

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



پایان نامه‌ی دکتری رشته‌ی خاکشناسی گرایش شیمی و حاصلخیزی خاک

اثر ریزوسفر لوبیا و گندم بر قابلیت استفاده، جزبندی و سینتیک آزادسازی فسفر  
در خاک‌های آهکی تیمار شده با لجن فاضلاب شهری

استاد راهنما:

دکتر علیرضا حسین‌پور

استادان مشاور:

دکتر فایز رئیسی

دکتر جهانگرد محمدی

پژوهشگر:

طاهره رئیسی

مهر ماه ۱۳۹۲

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات  
و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه  
متعلق به دانشگاه شهرکرد است.



پایان نامه خانم طاهره رئیسی جهت اخذ درجه دکتری رشته خاکشناسی گرایش شیمی و حاصلخیزی خاک با عنوان : اثر ریزوسفر لوبیا و گندم بر قابلیت استفاده، جزءبندی و سینتیک آزادسازی فسفر در خاک های آهکی تیمار شده با لجن فاضلاب شهری در تاریخ ۱۳۹۲/۰۷/۲۸ با حضور هیأت داوران زیر بررسی و با رتبه..... مورد تصویب نهایی قرار گرفت.

۱. استاد راهنمای پایان نامه:

دکتر علیرضا حسین پور، (استاد)

.....

۲. استادان مشاور پایان نامه:

دکتر فایز رئیسی، (استاد)

دکتر جهانگرد محمدی، (دانشیار)

.....

.....

۳. استادان داور پایان نامه:

دکتر حسین شریعتمداری، (استاد)

دکتر امیرحسین خوشگفتارمنش، (استاد)

دکتر محمد حسن صالحی، (دانشیار)

دکتر شهرام کیانی، (استادیار)

.....

.....

.....

.....

دکتر سید حسن طباطبائی  
معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی  
دانشکده کشاورزی

تقدیم بہ:

برادر عزیزم

او کہ مہر شہ بی دریغ بود و دلگسنگی ام برایش بی پایان است

و پدر و مادر عزیزم

## تشکر و قدردانی

خدایا نمی‌خواهم هوش را، بدون عطر حضور تو. نمی‌خواهم دیکته‌ی بی‌غلط را، بی آنکه نام تو بر سر سطر نباشد. بگذار بشکفم به فرمان تو. این قامت راست، بی یاد تو کج است و این کج به نام تو راست می‌رود. خدایا امان بده تا همواره در حال حرکت باشم و از شوق کشف ناگفته‌ها نمانم. فرصت بده تا همیشه تشنه بمانم و باز عطش مرا بی‌تاب طلب علم کند.

هم‌اکنون که به لطف الهی به فرجام این پژوهش رسیده‌ام، بر خود فرض می‌دانم از تمام بزرگوارانی که در مراحل مختلف این راه پر فراز و نشیب، اما به غایت دلنشین مرا یاری کردند، صمیمانه تشکر و قدردانی کنم. این پایان‌نامه به اتمام نمی‌رسید مگر به رهنمودهای بی‌دریغ استاد راهنمای فرهیخته‌ام جناب آقای دکتر حسین پور و استادان مشاور ارجمند جناب آقای دکتر رئیسی و جناب آقای دکتر محمدی، که هر آنچه را بضاعت علمی است، کم من و کرم ایشان باشد.

سپاسدار استادان بزرگوار و گران‌مایه جناب آقای دکتر شریعتمداری، جناب آقای دکتر خوشگفتارمنش، جناب آقای دکتر کیانی و جناب آقای دکتر صالحی هستم که زحمت ارزیابی و داوری این پایان‌نامه را بر عهده داشتند. منت آموختن نکته‌های دقیق اخلاقی و علمی از استاد عزیز و فرزانه جناب آقای دکتر سید حسن طباطبائی برای همیشه بر گردن من خواهد بود.

تمام احساس قلبی و بهترین سپاس‌ها را نثار اعضای خانواده‌ام می‌کنم: پدر و مادر عزیزم که هرچه دارم نتیجه‌ی تلاش، از خود گذشتگی و دعای خیر آنها است و برادران و خواهرانم. از سمانه، زهرا، زهره، مهرنوش و گلنوش عزیزم و تمامی دوستان دوران تحصیل به‌ویژه سرکار خانم‌ها اخوت، محمودی و براتی صمیمانه سپاسگزارم. یاد و خاطره‌ی آنها برای همیشه در ذهن من باقی خواهد ماند.

طاهره رئیسی

مهرماه ۱۳۹۲

دانشگاه شهرکرد

## چکیده

ریشه گیاه به‌طور مستقیم از طریق فعالیت خود یا به‌طور غیرمستقیم از طریق تحریک جمعیت و فعالیت ریزجانداران می‌تواند شرایط بیولوژیکی و شیمیایی متفاوتی در مقایسه با خاک توده ایجاد کند. این پژوهش با هدف ارزیابی اثرات ریزوسفر گندم و لوبیا بر قابلیت استفاده، جزءبندی و ویژگی‌های آزاد شدن فسفر در ۱۰ خاک آهکی تیمار شده و تیمارنشده با لجن فاضلاب شهری در ریزوباکس اجرا شد. نمونه خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری (یک درصد وزنی) به مدت ۳۰ روز در دمای  $25 \pm 1$  سلسیوس و در رطوبت معادل ۷۰٪ ظرفیت مزرعه خوابانیده شدند. پس از پایان دوره آنکوباسیون در دو آزمایش جداگانه و تحت شرایط گلخانه، لوبیا قرمز و گندم در ریزوباکس طراحی شده کشت شدند. هشت هفته پس از جوانه زدن، گیاهان برداشت و ریزوباکس‌ها باز و خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری تفکیک گردیدند. کربن آلی محلول، کربن زیست‌توده میکروبی، فسفر زیست‌توده میکروبی، فعالیت فسفاتاز قلیایی و اسیدی، فسفر قابل استفاده (چهار روش عصاره‌گیری شیمیایی شامل: روش‌های اولسن، کلرید کلسیم، مهلیچ I و بری II)، و جزءبندی فسفر به روش اولسن و سامرز در نمونه خاک‌ها تعیین گردید. هم‌چنین، سینتیک آزادسازی فسفر از خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری توسط عصاره‌گیری متوالی با بی‌کربنات سدیم در یک دوره از ۲ تا ۱۰۰۸ ساعت برای لوبیا و ۲ تا ۸۴۰ ساعت برای گندم در دمای  $25 \pm 1$  درجه سلسیوس بررسی شد. نتایج نشان داد که کربن آلی محلول، کربن زیست‌توده میکروبی، فسفر زیست‌توده میکروبی، فعالیت فسفاتازها در خاک‌های ریزوسفری تیمار نشده و تیمار شده تحت کشت هر دو گیاه افزایش یافتند. هم‌چنین، مقدار فسفر استخراجی با روش‌های مختلف عصاره‌گیری در خاک‌های ریزوسفری کمتر از غیرریزوسفری بود. به‌طور کلی، در خاک‌های تیمار نشده تفاوتی بین جزءهای مختلف فسفر در خاک‌های ریزوسفری گندم و لوبیا با خاک‌های غیرریزوسفری این گیاهان مشاهده نشد. لیکن، ریزوسفر لوبیا منجر به تخلیه معنی‌دار جزءهای فسفر مرتبط با اکسیدهای آهن و آلومینیوم، فسفر مسدود شده و فسفر باقیمانده، عدم تغییر فسفر مرتبط با کلسیم و تجمع معنی‌دار فسفر آلی در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شد. مازاد براین، ریزوسفر گندم منجر به کاهش معنی‌دار جزءهای فسفر مرتبط با اکسیدهای آهن و آلومینیوم و فسفر باقیمانده، عدم تغییر فسفر آلی ولی افزایش معنی‌دار فسفر مرتبط با کلسیم در تیمار لجن فاضلاب گردید. در خاک‌های تیمار نشده مقدار فسفر تجمعی آزاد شده از خاک‌های ریزوسفری گندم و لوبیا، به‌طور معنی‌دار کمتر از خاک‌های غیرریزوسفری بود. در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب در کشت لوبیا نیز مقدار فسفر آزاد شده از خاک‌های ریزوسفری به‌طور معنی‌دار کمتر از خاک‌های غیرریزوسفری بود، در حالی‌که در کشت گندم مقدار فسفر آزاد شده از خاک‌های ریزوسفری به‌طور معنی‌دار بیشتر از خاک‌های غیرریزوسفری بود. به‌طور خلاصه، نتایج تحقیق حاضر نشان داد که (۱) ریشه گیاه می‌تواند شرایط بیولوژیکی و شیمیایی متفاوتی در محیط پیرامون خود ایجاد و در نتیجه بر شیمی فسفر خاک تأثیر داشته باشد؛ (۲) در مجاورت سطح ریشه فسفر قابل استفاده شدیداً کاهش یافت که میزان این کاهش به مصرف لجن و نوع گیاه بستگی داشت؛ (۳) اثر ریزوسفری بر اجزاء مختلف فسفر تنها هنگام مصرف لجن فاضلاب قابل مشاهده بود و تا اندازه‌ای به نوع گیاه بستگی داشت و (۴) سرعت آزادسازی فسفر به مصرف لجن و به نوع گونه گیاه بستگی داشت به‌گونه‌ای که هنگام استفاده از لجن، در ریزوسفر لوبیا آزادسازی فسفر همواره کمتر ولی در ریزوسفر گندم بیشتر بود.

**کلمات کلیدی:** ریزوسفر، ویژگی‌های بیولوژیکی، عصاره‌گیرهای شیمیایی، عصاره‌گیری مرحله‌ای، عصاره‌گیری متوالی

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱۲	فصل اول- کلیات و معرفی طرح.....
۱۶	فصل دوم- پیشینه تحقیق و بررسی منابع.....
۱۶	۱-۲ ریزوسفر.....
۲۲	۲-۲ قابلیت استفاده فسفر در ریزوسفر.....
۲۴	۳-۲ جزءبندی فسفر در ریزوسفر.....
۲۸	۴-۲ سینتیک آزادسازی فسفر در ریزوسفر.....
۳۱	فصل سوم- نمونه برداری و تهیه خاک ریزوسفری.....
۳۱	۱-۳ نمونه برداری و انتخاب نمونه های خاک.....
۳۱	۲-۳ لجن فاضلاب.....
۳۲	۳-۳ کشت گلخانه ای.....
۳۲	۱-۳-۳ کشت لوبیا.....
۳۴	۲-۳-۳ کشت گندم.....
	فصل چهارم- اثرهای ریزوسفری بر ویژگی های میکروبیولوژیکی و شیمیایی در خاک های تیمار نشده و تیمار شده با
۳۶	لجن فاضلاب شهری.....
۳۶	۱-۴ مقدمه.....
۳۷	۱-۴ مواد و روش ها.....
۳۹	۲-۴ نتایج و بحث.....
۳۹	۱-۲-۴ ویژگی های فیزیکی و شیمیایی نمونه های خاک اولیه.....
۴۲	۲-۲-۴ برخی از ویژگی های لجن فاضلاب.....
	۳-۲-۴ اثر ریزوسفر لوبیا بر برخی از ویژگی های میکروبیولوژیکی و شیمیایی در خاک های تیمار نشده و تیمار شده با
۴۳	لجن فاضلاب شهری.....
۴۳	۱-۳-۲-۴ اثر ریزوسفر لوبیا بر برخی از ویژگی های میکروبیولوژیکی و شیمیایی در خاک های تیمار نشده.....
۴۶	۲-۳-۲-۴ اثر ریزوسفر لوبیا بر برخی از ویژگی های میکروبیولوژیکی در خاک های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری.....
۴۹	۳-۳-۲-۴ اثر لجن فاضلاب بر برخی از ویژگی های میکروبیولوژیکی و شیمیایی در کشت لوبیا.....
۵۲	۴-۳-۲-۴ همبستگی شاخص های گیاه لوبیا با ویژگی های شیمیایی و میکروبیولوژیکی مطالعه شده در خاک های ریزوسفری و غیر ریزوسفری.....
۵۵	۴-۲-۴ اثرهای ریزوسفر گندم بر برخی از ویژگی های میکروبیولوژیکی در خاک های تیمار نشده و تیمار شده با لجن فاضلاب شهری.....
۵۵	۱-۴-۲-۴ اثرهای ریزوسفر گندم بر برخی از ویژگی های میکروبیولوژیکی و شیمیایی در خاک های تیمار نشده.....



۲-۴-۲-۴ اثرهای ریزوسفر گندم بر برخی از ویژگی‌های میکروبیولوژیکی در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری.....	۵۸
۳-۴-۲-۴ اثر لجن فاضلاب بر برخی از ویژگی‌های میکروبیولوژیکی و شیمیایی در کشت گندم.....	۶۰
۴-۴-۲-۴ همبستگی شاخص‌های گیاه گندم با ویژگی‌های شیمیایی و میکروبیولوژیکی مطالعه شده در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری.....	۶۳
۵-۲-۴ مقایسه تأثیر ریزوسفر گندم و لوبیا بر ویژگی‌های میکروبیولوژیکی و شیمیایی خاک‌های تیمار نشده و تیمار شده با لجن فاضلاب شهری.....	۶۶

### فصل پنجم- اثرهای ریزوسفری بر قابلیت استفاده فسفر در خاک‌های تیمار نشده و تیمار شده با لجن فاضلاب.....

۱-۵ مقدمه.....	۶۸
۲-۵ مواد و روش‌ها.....	۷۱
۳-۵ نتایج و بحث.....	۷۲
۱-۳-۵ اثرهای ریزوسفر لوبیا بر قابلیت استفاده فسفر در خاک‌های تیمار نشده و تیمار شده با لجن فاضلاب شهری.....	۷۲
۱-۱-۳-۵ اثرهای ریزوسفر لوبیا بر قابلیت استفاده فسفر در خاک‌های تیمار نشده.....	۷۲
۲-۱-۳-۵ اثرهای ریزوسفر لوبیا بر قابلیت استفاده فسفر در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری.....	۷۷
۳-۱-۳-۵ اثر لجن فاضلاب بر فسفر استخراجی با روش‌های مختلف عصاره‌گیری در کشت لوبیا.....	۸۱
۴-۱-۳-۵ همبستگی شاخص‌های گیاه لوبیا با فسفر قابل استفاده در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری.....	۸۳
۲-۳-۵ اثر ریزوسفر گندم بر قابلیت استفاده فسفر در خاک‌های تیمار نشده و تیمار شده با لجن فاضلاب شهری.....	۸۴
۱-۲-۳-۵ اثرهای ریزوسفر گندم بر قابلیت استفاده فسفر در خاک‌های تیمار نشده.....	۸۴
۲-۲-۳-۵ اثرهای ریزوسفر گندم بر قابلیت استفاده فسفر در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری.....	۸۸
۳-۲-۳-۵ اثر لجن فاضلاب بر فسفر استخراجی با روش‌های مختلف عصاره‌گیری در کشت گندم.....	۹۲
۴-۲-۳-۵ همبستگی شاخص‌های گیاه گندم با فسفر قابل استفاده در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری.....	۹۴
۳-۳-۵ مقایسه تأثیر ریزوسفر لوبیا و گندم بر فسفر عصاره‌گیری شده در خاک‌های تیمار نشده و تیمار شده با لجن فاضلاب شهری.....	۹۵

### فصل ششم- فصل ششم- اثرهای ریزوسفری بر جزئبندی فسفر در خاک‌های تیمار نشده و تیمار شده با لجن فاضلاب شهری.....

۱-۶ مقدمه.....	۹۹
۲-۶ مواد و روش‌ها.....	۱۰۴
۳-۶ نتایج و بحث.....	۱۰۷
۱-۳-۶ اثر ریزوسفر لوبیا بر جزئبندی فسفر در خاک‌های تیمار نشده و تیمار شده با لجن فاضلاب شهری.....	۱۰۷
۱-۱-۳-۶ اثر ریزوسفر لوبیا بر جزئبندی فسفر در خاک‌های تیمار نشده.....	۱۰۷
۲-۱-۳-۶ اثر ریزوسفر لوبیا بر جزئبندی فسفر در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری.....	۱۱۳
۳-۱-۳-۶ اثر لجن فاضلاب بر جزئبندی فسفر در کشت لوبیا.....	۱۱۷
۲-۳-۶ همبستگی شاخص‌های گیاه لوبیا با جزءهای مختلف فسفر در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری.....	۱۲۰

۳-۳-۶ اثر ریزوسفر گندم بر جزءبندی فسفر در خاک‌های تیمار نشده و تیمار شده با لجن فاضلاب شهری.....	۱۲۱
۱-۳-۳-۶ اثر ریزوسفر گندم بر جزءبندی فسفر در خاک‌های تیمار نشده.....	۱۲۱
۲-۳-۳-۶ اثر ریزوسفر گندم بر جزءبندی فسفر در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری.....	۱۲۶
۳-۳-۳-۶ اثر لجن فاضلاب بر جزءبندی فسفر در کشت گندم.....	۱۳۰
۴-۳-۳-۶ همبستگی شاخص‌های گیاه گندم با با جزءهای مختلف فسفر در خاک‌های ریزوسفیری و غیرریزوسفیری.....	۱۳۲
۴-۳-۶ مقایسه تأثیر ریزوسفر لوبیا و گندم بر اجزاء مختلف فسفر در خاک‌های تیمار نشده و تیمار شده با لجن فاضلاب شهری.....	۱۳۳

### فصل هفتم- اثرهای ریزوسفیری بر سینتیک آزادسازی فسفر در خاک‌های تیمار نشده و تیمار شده با لجن فاضلاب

شهری.....	۱۳۷
۱-۷ مقدمه.....	۱۳۷
۲-۷ مواد و روش‌ها.....	۱۳۸
۳-۷ نتایج و بحث.....	۱۳۹
۱-۳-۷ اثرهای ریزوسفر لوبیا بر سینتیک آزادسازی فسفر در خاک‌های تیمار نشده و تیمار شده با لجن فاضلاب شهری.....	۱۳۹
۱-۱-۳-۷ اثرهای ریزوسفر لوبیا بر سینتیک آزادسازی فسفر در خاک‌های تیمار نشده.....	۱۳۹
۲-۱-۳-۷ اثرهای ریزوسفر لوبیا بر سینتیک آزادسازی فسفر در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری.....	۱۵۰
۳-۱-۳-۷ اثر لجن فاضلاب بر سینتیک آزادسازی فسفر در کشت لوبیا.....	۱۵۸
۴-۱-۳-۷ همبستگی شاخص‌های لوبیا با ویژگی‌های رهاسازی فسفر در خاک‌های ریزوسفیری و غیرریزوسفیری.....	۱۶۰
۲-۳-۷ اثر ریزوسفر گندم بر سینتیک آزادسازی فسفر از خاک‌های تیمار نشده و تیمار شده با لجن فاضلاب شهری.....	۱۶۳
۱-۲-۳-۷ اثر ریزوسفر گندم بر سینتیک آزادسازی فسفر از خاک‌های تیمار نشده.....	۱۶۳
۲-۲-۳-۷ اثرهای ریزوسفر گندم بر سینتیک واجذبی فسفر در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری.....	۱۷۲
۳-۲-۳-۷ اثر لجن فاضلاب بر سینتیک آزادسازی فسفر در کشت گندم.....	۱۸۰
۴-۲-۳-۷ همبستگی شاخص‌های گندم با ویژگی‌های رهاسازی فسفر در خاک‌های ریزوسفیری و غیرریزوسفیری.....	۱۸۲

### فصل هشتم- نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....

۱-۸ نتیجه‌گیری.....	۱۸۶
۲-۸ پیشنهادات.....	۱۸۷

## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۳۱.....	فصل سوم-نمونه‌برداری و تهیه خاک ریزوسفری.....
شکل ۱-۳	موقیت نقاط نمونه‌برداری شده (نقاط مشخص شده با استفاده از فلش، نقاط انتخاب شده برای ادامه تحقیق می‌باشند).....
۳۲.....	شکل ۲-۳ ساختار شماتیک ریزوباکس مورد استفاده.....
۳۳.....	شکل ۳-۳ کشت لوبیا در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری در گلخانه.....
۳۴.....	شکل ۴-۳ کشت گندم در خاک‌های تیمار نشده و تیمار شده با لجن فاضلاب شهری در گلخانه.....
۳۵.....	شکل ۵-۳ ریزوباکس باز شده در خاک شماره ۹ در کشت لوبیا.....
<b>فصل هفتم- اثرهای ریزوسفری بر سینتیک آزادسازی فسفر در خاک‌های تیمار نشده و تیمار شده با لجن فاضلاب شهری.....</b>	
۱۳۷.....	شکل ۱-۷ مقدار تجمعی فسفر آزاد شده با زمان از خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری لوبیا در خاک‌های تیمار نشده.....
۱۴۰.....	شکل ۲-۷ مقدار تجمعی فسفر آزاد شده با زمان از خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری لوبیا در خاک‌های تیمار شده.....
۱۵۱.....	شکل ۳-۷ مقدار تجمعی فسفر آزاد شده با زمان از خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار نشده.....
۱۶۳.....	شکل ۴-۷ مقدار تجمعی فسفر واجذب شده با زمان از خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار شده.....
۱۷۲.....	

## فهرست جدول‌ها

صفحه

عنوان

	فصل چهارم- اثرهای ریزوسفری بر ویژگی‌های میکروبیولوژیکی و شیمیایی در خاک‌های تیمارنشده و تیمار شده با لجن فاضلاب شهری.....	۳۶
جدول ۴-۱	برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ۳۰ نمونه خاک اولیه برداشت شده .....	۴۰
جدول ۴-۲	برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اولیه ۱۰ نمونه خاک انتخاب شده برای ادامه تحقیق.....	۴۱
جدول ۴-۳	اثر ریزوسفر لوبیا بر پ-هاش، کربن آلی محلول و فسفر محلول در خاک‌های تیمار نشده.....	۴۳
جدول ۴-۴	اثر ریزوسفر لوبیا بر ویژگی‌های میکروبیولوژیکی در خاک‌های تیمار نشده.....	۴۴
جدول ۴-۵	اثر ریزوسفر لوبیا بر درصد فسفر زیست‌توده میکروبی از فسفر آلی و نسبت کربن زیست‌توده به فسفر زیست‌توده میکروبی در خاک‌های تیمار نشده .....	۴۶
جدول ۴-۶	اثر ریزوسفر لوبیا بر پ-هاش، کربن آلی محلول و فسفر محلول در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری .....	۴۷
جدول ۴-۷	اثر ریزوسفر لوبیا بر ویژگی‌های میکروبیولوژیکی در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری .....	۴۸
جدول ۴-۸	اثر ریزوسفر لوبیا بر درصد فسفر زیست‌توده میکروبی از فسفر آلی و نسبت کربن زیست‌توده به فسفر زیست‌توده میکروبی در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری.....	۴۹
جدول ۴-۹	تجزیه واریانس اثر تیمارها بر برخی از ویژگی‌های میکروبیولوژیکی و شیمیایی در کشت لوبیا.....	۵۱
جدول ۴-۱۰	اثر متقابل سطح لجن و محیط (ریزوسفر و غیرریزوسفر) بر ویژگی‌های بیولوژیکی مطالعه شده در کشت لوبیا .....	۵۱
جدول ۴-۱۱	شاخص‌های گیاه لوبیا در خاک‌های مطالعه شده.....	۵۳
جدول ۴-۱۲	ضرایب همبستگی شاخص‌های گیاه لوبیا با ویژگی‌های میکروبیولوژیکی در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری (n=۳۰).....	۵۴
جدول ۴-۱۳	اثر ریزوسفر گندم بر پ-هاش، کربن آلی محلول و فسفر محلول در خاک‌های تیمار نشده.....	۵۵
جدول ۴-۱۴	اثر ریزوسفر گندم بر ویژگی‌های میکروبیولوژیکی در خاک‌های تیمار نشده.....	۵۶
جدول ۴-۱۵	اثر ریزوسفر گندم بر درصد فسفر زیست‌توده میکروبی از فسفر آلی و نسبت کربن زیست‌توده به فسفر زیست‌توده میکروبی در خاک‌های تیمار نشده .....	۵۷
جدول ۴-۱۶	اثر ریزوسفر گندم بر پ-هاش، کربن آلی محلول و فسفر محلول در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری .....	۵۸
جدول ۴-۱۷	اثر ریزوسفر گندم بر ویژگی‌های میکروبیولوژیکی در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری.....	۵۹
جدول ۴-۱۸	اثر ریزوسفر گندم بر درصد فسفر زیست‌توده میکروبی از فسفر آلی و نسبت کربن زیست‌توده به فسفر زیست‌توده میکروبی در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری.....	۶۰
جدول ۴-۱۹	تجزیه واریانس اثر تیمارها بر برخی از ویژگی‌های میکروبیولوژیکی و شیمیایی در کشت گندم .....	۶۲
جدول ۴-۲۰	اثر متقابل سطح لجن و محیط (ریزوسفر و غیرریزوسفر) بر ویژگی‌های بیولوژیکی مطالعه شده در کشت گندم.....	۶۲
جدول ۴-۲۱	شاخص‌های گیاه گندم در خاک‌های مطالعه شده.....	۶۴
جدول ۴-۲۲	ضرایب همبستگی شاخص‌های گیاه گندم با ویژگی‌های میکروبیولوژیکی در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری (n=۳۰).....	۶۵

جدول ۴-۲۳ درصد نسبی تغییر ویژگی‌های میکروبیولوژیکی مطالعه شده در خاک‌های ریزوسفری نسبت به خاک‌های غیرریزوسفری لوبیا و گندم در خاک‌های تیمار نشده..... ۶۶

جدول ۴-۲۴ درصد نسبی تغییر ویژگی‌های میکروبیولوژیکی مطالعه شده در خاک‌های ریزوسفری نسبت به خاک‌های غیرریزوسفری لوبیا و گندم در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری..... ۶۷

فصل پنجم- ثرهای ریزوسفری بر قابلیت استفاده فسفر در خاک‌های تیمارنشده و تیمار شده با لجن فاضلاب شهری..... ۶۸

جدول ۵-۱ روش‌های عصاره‌گیری شیمیایی مورد استفاده در تعیین فسفر قابل استفاده در خاک‌های تیمار نشده و تیمار شده..... ۷۱

جدول ۵-۲ اثر ریزوسفر لوبیا بر مقدار فسفر استخراجی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) توسط روش‌های عصاره‌گیری مختلف در خاک‌های تیمار نشده..... ۷۴

جدول ۵-۳ ضرایب همبستگی بین فسفر عصاره‌گیری شده با استفاده از هر عصاره‌گیر شیمیایی از خاک‌های غیرریزوسفری با فسفر عصاره‌گیری شده با استفاده از همان عصاره‌گیر از خاک‌های ریزوسفری لوبیا در خاک‌های تیمار نشده..... ۷۵

جدول ۵-۴ ضرایب همبستگی بین فسفر استخراجی توسط چهار روش عصاره‌گیری شیمیایی در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری لوبیا در خاک‌های تیمار نشده (n=۳۰)..... ۷۶

جدول ۵-۵ ضرایب همبستگی بین فسفر استخراجی توسط چهار روش عصاره‌گیری با برخی از ویژگی‌های میکروبیولوژیکی مطالعه شده در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری لوبیا در خاک‌های تیمار نشده (n=۳۰)..... ۷۷

جدول ۵-۶ اثر ریزوسفر لوبیا بر مقدار فسفر استخراجی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) توسط روش‌های عصاره‌گیری مختلف در خاک‌های تیمار شده..... ۷۸

جدول ۵-۷ ضرایب همبستگی بین فسفر عصاره‌گیری شده با استفاده از هر عصاره‌گیر شیمیایی از خاک‌های غیرریزوسفری با فسفر عصاره‌گیری شده با استفاده از همان عصاره‌گیر از خاک‌های ریزوسفری لوبیا در خاک‌های تیمار شده (n=۳۰)..... ۷۹

جدول ۵-۸ ضرایب همبستگی بین فسفر استخراجی توسط چهار روش عصاره‌گیری در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری لوبیا در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری (n=۳۰)..... ۸۰

جدول ۵-۹ ضرایب همبستگی فسفر استخراجی توسط چهار روش عصاره‌گیری با برخی از ویژگی‌های میکروبیولوژیکی مطالعه شده در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری لوبیا در خاک‌های تیمار شده (n=۳۰)..... ۸۰

جدول ۵-۱۰ تجزیه واریانس اثر تیمارها بر مقدار فسفر استخراجی توسط عصاره‌گیرهای مختلف شیمیایی در کشت لوبیا..... ۸۱

جدول ۵-۱۱ اثر متقابل سطح لجن و محیط (ریزوسفر و غیرریزوسفر) بر مقدار فسفر استخراجی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) توسط عصاره‌گیرهای مختلف شیمیایی در کشت لوبیا..... ۸۱

جدول ۵-۱۲ ضرایب همبستگی شاخص‌های گیاه لوبیا با فسفر استخراجی توسط روش‌های مختلف عصاره‌گیری در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری (n=۳۰)..... ۸۴

جدول ۵-۱۳ اثر ریزوسفر گندم بر مقدار فسفر استخراجی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) توسط روش‌های عصاره‌گیری مختلف در خاک‌های تیمار نشده..... ۸۶

- جدول ۵-۱۴ ضرایب همبستگی بین فسفر عصاره‌گیری شده با استفاده از هر عصاره‌گیر شیمیایی از خاک‌های غیرریزوسفری با فسفر عصاره‌گیری شده با استفاده از همان عصاره‌گیر از خاک‌های ریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار نشده..... ۸۷
- جدول ۵-۱۵ همبستگی بین فسفر استخراجی توسط چهار روش عصاره‌گیری در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار نشده (n=۳۰)..... ۸۷
- جدول ۵-۱۶ ضرایب همبستگی بین فسفر استخراجی توسط چهار روش عصاره‌گیری با برخی از ویژگی‌های میکروبیولوژیکی مطالعه شده در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار نشده (n=۳۰)..... ۸۸
- جدول ۵-۱۷ اثر ریزوسفر گندم بر مقدار فسفر استخراجی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) توسط روش‌های عصاره‌گیری مختلف در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری..... ۹۰
- جدول ۵-۱۸ ضرایب همبستگی بین فسفر عصاره‌گیری شده با استفاده از هر عصاره‌گیر از خاک‌های غیرریزوسفری با فسفر عصاره‌گیری شده با استفاده از همان عصاره‌گیر از خاک‌های ریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری..... ۹۱
- جدول ۵-۱۹ ضرایب همبستگی بین فسفر استخراجی توسط چهار روش عصاره‌گیری در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری (n=۳۰)..... ۹۱
- جدول ۵-۲۰ ضرایب همبستگی فسفر استخراجی توسط چهار روش عصاره‌گیری با برخی از ویژگی‌های میکروبیولوژیکی مطالعه شده در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری (n=۳۰)..... ۹۲
- جدول ۵-۲۱ تجزیه واریانس اثر تیمارها بر مقدار فسفر استخراجی توسط عصاره‌گیرهای مختلف شیمیایی در کشت گندم..... ۹۳
- جدول ۵-۲۲ اثر متقابل سطح لجن و محیط (ریزوسفر و غیرریزوسفر) بر مقدار فسفر استخراجی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) توسط عصاره‌گیرهای مختلف شیمیایی در کشت گندم..... ۹۳
- جدول ۵-۲۳ ضرایب همبستگی شاخص‌های گیاه گندم با فسفر استخراجی توسط روش‌های مختلف عصاره‌گیری در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری (n=۳۰)..... ۹۵
- جدول ۵-۲۴ درصد نسبی تغییر فسفر عصاره‌گیری شده در خاک‌های ریزوسفری نسبت به خاک‌های غیرریزوسفری خاک‌های تیمار نشده در کشت لوبیا و گندم..... ۹۶
- جدول ۵-۲۵ درصد نسبی تغییر فسفر عصاره‌گیری شده در خاک‌های ریزوسفری نسبت به خاک‌های غیرریزوسفری تیمار شده در کشت لوبیا و گندم..... ۹۷
- فصل ششم- اثرهای ریزوسفری بر جزئ بندی فسفر در خاک‌های تیمار نشده و تیمار شده با لجن فاضلاب شهری..... ۹۹**
- جدول ۶-۱ جزئ بندی متوالی فسفر به روش اولسن و سامرز (۱۹۸۲)..... ۱۰۶
- جدول ۶-۲ اثر ریزوسفر لوبیا بر جزئ بندی فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های تیمار نشده..... ۱۰۸
- جدول ۶-۳ ضرایب همبستگی بین جزءهای مختلف فسفر در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری لوبیا در خاک‌های تیمار نشده (n=۳۰)..... ۱۱۰
- جدول ۶-۴ ضرایب همبستگی جزءهای مختلف فسفر با ویژگی‌های میکروبیولوژیکی در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری لوبیا در خاک‌های تیمار نشده (n=۳۰)..... ۱۱۱
- جدول ۶-۵ ضرایب همبستگی جزءهای مختلف فسفر با فسفر استخراجی توسط عصاره‌گیرهای شیمیایی در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری لوبیا در خاک‌های تیمار نشده (n=۳۰)..... ۱۱۲

جدول ۶-۶ اثر ریزوسفر لوبیا بر جزءبندی فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری	۱۱۴
جدول ۶-۷ ضرایب همبستگی بین جزءهای مختلف فسفر در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری لوبیا در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری (n=۳۰)	۱۱۶
جدول ۶-۸ ضرایب همبستگی جزءهای مختلف فسفر با برخی ویژگی‌های میکروبیولوژیکی در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری لوبیا در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری (n=۳۰)	۱۱۶
جدول ۶-۹ ضرایب همبستگی جزءهای مختلف فسفر با فسفر استخراجی توسط عصاره‌گیرهای شیمیایی در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری لوبیا در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری (n=۳۰)	۱۱۷
جدول ۶-۱۰ تجزیه واریانس اثر تیمارها بر جزءهای مختلف فسفر در کشت لوبیا	۱۱۸
جدول ۶-۱۱ اثر متقابل سطح لجن و محیط (ریزوسفر و غیرریزوسفر) بر جزءهای مختلف فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم) در کشت لوبیا	۱۱۸
جدول ۶-۱۲ ضرایب همبستگی شاخص‌های گیاه لوبیا با جزءهای مختلف فسفر در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری (n=۳۰)	۱۲۰
جدول ۶-۱۳ اثر ریزوسفر گندم بر جزءبندی فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های تیمار نشده	۱۲۲
جدول ۶-۱۴ ضرایب همبستگی بین جزءهای مختلف فسفر در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار نشده (n=۳۰)	۱۲۴
جدول ۶-۱۵ ضرایب همبستگی جزءهای مختلف فسفر با برخی ویژگی‌های میکروبیولوژیکی در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار نشده (n=۳۰)	۱۲۵
جدول ۶-۱۶ ضرایب همبستگی جزءهای مختلف فسفر با فسفر استخراجی توسط عصاره‌گیرهای شیمیایی در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار نشده (n=۳۰)	۱۲۵
جدول ۶-۱۷ اثر ریزوسفر گندم بر جزءبندی فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری	۱۲۷
جدول ۶-۱۸ ضرایب همبستگی بین جزءهای مختلف فسفر در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری (n=۳۰)	۱۲۹
جدول ۶-۱۹ ضرایب همبستگی جزءهای مختلف فسفر با برخی ویژگی‌های میکروبیولوژیکی در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری (n=۳۰)	۱۲۹
جدول ۶-۲۰ ضرایب همبستگی جزءهای مختلف فسفر با فسفر استخراجی توسط عصاره‌گیرهای شیمیایی در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری (n=۳۰)	۱۳۰
جدول ۶-۲۱ تجزیه واریانس اثر تیمارها بر مقادیر جزءهای مختلف فسفر در کشت گندم	۱۳۱
جدول ۶-۲۲ اثر متقابل سطح لجن و محیط (ریزوسفر و غیرریزوسفر) بر مقادیر جزءهای مختلف فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم) در کشت گندم	۱۳۱
جدول ۶-۲۳ ضرایب همبستگی شاخص‌های گیاه گندم با جزءهای مختلف فسفر در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری (n=۳۰)	۱۳۳
جدول ۶-۲۴ درصد نسبی تغییر اجزاء مختلف فسفر در خاک‌های ریزوسفری نسبت به خاک‌های غیرریزوسفری تیمار نشده در کشت لوبیا و گندم	۱۳۴

جدول ۶-۲۵ درصد نسبی اجزاء مختلف فسفر در خاک‌های ریزوسفری نسبت به خاک‌های غیرریزوسفری تیمار شده در کشت لوبیا و گندم..... ۱۳۵

**فصل هفتم- اثرهای ریزوسفری بر سینتیک آزادسازی فسفر در خاک‌های تیمار نشده و تیمار شده با لجن فاضلاب شهری..... ۱۳۷**

جدول ۷-۱ معادلات سینتیکی مورد استفاده در بررسی آزاد شدن فسفر..... ۱۳۹

جدول ۷-۲ مقدار فسفر آزاد شده (میلی‌گرم بر کیلوگرم) از خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری لوبیا در خاک‌های تیمار نشده..... ۱۴۱

جدول ۷-۳ ضرایب تشخیص و خطای استاندارد برآورد (میلی‌گرم بر کیلوگرم) معادلات استفاده شده در بخش اول ۱۴۳

جدول ۷-۴ ضرایب تشخیص و خطای استاندارد برآورد (میلی‌گرم بر کیلوگرم) معادلات استفاده شده در بخش دوم ۱۴۳

جدول ۷-۵ ضرایب معادلات استفاده شده برای تشریح سینتیک آزادسازی فسفر از خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری تیمار نشده لوبیا در بخش اول..... ۱۴۵

جدول ۷-۶ ضرایب معادلات استفاده شده برای تشریح سینتیک آزادسازی فسفر از خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری تیمار نشده لوبیا در بخش دوم..... ۱۴۵

جدول ۷-۷ ضرایب همبستگی مقدار فسفر آزاد شده و ضرایب سرعت معادلات سینتیکی با برخی ویژگی‌های میکروبیولوژیکی در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری لوبیا در خاک‌های تیمار نشده ( $n=10$ )..... ۱۴۶

جدول ۷-۸ ضرایب همبستگی مقدار فسفر آزاد شده و ضرایب سرعت معادلات سینتیکی با فسفر استخراجی توسط عصاره‌گیرهای شیمیایی در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری لوبیا در خاک‌های تیمار نشده ( $n=10$ )..... ۱۴۷

جدول ۷-۹ ضرایب همبستگی مقدار فسفر آزاد شده و ضرایب سرعت معادلات سینتیکی با اجزاء مختلف فسفر در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری لوبیا در خاک‌های تیمار نشده ( $n=10$ )..... ۱۴۹

جدول ۷-۱۰ مقدار فسفر واجذب شده (میلی‌گرم بر کیلوگرم) از خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری لوبیا در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری..... ۱۵۲

جدول ۷-۱۱ ضرایب تشخیص و خطای استاندارد برآورد (میلی‌گرم بر کیلوگرم) معادلات استفاده شده در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری تیمار شده لوبیا در بخش اول..... ۱۵۳

جدول ۷-۱۲ ضرایب تشخیص و خطای استاندارد برآورد (میلی‌گرم بر کیلوگرم) معادلات استفاده شده در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری تیمار شده لوبیا در بخش دوم..... ۱۵۳

جدول ۷-۱۳ ضرایب معادلات استفاده شده برای تشریح سینتیک واجذبی فسفر از خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری لوبیا در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری در بخش اول..... ۱۵۴

جدول ۷-۱۴ ضرایب معادلات استفاده شده برای تشریح سینتیک واجذبی فسفر از خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری لوبیا در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری در بخش دوم..... ۱۵۴

جدول ۷-۱۵ ضرایب همبستگی مقدار فسفر آزاد شده و ضرایب سرعت معادلات سینتیکی با برخی ویژگی‌های میکروبیولوژیکی در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری لوبیا در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری ( $n=10$ )..... ۱۵۵

جدول ۷-۱۶ ضرایب همبستگی مقدار فسفر واجذب شده و ضرایب سرعت معادلات سینتیکی با فسفر استخراجی توسط عصاره‌گیرهای شیمیایی در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری لوبیا در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری ( $n=10$ )..... ۱۵۶



- جدول ۷-۱۷ ضرایب همبستگی مقدار فسفر واجذب شده و ضرایب سرعت معادلات سینتیکی با اجزاء مختلف فسفر در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری لوبیا در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری (n=۱۰)..... ۱۵۷
- جدول ۷-۱۸ تجزیه واریانس اثر تیمارها بر مقدار فسفر واجذب شده در کشت لوبیا..... ۱۵۹
- جدول ۷-۱۹ اثر متقابل سطح لجن و محیط (ریزوسفر و غیرریزوسفر) بر مقادیر فسفر واجذب شده (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در کشت لوبیا..... ۱۵۹
- جدول ۷-۲۰ ضرایب همبستگی بین شاخص‌های گیاهی و ثابت‌های معادلات سینتیکی در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری لوبیا در خاک‌های تیمار نشده در بخش اول و دوم..... ۱۶۱
- جدول ۷-۲۱ ضرایب همبستگی بین شاخص‌های گیاهی و ثابت‌های معادلات سینتیکی در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری لوبیا در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری در بخش اول و دوم..... ۱۶۲
- جدول ۷-۲۲ مقدار فسفر آزاد شده (میلی‌گرم بر کیلوگرم) از خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار نشده..... ۱۶۴
- جدول ۷-۲۳ ضرایب تشخیص و خطای استاندارد برآورد (میلی‌گرم بر کیلوگرم) معادلات استفاده شده در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری تیمار نشده گندم در بخش اول..... ۱۶۶
- جدول ۷-۲۴ ضرایب تشخیص و خطای استاندارد برآورد (میلی‌گرم بر کیلوگرم) معادلات استفاده شده در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری تیمار نشده گندم در بخش دوم..... ۱۶۶
- جدول ۷-۲۵ ضرایب معادلات استفاده شده برای تشریح سینتیک آزادسازی فسفر از خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار نشده در بخش اول..... ۱۶۷
- جدول ۷-۲۶ ضرایب معادلات استفاده شده برای تشریح سینتیک آزادسازی فسفر از خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار نشده در بخش دوم..... ۱۶۷
- جدول ۷-۲۷ ضرایب همبستگی مقدار فسفر آزاد شده و ضرایب سرعت معادلات سینتیکی در بازه زمانی ۱۶۸-۲ ساعت با برخی ویژگی‌های میکروبیولوژیکی در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار نشده (n=۱۰)..... ۱۶۹
- جدول ۷-۲۸ ضرایب همبستگی مقدار فسفر آزاد شده و ضرایب سرعت معادلات سینتیکی با فسفر استخراجی توسط عصاره‌گیرهای شیمیایی در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار نشده (n=۱۰)..... ۱۷۰
- جدول ۷-۲۹ ضرایب همبستگی مقدار فسفر آزاد شده و ضرایب سرعت معادلات سینتیکی با اجزاء مختلف فسفر در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار نشده (n=۱۰)..... ۱۷۱
- جدول ۷-۳۰ مقدار فسفر آزاد شده (میلی‌گرم بر کیلوگرم) از خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری..... ۱۷۳
- جدول ۷-۳۱ ضرایب تشخیص و خطای استاندارد برآورد (میلی‌گرم بر کیلوگرم) معادلات استفاده شده در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری تیمار شده گندم در بخش اول..... ۱۷۵
- جدول ۷-۳۲ ضرایب تشخیص و خطای استاندارد برآورد (میلی‌گرم بر کیلوگرم) معادلات استفاده شده در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری تیمار شده گندم در بخش دوم..... ۱۷۵
- جدول ۷-۳۳ ضرایب معادلات استفاده شده برای تشریح سینتیک واجذبی فسفر از خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری در بخش اول..... ۱۷۶
- جدول ۷-۳۴ ضرایب معادلات استفاده شده برای تشریح سینتیک واجذبی فسفر از خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری در بخش دوم..... ۱۷۶

جدول ۷-۳۵ ضرایب همبستگی مقدار فسفر واجذب شده و ضرایب سرعت معادلات سینتیکی با برخی ویژگی‌های میکروبیولوژیکی در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری (n=۱۰).....	۱۷۷
جدول ۷-۳۶ ضرایب همبستگی مقدار فسفر واجذب شده و ضرایب سرعت معادلات سینتیکی با فسفر استخراجی توسط عصاره‌گیرهای شیمیایی در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری (n=۱۰).....	۱۷۸
جدول ۷-۳۷ ضرایب همبستگی مقدار فسفر واجذب شده و ضرایب سرعت معادلات سینتیکی با اجزاء مختلف فسفر در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری (n=۱۰).....	۱۸۰
جدول ۷-۳۸ تجزیه واریانس اثر تیمارها بر مقادیر فسفر واجذب شده در کشت گندم.....	۱۸۱
جدول ۷-۳۹ اثر متقابل سطح لجن و محیط (ریزوسفر و غیرریزوسفر) بر مقادیر فسفر واجذب شده (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در کشت گندم.....	۱۸۱
جدول ۷-۴۰ ضرایب همبستگی بین شاخص‌های گیاهی و ثابت‌های معادلات سینتیکی در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار نشده در بخش اول و دوم.....	۱۸۲
جدول ۷-۴۱ ضرایب همبستگی بین شاخص‌های گیاهی و ثابت‌های معادلات سینتیکی در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری گندم در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری در بخش اول.....	۱۸۴

## فصل اول

### کلیات و معرفی طرح

ریشه گیاه به طور مستقیم از طریق فعالیت خود یا به طور غیرمستقیم از طریق تحریک جمعیت و فعالیت ریزجانداران می‌تواند، شرایط میکروبیولوژیکی و شیمیایی متفاوتی در پیرامون خود ایجاد کند، که می‌تواند منجر به وضعیت تغذیه‌ای متفاوت این منطقه از سایر بخش‌های خاک (توده خاک) گردد. یکی از مهمترین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه فسفر می‌باشد. فسفر نقش کلیدی در تولید دانه و عملکرد محصولات زراعی نظیر گندم و لوبیا دارد. با توجه به مقدار اندک فسفر در فاز محلول، فسفر به زمین‌های تحت کشت به صورت کودهای شیمیایی یا کودهای آلی از قبیل لجن فاضلاب شهری به منظور نگهداری قابلیت دسترسی آن برای تولید سودمند محصول افزوده می‌شود. جذب فسفر توسط گیاه منجر به کاهش بیشتر این عنصر در ناحیه نزدیک به ریشه می‌شود (بتاچاریا و همکاران، ۲۰۰۳). غلظت یون‌های فسفر در فاز محلول توسط گونه‌بندی فسفر و یک دامنه واکنش با فاز جامد خاک (جذب-واجدبی یا انحلال-رسوب) تعیین می‌شود. همه‌ی عوامل فوق وابسته به عوامل مهمی از قبیل pH، غلظت کاتیون‌های فلزی نظیر کلسیم، آهن و آلومینیوم، و غلظت لیگاندهای آلی و معدنی رقابت کننده با یون‌های فسفر می‌باشد (هینسینگر، ۲۰۰۱). ریشه گیاهان از طریق تغییر سه عامل ذکر شده (پ-هاش، غلظت کاتیون‌های فلزی و غلظت لیگاندهای آلی و معدنی) در نتیجه‌ی جذب و یا تراوش آنها منجر به ایجاد تغییراتی در تعادلات شیمیایی فسفر در خاک می‌شود و از این طریق تحرک و قابلیت دسترسی فسفر معدنی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (هینسینگر، ۲۰۰۱).

با گسترش رشد ریشه، جذب آب و عناصر غذایی و رشد میکروبی شیب‌های طولی و شعاعی از لحاظ برخی ویژگی‌های خاک از سمت ریشه به طرف سایر قسمت‌های خاک ایجاد شده و همین سبب ایجاد ریزوسفر می‌شود (خوشگفتارمنش، ۱۳۸۹). با توجه به این که ریشه‌ها منبع اصلی کربن در خاک بوده و در

خاک ریزوسفری محدودیتی از لحاظ کربن برای ریزجانداران وجود ندارد، ویژگی‌های زیستی و شیمیایی این منطقه از توده خاک کاملاً متفاوت است. وضعیت تغذیه‌ای فسفر در این منطقه نیز به طور مستقیم یا غیرمستقیم متأثر از فعالیت ریشه‌ها می‌باشد. ریشه‌ها از طریق تغییر ترکیب جمعیت و افزایش فعالیت ریزجانداران در محیط پیرامون خود می‌توانند به طور غیرمستقیم بر قابلیت دسترسی فسفر اثر گذار باشند. ریزجانداران قادرند در محیط پیرامون ریشه قابلیت دسترسی فسفر برای گیاه را افزایش و یا کاهش دهند. ریزجانداران از طریق انحلال ترکیبات نامحلول فسفر و فرایند معدنی کردن فسفر آلی به طور مستقیم و از طریق تولیدات حاصل از تخریب میکروبی مواد آلی، جذب فسفر توسط ریزجاندارانی با زمان بازگشت کوتاه و تحریک رشد ریشه گیاه به طور غیرمستقیم منجر به افزایش جذب فسفر توسط ریشه گیاه می‌گردند. لیکن، ریزجانداران از طریق تخریب ترشحات آلی ریشه گیاه، جذب فسفر در بدن ریزجاندارانی با زمان بازگشت طولانی و جلوگیری از رشد ریشه گیاه منجر به کاهش جذب فسفر توسط ریشه گیاه می‌شوند.

ریشه گیاه با جذب فسفر از فاز محلول خاک، تعادل بین فاز جامد و محلول را بر هم می‌زند و سبب ایجاد شیب غلظت لازم برای پخشیدگی فسفر از توده خاک به سمت ریشه می‌شود و بدین طریق به طور مستقیم قابلیت دسترسی فسفر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با بر هم خوردن تعادل بین فاز جامد و محلول، انحلال پیوسته فسفات از فاز جامد، منجر به ورود مجدد آن به فاز محلول می‌شود و غلظت فسفر در محلول در هر زمانی توسط جذب گیاه و جذب یا آزادسازی فسفر توسط فاز جامد کنترل می‌گردد. فقط در صورتی که سرعت آزادسازی فسفر از فاز جامد کافی باشد، ریشه گیاه قادر است فسفر کافی را برای رفع نیازهای متابولیکی خود جذب کند (کوک، ۱۹۶۶). طبق نظر دارا (۱۹۹۳) جذب یا آزادسازی عناصر غذایی خاک توسط ریشه‌های در حال رشد منجر به ایجاد شیب غلظت می‌گردد. طبیعت این شیب غلظت به سه عامل سرعت جذب یا آزادسازی عناصر غذایی، تحرک عناصر غذایی در خاک و سرعت تبدیل شکل‌های غیرقابل دسترس به شکل‌های قابل دسترس تر بستگی دارد. بنابراین، قابلیت دسترسی فسفر برای گیاه به مکانیسم‌های مختلف کسب فسفر از ریزوسفر و تدابیر بکار گرفته توسط گیاه برای برداشت فسفر بستگی دارد (مارل و هیستینگر، ۱۹۹۹). یکی از تدابیر بکار گرفته شده توسط گیاه استفاده از شکل‌هایی از فسفر با قابلیت دسترسی پایین در محیط پیرامون خود می‌باشد. ترکیبات مختلف خاک در مکانیسم نگهداری فسفر در خاک شرکت می‌کنند. اکسیدهای فلزی آبدار به ویژه اکسیدهای آهن و آلومینیوم از طریق تبادل لیگاندی و رسوب، فسفر را از محلول خاک خارج می‌کنند. کانی‌های آلومینوسیلیکات نیز فسفر را از طریق هیدروکسیل‌های لبه‌ای جذب می‌کنند، این در حالی است که مواد آلی فسفر را از طریق پل‌های کاتیونی نگه می‌دارند. بر اساس ترمودینامیک شیمیایی، فسفات‌های کلسیم در خاک‌های آهکی و فسفات‌های آهن و آلومینیوم در خاک‌های اسیدی پایدار می‌باشند (لیندزی، ۱۹۷۹). در خاک‌های آهکی، نگهداری فسفات به سطح ویژه کربنات کلسیم ارتباط دارد (ریان و همکاران، ۱۹۸۵). تحقیقات دیگر نشان می‌دهند که سطوح پر انرژی جذب اکسیدهای آهن در واکنش‌های جذب فسفر مهمتر از کربنات کلسیم می‌باشند (مک‌دوول و همکاران، ۲۰۰۳). تعیین ترکیبات فسفره خاک اطلاعات با ارزشی را راجع به مکانیسم‌های نگهداری فسفر تأمین می‌نماید. شکل‌های مختلف فسفر خاک اغلب به کمک روش جزءبندی شیمیایی بررسی و مطالعه می‌شوند (هارل و ونگ، ۲۰۰۶). روش عصاره‌گیری متوالی، از مکانیسم توانایی واکنشگرهای شیمیایی مختلف برای حل کردن انتخابی فازهای فسفات آهن، آلومینیوم و کلسیم موجود در خاک‌ها استفاده می‌کنند. هر چند جداسازی کامل ممکن است