyanatha, S. and Perirs, O. S. 1989. The effect of appatite and elemental sulfur mixtures on growth and p content of Centrocema pubescens. Fertilizer Research 21: 37-43.

68. Ravi, S., Channal, H., Hebsur, N., and Dharmatti, P. (2010). Effect of sulpHur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality of safflower (Carthamus tinctorius L.). Karnataka Journal of Agricultural Sciences. 21: 382-385.

69. Ryan J, Estefan G., and Rashid A. (2007). Soil and Plant Aanalysis Laboratory Manual, Icarda, 172p.

70. Riley, D., and S. A. Barber. 1971. Effect of ammonium and nitrate fertilization on phosphorus uptake as related to root-induced pH changes at the root-soil interface. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35: 301-306.

71. Rosa. M. C., Muchovey, J. J. and Alwares, J. V. H. 1989. Temporal relations of phosphorous fraction in an oxisol amended with rock phosphate and Thiobacillus thiooxidans. Soil Sci. Soc. of Am. J., 53: 1096-1100.

72. Rovira, A. D., G. D. Bowen, and R. C. Foster. 1983. The significance of rhizosphere microflora and mycorhizas in plant nutrition. p. 61-93. In A. Lauchli and R. L.

73. Rupela, O. P. and Tauro, P. 1973. Utillization of Thiobacillus to reclaim alkaline soils. Soil Biol. Biochem., 5: 899-901.

74. Rupela, O. P. and Tauro, P. 1973. Utitlization of thiobacillus to reclaim alkali soils. Soil Biol. Biochem. 5: 899-901.

75. Sakal, R., Singh, A., Sinha, R., and Ismail, M. (2000). Relative performance of some sulpHur sources on sulpHur nutrition of crops in calcareous soil. Annals of Agricultural Research. 21, 206-211.

76. Scherer, H. W. and Lange, A. 1996. N2 fixation and growth of legume as affected by sulfur fertilization. Biol. Fertil. Soils, 23: 449-453.

77. Seguin, V., C. Gagnon, and F. Courchesne. 2004. Changes in water extractable metals, pH and organic carbon concentrations at the soil-root interface of forested soils. Plant Soil 206: 1-17.

78. Sharma, R., and Gupta, R. (1992). Reaponse of rain-fed soybean (Glycine-Max)-Safflower seqence to nitrogen and sulfur fertization in vertisols. Indian Journal of Agricultural Sciences. 62, 529-534.

79. Shock, C. C., Williams, W. A., Jones, M. B., Center, D. M. and Phillips, D. A. 1984. Nitrogen fixation by subclover associations fertilized with sulfur. Plant and Soil, 81: 323-332.

80. Schottelndreier, M., and U. F. Grerup. 1999. Plant induced alteration in the rhizosphere and the utilization of soil heterogeneity. Plant Soil 209: 297-309.

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

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

83. Singh. A. L. and Chhibba, I. M. 1991. Evaluation of some sources of sulfure using maize and what as test crops. J. Indian Soc. Soil Sci. 39: 514-516.

84. Stevenson, F. J. 1986. Cycles of soil. John Wiley and Sons Inc., New York.

85. Stevenson, F. J. and Cole, M. A. 1999. Cycles of soil carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. Second edition, John Wiley & Sons, Inc., New York.

86. Tabatabai, M. A. 1986. Sulfur in Agriculture. Am. Soc. Agron. Inc., Madison, Wis., USA.

87. Tandon, H. L. S. 1991. Management of nutrient intractions in agriculture. New Delhi. 110048 (India).

88. Tandon, H. L. S. 1995. Sulphur fertilizer for Indian agriculture. "A guid book", Fertilizer and Development and Consultation organization. New Delhi, India. 1992.

89. Tang, C. 1998. Factors affecting soil acidification under legumes. I. Effect of potassium supply. Plant Soil 199: 275-282.

90. Tao, S., W. X. Liu, Y. J. Chen, F. L. Xu, R. W. Dawson, B. G. Li, J. Cao, X. J. Wang, J. Y. Hu, and X. Fong. 2004. Evaluation of factors influencing root–induced changes of copper fractionation in rhizosphere of a calcareous soil. Environ. Poll. 129: 5-12.

91. Tate III, R. L. 1995. The sulfur and related biogeochemical cycle. P: 359-372. In M. Alexander (ed) Soil Microbiology. John Wiley and Sons Inc., New York.

92. Tisdal, S. I., Nelson, W. I. Beaton, J. D. and Havlin, J. I. 1993. Soil Fertility and Fertilizer. 5th eds. Mc millan. Pub. Co. New York.

93. Tisdal, S. L., Nelson, W. L. and Beaton, J. D. 1984. Soil Fertility and fertilizers. Fourth edition. Mcmillon Publishing Company, New York.

94. Wainwright, M. 1984. Sulfur oxidation in soils. Adv. Agron. 37: 346- 396.

95. Wenzel WW, Wieshammer G, Fitz WJ, Puschenreiter M . 2001. Novel rhizobox design to assess rhizosphere characteristics at high spatial resolution. Plant Soil. 237: 37-45.

96. Youssef, R. A., and M. Chino. 1987. Studies on the behavior of nutrients in the rhizosphere I: Establishment of a new rhizobox system to study nutrient status in the rhizosphere. J. Plant Nutr. 10: 1185-1195.

97. Zoysa, A. K. N., P. Longanathan, and M. J. Hedley. 1999. Phosphorus utilization efficiency and depletion of phosphate fractions in the rhizosphere of three tea (Camellia sinensis L.) clones. Nutrient cycling in agroecosystems 53: 189-201