

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

٩٤٢.٦



دانشگاه شاهرود  
دانشکده کشاورزی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

بررسی روند اکسیداسیون گوگرد و ارتباط آن با آزاد شدن برخی از  
عناصر غذایی در خاکهای آهکی زیر کشت گندم

آرزو صیامی

استاد راهنما

دکتر حسین بشارتی

استاد مشاور

دکتر احمد گلچین

تیر ماه ۱۳۸۶

۱۳۸۷ / ۲ / ۱۳

۹۴۲۰۶



### صورتجلسه دفاع از پایان نامه تمصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای/خانم آرزو صیامی رشته خاکشناسی گرایش شیمی و حاصلخیزی خاک تحت عنوان بررسی روند اکسیداسیون گوگرد و ارتباط آن با آزاد شدن برخی از عناصر غذایی در خاکهای آهکی زیر کشت گندم که در تاریخ ۸۶/۴/۱۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه زنجان برگزار گردید، بشرح زیر است :

قبول (با درجه: عالی... امتیاز: ۱۹/۰۰۰۰)  دفاع مجدد  مردود  
۱- عالی (۲۰-۱۸)

۲- بسیار خوب (۱۷/۹۹-۱۶)

۳- خوب (۱۵/۹۹-۱۴)

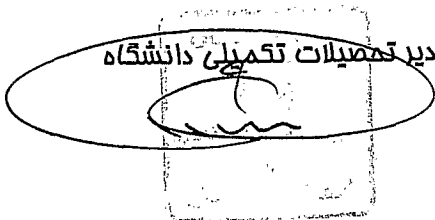
۴- قابل قبول (۱۳/۹۹-۱۲)

۱۳۸۷ / ۲ / ۱۳

امضاء	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استادیار	دکتر حسین بشارتی	۱- استاد راهنما
	دانشیار	دکتر احمد گلچین	۲- استاد مشاور
	دانشیار	دکتر محمد اردلان	۳- استاد ممتحن
	استادیار	دکتر محمدامیر دلاور	۴- استاد ممتحن
	استادیار	دکتر محمدامیر دلاور	۵- نماینده تحصیلات تکمیلی

دکتر نعمت ا... ارشدی

مدیر تحصیلات تکمیلی دانشگاه



کلیه حقوق اعم از چاپ، تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه، اقتباس و ... از این  
پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد برای دانشگاه زنجان محفوظ است.  
نقل مطالب با ذکر مأخذ بلامانع است.

تقدیم به

روح پدرم که بسیار کوشید و حامی همیشگی ام بود ولی  
افسوس که زود رفت...

مادر مهربانم  
که مظهر صداقت و یگانه سرچشمه جوشان محبت است.

همسر عزیزم  
که در سختی و آسودگی همواره یاریگرم بوده است.

و فرزند دلبندم که فصل تازه‌ای در زندگی ام گشود.

## تشکر و قدردانی

حمد و ستایش به درگاه خداوند علیم که از سرچشمه زلال حکمت، توانایی برداشتن گامهایی هر چند کوچک در راه کسب دانش را عطا فرمود. اکنون که به یاری پروردگار انجام این تحقیق به پایان رسیده است، بر من است که شکر ایزد گویم و سپاسگزار همه آنهایی باشم که در این راه یاریگرم بودند: همسر عزیزم که با شکیبایی در تمام مراحل پژوهش همراه من بودند و در تمامی شرایط پشتیبانم هستند.

مادر مهربانم که در این مدت با وجود مشکلات فراوانی که داشتند، باز هم مرا از حمایت‌های بی‌دریغ خود محروم نکردند.

برادر و خواهر نازنینم که همواره آرزویشان موفقیت من بوده است.

جناب آقای دکتر حسین بشارتی که راه و رسم پژوهش و نگارش را از ایشان آموختم و با راهنمایی‌های ارزنده و تلاش‌ها و پیگیری‌های ایشان نگارش این پایان‌نامه به سرانجام رسید.

جناب آقای دکتر احمد گلچین که دلسوزانه با ارائه نظرات ارزشمندشان در جهت غنی‌تر ساختن این تحقیق یاریم دادند و همواره از تجارب ارزنده‌شان استفاده نمودم.

همچنین از همکاری‌های صمیمانه کارکنان و اعضاء هیأت علمی مؤسسه تحقیقات خاک و آب به ویژه همکاران بخش شیمی و حاصلخیزی خاک سپاسگزارم.

**چکیده:** مواد مادری آهکی و بارش آسمانی اندک موجب شده‌اند تا سطحی وسیع از اراضی کشاورزی ایران را خاکهای آهکی و قلیایی تشکیل دهند. در خاکهای مذکور عناصر غذایی که قابلیت جذب آنها وابسته به pH است، تثبیت شده و مقدار قابل جذب آنها کمتر از مقدار لازم برای تأمین رشد مناسب گیاه می‌باشد. استفاده از گوگرد به‌عنوان ماده اسیدزا جهت افزایش قابلیت جذب عناصر تثبیت شده، اصلاح خاکهای سدیمی و تأمین سولفات مورد نیاز گیاه در بسیاری از مناطق دنیا متداول بوده و سابقه دیرینه دارد. شرط بهره‌گیری از توان بالقوه گوگرد، حضور و فعالیت میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده آن (بویژه باکتری‌های تیوباسیلوس) در خاک می‌باشد. با عنایت به تولید مقادیر فراوان گوگرد در کشور و آهکی بودن اکثر خاکها، مصرف بهینه آن در کشاورزی سزاوار توجه بیشتری است. در خصوص استفاده از گوگرد جهت افزایش قابلیت جذب عناصر در خاکهای آهکی و قلیایی، در مورد مقدار و زمان مصرف گوگرد و مقدار کربنات کلسیم خاک که تاثیر بسزایی در کارایی مصرف گوگرد دارند، تاکنون تحقیقات اندکی صورت گرفته است. لذا در تحقیق حاضر اثر مایه تلقیح تیوباسیلوس و ماده آلی بر روند اکسایش گوگرد و آزاد شدن عناصر غذایی در خاکهای آهکی مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

آزمایش حاضر بصورت طرح کاملا تصادفی و بصورت فاکتوریل در سه تکرار با منظور کردن هشت سطح گوگرد (مقداری از گوگرد که بتواند با ۰، ۲/۵، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد مواد خنثی شونده خاک واکنش دهد)، دو سطح ماده آلی (بدون ماده آلی و ۵ کیلوگرم ماده آلی در هکتار)، دو سطح مایه تلقیح (بدون باکتری و مقداری از مایه تلقیح که معادل  $10^4$  سلول در هر گرم خاک است) در دو خاک آهکی (با ۸/۵ و ۲۱ درصد کربنات کلسیم معادل) انجام شد. پس از اعمال تیمارها، ۱۹۲ گلدان ۵ کیلوگرمی با رطوبت FC در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد به مدت سه ماه انکوباسیون شدند و در فواصل زمانی ۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روز غلظت سولفات، فسفر، آهن و روی قابل جذب و نیز pH و EC خاک اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد با گذشت زمان غلظت عناصر در هر دو خاک به تدریج افزایش یافت و پس از ۶۰ روز به حداکثر رسید. تلقیح باکتری‌های تیوباسیلوس نسبت به شاهد تلقیح نشده، اکسایش گوگرد و آزاد شدن عناصر را به‌طور معنی‌دار افزایش داد. ماده آلی به‌علت بهبود خواص فیزیکی خاک و افزایش تعداد و فعالیت میکروارگانیسم‌های هتروتروف اکسیدکننده گوگرد، نسبت به شاهد بدون ماده آلی اکسایش گوگرد، غلظت عناصر و EC را افزایش ولی PH را کاهش داد. با افزایش مقدار گوگرد مصرفی، غلظت سولفات و آهن روند صعودی نشان دادند ولی غلظت فسفر تا حدی افزایش و سپس با افزایش مقادیر بعدی گوگرد کاهش یافت، در حالی که در مقدار روی قابل جذب خاک تغییرات معنی‌دار مشاهده نشد. همچنین PH خاک به موازات افزایش مقدار گوگرد کاهش ولی EC خاک افزایش یافت که علت آن اکسایش گوگرد در خاک و انحلال کربناتها می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** افزایش قابلیت جذب عناصر، گوگرد، مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس

## فهرست مطالب

### فصل اول: مقدمه

مقدمه ..... ۲

### فصل دوم: مروری بر پژوهش‌های گذشته

- ۱-۱-۲- گوگرد ..... ۵
- ۱-۱-۲-۱- خصوصیات شیمیایی گوگرد ..... ۵
- ۱-۱-۲-۲- گوگرد در خاک ..... ۵
- ۱-۱-۲-۳- گوگرد در گیاه ..... ۶
- ۱-۱-۲-۴- اهمیت اکسایش گوگرد ..... ۶
- ۱-۱-۲-۵- عوامل مؤثر بر اکسایش گوگرد در خاک ..... ۹
- ۱-۱-۲-۲- اثرات سودمند اکسایش گوگرد در خاک ..... ۱۲
- ۱-۱-۲-۲-۱- افزایش حلالیت عناصر غذایی در خاک‌های آهنکی ..... ۱۲
- ۱-۱-۲-۲-۲- تأمین سولفات مورد نیاز گیاه ..... ۲۰
- ۱-۱-۲-۳- نقش باکتری‌های تیوباسیلوس در تشدید اکسایش گوگرد (افزایش حلالیت عناصر) ..... ۲۳
- ۱-۱-۲-۴- نقش باکتری‌های تیوباسیلوس در اصلاح خاک ..... ۲۷

### فصل سوم: مواد و روش‌ها

- ۱-۳- انتخاب نمونه‌های خاک ..... ۳۳
- ۲-۳- آماده سازی نمونه‌های خاک ..... ۳۳
- ۳-۳- تهیه کشت خالص باکتری‌های تیوباسیلوس ..... ۳۳
- ۴-۳- اعمال تیمارهای مورد نظر ..... ۳۴
- ۵-۳- اندازه‌گیری عناصر در نمونه‌های خاک ..... ۳۵
- ۱-۵-۳- اندازه‌گیری فسفر قابل جذب به روش اولسن ..... ۳۵
- ۲-۵-۳- اندازه‌گیری یون سولفات به روش کدورت سنجی ..... ۳۷
- ۳-۵-۳- اندازه‌گیری آهن و روی ..... ۳۸
- ۴-۵-۳- اندازه‌گیری pH و EC ..... ۳۹
- ۱-۴-۵-۳- اندازه‌گیری واکنش خاک ..... ۴۰



- ۳-۵-۴-۲-اندازه‌گیری هدایت الکتریکی ..... ۴۰
- ۳-۶-تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها ..... ۴۰

### فصل چهارم: نتایج و بحث

- ۴-۱- نتایج اثرات تیمارهای مختلف بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده ..... ۴۳
- ۴-۲- اثرات اصلی و متقابل سطوح مختلف نوع خاک، گوگرد، مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس و ماده آلی بر غلظت سولفات قابل جذب خاک ..... ۴۶
- ۴-۲-۱- اثر اصلی نوع خاک بر غلظت سولفات قابل جذب خاک ..... ۴۶
- ۴-۲-۲- اثر اصلی سطوح مختلف گوگرد بر غلظت سولفات قابل جذب خاک ..... ۴۸
- ۴-۲-۳- اثر اصلی مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس بر غلظت سولفات قابل جذب خاک ..... ۴۹
- ۴-۲-۴- اثر اصلی ماده آلی بر غلظت سولفات قابل جذب خاک ..... ۵۱
- ۴-۲-۵- اثرات متقابل نوع خاک، گوگرد، مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس و ماده آلی بر غلظت سولفات قابل جذب خاک ..... ۵۲
- ۴-۳- اثرات اصلی و متقابل سطوح مختلف نوع خاک، گوگرد، مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس و ماده آلی بر غلظت فسفر قابل جذب خاک ..... ۶۵
- ۴-۳-۱- اثر اصلی نوع خاک بر غلظت فسفر قابل جذب خاک ..... ۶۵
- ۴-۳-۲- اثر اصلی سطوح مختلف گوگرد بر غلظت فسفر قابل جذب خاک ..... ۶۷
- ۴-۳-۳- اثر اصلی مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس بر غلظت فسفر قابل جذب خاک ..... ۶۸
- ۴-۳-۴- اثر اصلی ماده آلی بر غلظت فسفر قابل جذب خاک ..... ۷۰
- ۴-۳-۵- اثرات متقابل نوع خاک، گوگرد، مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس و ماده آلی بر غلظت فسفر قابل جذب خاک ..... ۷۲
- ۴-۴- اثرات سطوح مختلف نوع خاک، گوگرد، مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس و ماده آلی بر غلظت آهن قابل جذب خاک ..... ۸۰
- ۴-۴-۱- اثر اصلی نوع خاک بر غلظت آهن قابل جذب خاک ..... ۸۰
- ۴-۴-۲- اثر اصلی سطوح مختلف گوگرد بر غلظت آهن قابل جذب خاک ..... ۸۲
- ۴-۴-۳- اثر اصلی ماده آلی بر غلظت آهن قابل جذب خاک ..... ۸۳
- ۴-۴-۴- اثرات متقابل نوع خاک، گوگرد، مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس و ماده آلی بر غلظت آهن قابل جذب خاک ..... ۸۳

- ۴-۵- اثرات اصلی و متقابل سطوح مختلف نوع خاک، گوگرد، مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس و ماده آلی بر غلظت روی قابل جذب خاک ..... ۸۸
- ۴-۵-۱- اثر اصلی نوع خاک بر غلظت روی قابل جذب خاک ..... ۸۸
- ۴-۵-۲- اثر اصلی سطوح مختلف گوگرد بر غلظت روی قابل جذب خاک ..... ۹۰
- ۴-۵-۳- اثر اصلی مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس بر غلظت روی قابل جذب خاک ..... ۹۱
- ۴-۵-۴- اثر اصلی ماده آلی بر غلظت روی قابل جذب خاک ..... ۹۱
- ۴-۵-۵- اثرات متقابل نوع خاک، گوگرد، مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس و ماده آلی بر غلظت روی قابل جذب خاک ..... ۹۳
- ۴-۶- اثرات اصلی و متقابل سطوح مختلف نوع خاک، گوگرد، مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس و ماده آلی بر pH خاک ..... ۹۴
- ۴-۶-۱- اثر اصلی نوع خاک بر pH خاک ..... ۹۴
- ۴-۶-۲- اثر اصلی سطوح مختلف گوگرد بر pH عصاره اشباع خاک ..... ۹۶
- ۴-۶-۳- اثر اصلی مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس بر pH عصاره اشباع خاک ..... ۹۷
- ۴-۶-۴- اثر اصلی ماده آلی بر pH عصاره اشباع خاک ..... ۹۹
- ۴-۶-۵- اثرات متقابل نوع خاک، گوگرد، مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس و ماده آلی بر pH خاک ..... ۱۰۰
- ۴-۷- اثرات سطوح اصلی و متقابل سطوح مختلف نوع خاک، گوگرد، مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس و ماده آلی بر EC عصاره اشباع خاک ..... ۱۱۰
- ۴-۷-۱- اثر اصلی نوع خاک بر EC عصاره اشباع خاک ..... ۱۱۰
- ۴-۷-۲- اثر اصلی سطوح مختلف گوگرد بر EC عصاره اشباع خاک طی دوره آزمایش ..... ۱۱۲
- ۴-۷-۳- اثر اصلی مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس بر EC عصاره اشباع خاک ..... ۱۱۳
- ۴-۷-۴- اثر اصلی ماده آلی بر EC عصاره اشباع خاک ..... ۱۱۵
- ۴-۷-۵- اثرات متقابل سطوح مختلف نوع خاک، گوگرد، مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس و ماده آلی بر EC عصاره اشباع خاک ..... ۱۱۶
- ۴-۸- بحث درباره نتایج ..... ۱۲۴
- منابع مورد استفاده ..... ۱۲۹
- چکیده انگلیسی

## فهرست جداول

- جدول ۱-۱- تأثیر مصرف گوگرد عنصری بر مقدار عملکرد سورگوم در یک خاک آهکی ..... ۱۴
- جدول ۲-۲- تأثیر مصرف گوگرد بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده در بادام زمینی در طی دو سال  
آزمایش ..... ۲۱
- جدول ۳-۲- مقایسه کارایی گوگرد عنصری با گچ، پیریت و سوپر فسفات ساده از لحاظ جذب  
سولفات و عملکرد ذرت و گندم ..... ۲۲
- جدول ۴-۲- تأثیر مصرف گوگرد و تلقیح باکتری تیوباسیلوس ناولوس بر تغییرات pH، سدیم و  
سولفات خاک سدیمی ..... ۲۹
- جدول ۱-۴- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک کرج ..... ۴۲
- جدول ۲-۴- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک لرستان ..... ۴۲
- جدول ۳-۴- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده در خاک در  
زمان شروع آزمایش ..... ۴۳
- جدول ۴-۴- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده در خاک پس  
از گذشت دو هفته از شروع آزمایش ..... ۴۴
- جدول ۵-۴- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده در خاک  
پس از گذشت یک ماه از شروع آزمایش ..... ۴۴
- جدول ۶-۴- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده در خاک  
پس از گذشت دو ماه از شروع آزمایش ..... ۴۵
- جدول ۷-۴- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده در خاک  
پس از گذشت سه ماه از شروع آزمایش ..... ۴۵
- جدول ۸-۴- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نوع خاک، گوگرد، باکتری تیوباسیلوس و  
ماده آلی بر غلظت سولفات قابل جذب خاک یک ماه پس از شروع آزمایش ..... ۶۳
- جدول ۹-۴- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نوع خاک، گوگرد، باکتری تیوباسیلوس و  
ماده آلی بر غلظت سولفات قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۶۴
- جدول ۱۰-۴- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نوع خاک، گوگرد، باکتری تیوباسیلوس و  
ماده آلی بر غلظت سولفات قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۶۴
- جدول ۱۱-۴- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نوع خاک، گوگرد، باکتری تیوباسیلوس و  
ماده آلی بر غلظت فسفر قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۸۰

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۴-۱- مقایسه میانگین اثر اصلی نوع خاک بر غلظت سولفات قابل جذب خاک دو هفته پس از شروع آزمایش ..... ۴۶
- شکل ۴-۲- مقایسه میانگین اثر اصلی نوع خاک بر غلظت سولفات قابل جذب خاک یک ماه پس از شروع آزمایش ..... ۴۷
- شکل ۴-۳- مقایسه میانگین اثر اصلی نوع خاک بر غلظت سولفات قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۴۷
- شکل ۴-۴- مقایسه میانگین اثر اصلی نوع خاک بر غلظت سولفات قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۴۷
- شکل ۴-۵- مقایسه میانگین‌های اثر اصلی تیمار گوگرد بر غلظت سولفات قابل جذب خاک دو هفته پس از شروع آزمایش ..... ۴۸
- شکل ۴-۶- مقایسه میانگین‌های اثر اصلی گوگرد بر غلظت سولفات قابل جذب خاک یک ماه پس از شروع آزمایش ..... ۴۸
- شکل ۴-۷- مقایسه میانگین‌های اثر گوگرد بر غلظت سولفات قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۴۹
- شکل ۴-۸- مقایسه میانگین‌های اثر اصلی گوگرد بر غلظت سولفات قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۴۹
- شکل ۴-۹- مقایسه میانگین‌های اثر باکتری تیوباسیلوس بر غلظت سولفات قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۵۰
- شکل ۴-۱۰- مقایسه میانگین‌های اثر باکتری تیوباسیلوس بر غلظت سولفات قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۵۰
- شکل ۴-۱۱- مقایسه میانگین‌های اثر ماده آلی بر غلظت سولفات قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۵۱
- شکل ۴-۱۲- مقایسه میانگین‌های اثر اصلی ماده آلی بر غلظت سولفات قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۵۱
- شکل ۴-۱۳- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل ماده آلی و گوگرد بر غلظت سولفات قابل جذب خاک دو هفته پس از شروع آزمایش ..... ۵۳

- شکل ۴-۱۴- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل ماده آلی و گوگرد بر غلظت سولفات قابل جذب خاک یک ماه پس از شروع آزمایش..... ۵۳
- شکل ۴-۱۵- مقایسه میانگین‌های اثر ماده آلی و گوگرد بر غلظت سولفات قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش..... ۵۳
- شکل ۴-۱۶- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل ماده آلی و گوگرد بر غلظت سولفات قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش..... ۵۴
- شکل ۴-۱۷- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل ماده آلی و خاک بر غلظت سولفات قابل جذب خاک دو هفته پس از شروع آزمایش..... ۵۴
- شکل ۴-۱۸- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل ماده آلی و خاک بر غلظت سولفات قابل جذب خاک یک ماه پس از شروع آزمایش..... ۵۵
- شکل ۴-۱۹- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل ماده آلی و خاک بر غلظت سولفات قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش..... ۵۵
- شکل ۴-۲۰- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل ماده آلی و خاک بر غلظت سولفات قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش..... ۵۵
- شکل ۴-۲۱- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل ماده آلی و باکتری تیوباسیلوس بر غلظت سولفات قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش..... ۵۶
- شکل ۴-۲۲- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل خاک و گوگرد بر غلظت سولفات قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش..... ۵۷
- شکل ۴-۲۳- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل خاک و گوگرد بر غلظت سولفات قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش..... ۵۷
- شکل ۴-۲۴- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر غلظت سولفات قابل جذب خاک یک ماه پس از شروع آزمایش..... ۵۸
- شکل ۴-۲۵- مقایسه میانگین‌های اثر گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر غلظت سولفات قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش..... ۵۸
- شکل ۴-۲۶- مقایسه میانگین‌های اثر گوگرد، ماده آلی و خاک بر غلظت سولفات قابل جذب خاک یک ماه پس از شروع آزمایش..... ۵۹
- شکل ۴-۲۷- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نوع خاک، گوگرد و ماده آلی بر غلظت سولفات قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش..... ۵۹

- شکل ۴-۲۸- مقایسه میانگین‌های اثرگوگرد، ماده آلی و خاک بر غلظت سولفات قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش..... ۶۰
- شکل ۴-۲۹- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نوع خاک، ماده آلی و باکتری تیوباسیلوس بر غلظت سولفات قابل جذب خاک یک ماه پس از شروع آزمایش ..... ۶۰
- شکل ۴-۳۰- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل گوگرد، ماده آلی و باکتری تیوباسیلوس بر غلظت سولفات قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۶۱
- شکل ۴-۳۱- مقایسه میانگین‌های اثرگوگرد، ماده آلی و باکتری تیوباسیلوس بر غلظت سولفات قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۶۱
- شکل ۴-۳۲- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نوع خاک، گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر غلظت سولفات قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۶۲
- شکل ۴-۳۳- مقایسه میانگین‌های اثرگوگرد، خاک و باکتری تیوباسیلوس بر غلظت سولفات قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۶۲
- شکل ۴-۳۴- مقایسه میانگین‌های اثر اصلی نوع خاک بر غلظت فسفر قابل جذب خاک دو هفته پس از شروع آزمایش ..... ۶۶
- شکل ۴-۳۵- مقایسه میانگین‌های اثر اصلی نوع خاک بر غلظت فسفر قابل جذب خاک یک ماه پس از شروع آزمایش ..... ۶۶
- شکل ۴-۳۶- مقایسه میانگین‌های اثر اصلی نوع خاک بر غلظت فسفر قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۶۶
- شکل ۴-۳۷- مقایسه میانگین‌های اثر اصلی نوع خاک بر غلظت فسفر قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۶۷
- شکل ۴-۳۸- مقایسه میانگین‌های اثر گوگرد بر غلظت فسفر قابل جذب خاک یک ماه پس از شروع آزمایش ..... ۶۷
- شکل ۴-۳۹- مقایسه میانگین‌های اثر گوگرد بر غلظت فسفر قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۶۸
- شکل ۴-۴۰- مقایسه میانگین‌های اثر گوگرد بر غلظت فسفر قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۶۸
- شکل ۴-۴۱- مقایسه میانگین‌های اثر باکتری تیوباسیلوس بر غلظت فسفر قابل جذب خاک دو هفته پس از شروع آزمایش ..... ۶۹

- شکل ۴-۴۲- مقایسه میانگین‌های اثر باکتری تیوباسیلوس بر غلظت فسفر قابل جذب خاک یک ماه پس از شروع آزمایش ..... ۶۹
- شکل ۴-۴۳- مقایسه میانگین‌های اثر باکتری تیوباسیلوس بر غلظت فسفر قابل جذب در خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۷۰
- شکل ۴-۴۴- مقایسه میانگین‌های اثر باکتری تیوباسیلوس بر غلظت فسفر قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۷۰
- شکل ۴-۴۵- مقایسه میانگین‌های اثر ماده آلی بر غلظت فسفر قابل جذب خاک دو هفته پس از شروع آزمایش ..... ۷۱
- شکل ۴-۴۶- مقایسه میانگین‌های اثر ماده آلی بر غلظت فسفر قابل جذب خاک یک ماه پس از شروع آزمایش ..... ۷۱
- شکل ۴-۴۷- مقایسه میانگین‌های اثر ماده آلی بر غلظت فسفر قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۷۲
- شکل ۴-۴۸- مقایسه میانگین‌های اثر ماده آلی بر غلظت فسفر قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۷۲
- شکل ۴-۴۹- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل خاک و باکتری تیوباسیلوس بر غلظت فسفر قابل جذب خاک دو هفته پس از شروع آزمایش ..... ۷۳
- شکل ۴-۵۰- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل خاک و باکتری تیوباسیلوس بر غلظت فسفر قابل جذب خاک یک ماه پس از شروع آزمایش ..... ۷۳
- شکل ۴-۵۱- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل خاک و باکتری تیوباسیلوس بر غلظت فسفر قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۷۳
- شکل ۴-۵۲- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل خاک و باکتری تیوباسیلوس بر غلظت فسفر قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۷۴
- شکل ۴-۵۳- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر غلظت فسفر قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۷۴
- شکل ۴-۵۴- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل ماده آلی و باکتری تیوباسیلوس بر غلظت فسفر قابل جذب خاک یک ماه پس از شروع آزمایش ..... ۷۵
- شکل ۴-۵۵- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل ماده آلی و باکتری تیوباسیلوس بر غلظت فسفر قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۷۵

- شکل ۴-۵۶- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل ماده آلی و گوگرد بر غلظت فسفر قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۷۶
- شکل ۴-۵۷- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل خاک و گوگرد بر غلظت فسفر قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۷۶
- شکل ۴-۵۸- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل ماده آلی و خاک بر غلظت فسفر قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۷۷
- شکل ۴-۵۹- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل خاک، ماده آلی و باکتری تیوباسیلوس بر غلظت فسفر قابل جذب در خاک یک ماه پس از شروع آزمایش ..... ۷۷
- شکل ۴-۶۰- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نوع خاک، گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر غلظت فسفر قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۷۸
- شکل ۴-۶۱- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل خاک، گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر غلظت فسفر قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۷۸
- شکل ۴-۶۲- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نوع خاک، گوگرد و ماده آلی بر غلظت فسفر قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۷۹
- شکل ۴-۶۳- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل گوگرد، ماده آلی و خاک بر غلظت فسفر قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۷۹
- شکل ۴-۶۴- مقایسه میانگین‌های اثر اصلی نوع خاک بر غلظت آهن قابل جذب خاک دو هفته پس از شروع آزمایش ..... ۸۱
- شکل ۴-۶۵- مقایسه میانگین‌های اثر اصلی نوع خاک بر غلظت آهن قابل جذب خاک یک ماه پس از شروع آزمایش ..... ۸۱
- شکل ۴-۶۶- مقایسه میانگین‌های اثر اصلی نوع خاک بر غلظت آهن قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۸۱
- شکل ۴-۶۷- مقایسه میانگین‌های اثر اصلی نوع خاک بر غلظت آهن قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۸۲
- شکل ۴-۶۸- مقایسه میانگین‌های اثر گوگرد بر غلظت آهن قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۸۲
- شکل ۴-۶۹- مقایسه میانگین‌های سطوح ماده آلی بر غلظت آهن قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۸۳



- شکل ۴-۷۰- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر غلظت آهن قابل جذب خاک یک ماه پس از شروع ..... ۸۴
- شکل ۴-۷۱- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر غلظت آهن قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۸۴
- شکل ۴-۷۲- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر غلظت آهن قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۸۴
- شکل ۴-۷۳- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل خاک و گوگرد بر غلظت آهن قابل جذب خاک یک ماه پس از شروع آزمایش ..... ۸۵
- شکل ۴-۷۴- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل خاک و گوگرد بر غلظت آهن قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۸۵
- شکل ۴-۷۵- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل خاک و گوگرد بر غلظت آهن قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۸۶
- شکل ۴-۷۶- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل ماده آلی و گوگرد بر غلظت آهن قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۸۶
- شکل ۴-۷۷- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل خاک، ماده آلی و باکتری تیوباسیلوس بر غلظت آهن قابل جذب خاک یک ماه پس از شروع آزمایش ..... ۸۷
- شکل ۴-۷۸- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل خاک، باکتری تیوباسیلوس و گوگرد بر غلظت آهن قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۸۸
- شکل ۴-۷۹- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل خاک، ماده آلی و گوگرد بر غلظت آهن قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۸۸
- شکل ۴-۸۰- مقایسه میانگین‌های اثر اصلی نوع خاک بر غلظت روی قابل جذب خاک یک ماه پس از شروع آزمایش ..... ۸۹
- شکل ۴-۸۱- مقایسه میانگین‌های اثر اصلی نوع خاک بر غلظت روی قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۸۹
- شکل ۴-۸۲- مقایسه میانگین‌های اثر اصلی نوع خاک بر غلظت روی قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۹۰
- شکل ۴-۸۳- مقایسه میانگین‌های اثر گوگرد بر غلظت روی قابل جذب خاک یک ماه پس از شروع آزمایش ..... ۹۱

- شکل ۴-۸۴- مقایسه میانگین‌های اثر باکتری تیوباسیلوس بر غلظت روی قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۹۱
- شکل ۴-۸۵- مقایسه میانگین‌های اثر ماده آلی بر غلظت روی قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۹۲
- شکل ۴-۸۶- مقایسه میانگین‌های اثر ماده آلی بر غلظت روی قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۹۲
- شکل ۴-۸۷- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل خاک و گوگرد بر غلظت روی قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۹۳
- شکل ۴-۸۸- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل ماده آلی و خاک بر غلظت روی قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۹۴
- شکل ۴-۸۹- مقایسه میانگین‌های اثر نوع خاک بر pH خاک دو هفته پس از شروع آزمایش ..... ۹۴
- شکل ۴-۹۰- مقایسه میانگین‌های اثر نوع خاک بر pH خاک یک ماه پس از شروع آزمایش ..... ۹۵
- شکل ۴-۹۱- مقایسه میانگین‌های اثر نوع خاک بر pH خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۹۵
- شکل ۴-۹۲- مقایسه میانگین‌های اثر نوع خاک بر pH خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۹۵
- شکل ۴-۹۳- مقایسه میانگین‌های اثر گوگرد بر pH خاک دو هفته پس از شروع آزمایش ..... ۹۶
- شکل ۴-۹۴- مقایسه میانگین‌های اثر گوگرد بر pH خاک یک ماه پس از شروع آزمایش ..... ۹۶
- شکل ۴-۹۵- مقایسه میانگین‌های اثر گوگرد بر pH خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۹۷
- شکل ۴-۹۶- مقایسه میانگین‌های اثر گوگرد بر pH خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۹۷
- شکل ۴-۹۷- مقایسه میانگین‌های اثر باکتری تیوباسیلوس بر pH عصاره اشباع خاک دو هفته پس از شروع آزمایش ..... ۹۸
- شکل ۴-۹۸- مقایسه میانگین‌های اثر باکتری تیوباسیلوس بر pH عصاره اشباع خاک یک ماه پس از شروع آزمایش ..... ۹۸
- شکل ۴-۹۹- مقایسه میانگین‌های اثر باکتری تیوباسیلوس بر pH عصاره اشباع خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۹۸
- شکل ۴-۱۰۰- مقایسه میانگین‌های اثر ماده آلی بر pH خاک دو هفته پس از شروع آزمایش ..... ۹۹
- شکل ۴-۱۰۱- مقایسه میانگین‌های اثر ماده آلی بر pH خاک یک ماه پس از شروع آزمایش ..... ۹۹
- شکل ۴-۱۰۲- مقایسه میانگین‌های اثر ماده آلی بر pH خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۱۰۰
- شکل ۴-۱۰۳- مقایسه میانگین‌های اثر ماده آلی بر pH خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۱۰۰

- شکل ۴-۱۰۴- مقایسه میانگین‌های اثر گوگرد و ماده آلی بر pH عصاره اشباع خاک دو هفته پس از شروع آزمایش ..... ۱۰۱
- شکل ۴-۱۰۵- مقایسه میانگین‌های اثر گوگرد و ماده آلی بر pH عصاره اشباع خاک یک ماه پس از شروع آزمایش ..... ۱۰۱
- شکل ۴-۱۰۶- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل ماده آلی و گوگرد بر pH عصاره اشباع خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۱۰۲
- شکل ۴-۱۰۷- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل خاک و گوگرد بر pH عصاره اشباع خاک دو هفته پس از شروع آزمایش ..... ۱۰۲
- شکل ۴-۱۰۸- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل خاک و گوگرد بر pH عصاره اشباع خاک یک ماه پس از شروع آزمایش ..... ۱۰۳
- شکل ۴-۱۰۹- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل خاک و گوگرد بر pH عصاره اشباع خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۱۰۳
- شکل ۴-۱۱۰- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر pH عصاره اشباع خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۱۰۴
- شکل ۴-۱۱۱- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر pH عصاره اشباع خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۱۰۴
- شکل ۴-۱۱۲- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل ماده آلی و باکتری تیوباسیلوس بر pH عصاره اشباع خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۱۰۵
- شکل ۴-۱۱۳- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل ماده آلی و باکتری تیوباسیلوس بر pH عصاره اشباع خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۱۰۵
- شکل ۴-۱۱۴- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل خاک و ماده آلی بر pH عصاره اشباع خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۱۰۶
- شکل ۴-۱۱۵- مقایسه میانگین‌های اثر نوع خاک، گوگرد و ماده آلی بر pH عصاره اشباع خاک دو هفته پس از شروع آزمایش ..... ۱۰۶
- شکل ۴-۱۱۶- مقایسه میانگین‌های اثر نوع خاک، گوگرد و ماده آلی بر pH عصاره اشباع خاک یک ماه پس از شروع آزمایش ..... ۱۰۷
- شکل ۴-۱۱۷- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نوع خاک، گوگرد و ماده آلی بر pH عصاره اشباع خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۱۰۷

- شکل ۴-۱۱۸- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل ماده آلی، گوگرد و خاک بر pH عصاره اشباع خاک سه ماه پس ..... ۱۰۷
- شکل ۴-۱۱۹- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نوع خاک، گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر pH عصاره اشباع خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۱۰۸
- شکل ۴-۱۲۰- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل خاک، باکتری تیوباسیلوس و گوگرد بر pH عصاره اشباع خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۱۰۸
- شکل ۴-۱۲۱- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل گوگرد، ماده آلی و باکتری تیوباسیلوس بر pH عصاره اشباع خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۱۰۹
- شکل ۴-۱۲۲- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل ماده آلی، باکتری تیوباسیلوس و گوگرد بر pH عصاره اشباع خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۱۰۹
- شکل ۴-۱۲۳- مقایسه میانگین‌های اثر اصلی نوع خاک بر EC عصاره اشباع خاک دو هفته پس از شروع آزمایش ..... ۱۱۰
- شکل ۴-۱۲۴- مقایسه میانگین‌های اثر اصلی نوع خاک بر EC عصاره اشباع خاک یک ماه پس از شروع آزمایش ..... ۱۱۱
- شکل ۴-۱۲۵- مقایسه میانگین‌های اثر اصلی نوع خاک بر EC عصاره اشباع خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۱۱۱
- شکل ۴-۱۲۶- مقایسه میانگین‌های اثر اصلی نوع خاک بر EC عصاره اشباع خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۱۱۱
- شکل ۴-۱۲۷- مقایسه میانگین‌های اثر گوگرد بر EC عصاره اشباع خاک دو هفته پس از شروع آزمایش ..... ۱۱۲
- شکل ۴-۱۲۸- مقایسه میانگین‌های اثر گوگرد بر EC عصاره اشباع خاک یک ماه پس از شروع آزمایش ..... ۱۱۲
- شکل ۴-۱۲۹- مقایسه میانگین‌های اثر گوگرد بر EC عصاره اشباع خاک دو ماه پس از شروع آزمایش ..... ۱۱۳
- شکل ۴-۱۳۰- مقایسه میانگین‌های اثر گوگرد بر EC عصاره اشباع خاک سه ماه پس از شروع آزمایش ..... ۱۱۳
- شکل ۴-۱۳۱- مقایسه میانگین‌های اثر باکتری تیوباسیلوس بر EC عصاره اشباع خاک دو هفته پس از شروع آزمایش ..... ۱۱۴