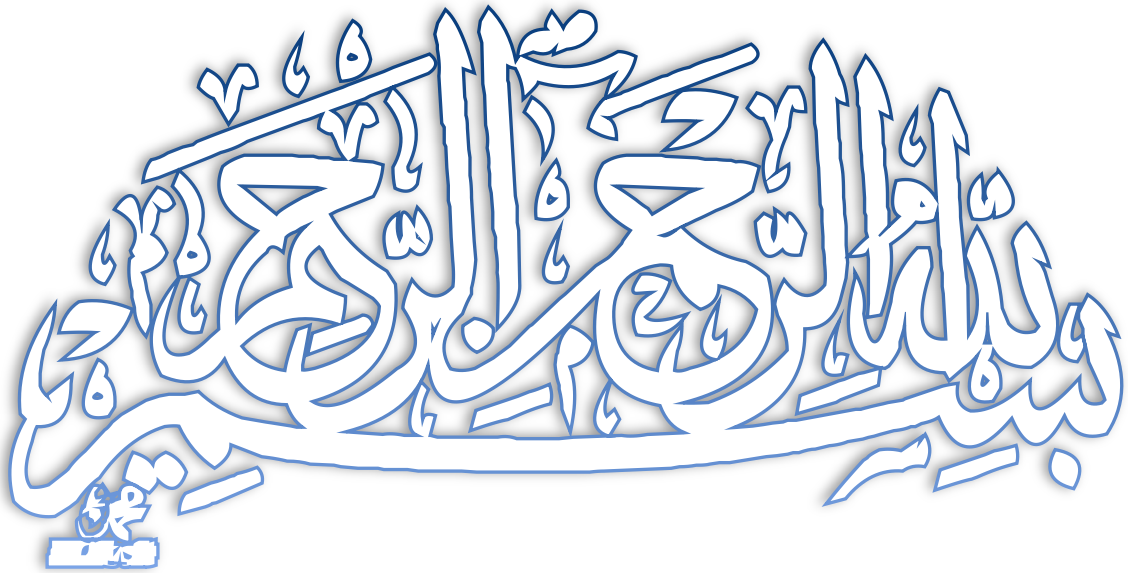

تعهدنامه‌ی اصالت اثر و رعایت حقوق دانشگاه

تمامی حقوق مادی و معنوی مرتبت بر نتایج، ابتکارات، اختراعات و نوآوری‌های ناشی از انجام این پژوهش، متعلق به **دانشگاه محقق اردبیلی** می‌باشد. نقل مطلب از این اثر، با رعایت مقررات مربوطه و باذکر نام دانشگاه محقق اردبیلی، نام استاد راهنما و دانشجو بلامانع است.

اینجانب سجاد سربازوطن دانش‌آموخته‌ی مقطع کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی کشاورزی گرایش مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشکده‌ی فناوری کشاورزی و منابع طبیعی به شماره‌ی دانشجویی ۹۰۳۳۴۱۳۱۱۵ که در تاریخ..... از پایان-نامه‌ی خود تحت عنوان اندازه‌گیری تراکم خاک در زیر چرخ عقب تراکتور به روش المان محدود دفاع نموده‌ام، متعهد می‌شوم که:

۱) این پایان‌نامه را قبلا برای دریافت هیچ‌گونه مدرک تحصیلی یا به عنوان هرگونه فعالیت پژوهشی در سایر دانشگاه‌ها و موسسات آموزشی داخل و خارج از کشور ارائه ننموده‌ام.

۲) مسئولیت صحت و سقم تمامی مندرجات پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود را بر عهده می‌گیرم.

۳) این پایان‌نامه، حاصل پژوهش انجام شده توسط اینجانب می‌باشد.

۴) در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران استفاده نموده‌ام، مطابق ضوابط و مقررات مربوطه و با رعایت اصل امانتداری علمی، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در متن و فهرست منابع و مآخذ ذکر نموده‌ام.

۵) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده یا هرگونه بهره‌برداری اعم از نشر کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان‌نامه را داشته باشم، از حوزه‌ی معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه محقق اردبیلی، مجوزهای لازم را اخذ نمایم.

۶)در صورت ارائه‌ی مقاله‌ی مستخرج از این پایان‌نامه در همایش‌ها، کنفرانس‌ها، سمینارها، گردهمایی‌ها و انواع مجلات، نام دانشگاه محقق اردبیلی را در کنار نام نویسندگان (دانشجو و اساتید راهنما و مشاور) ذکر نمایم.

۷) چنانچه در هر مقطع زمانی، خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن (منجمله ابطال مدرک تحصیلی، طرح شکایت توسط دانشگاه و ..) را می‌پذیرم و دانشگاه محقق اردبیلی را مجاز می‌دانم با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات مربوطه رفتار نماید.

نام و نام خانوادگی دانشجو:

امضا

تاریخ

دانشکده‌ی فناوری کشاورزی و منابع طبیعی

گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته‌ی مهندسی کشاورزی- مکانیک ماشین‌های کشاورزی

عنوان:

اندازه گیری تراکم خاک زیر تایر تراکتور با استفاده از روش المان محدود

استاد راهنما:

دکتر غلامحسین شاهقلی

استاد مشاور:

دکتر یوسف عباسپور گیلانده

پژوهشگر:

سجاد سربازوطن

پاییز ۱۳۹۲

دانشکده‌ی فناوری کشاورزی و منابع طبیعی

گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته‌ی مهندسی کشاورزی- مکانیک ماشین‌های کشاورزی

عنوان:

اندازه گیری تراکم خاک زیر تایر تراکتور با استفاده از روش المان محدود

پژوهشگر:

سجاد سربازوطن

ارزیابی و تصویب شده‌ی کمیته‌ی داوران پایان‌نامه با درجه‌ی .....

نام و نام خانوادگی	مرتبه‌ی علمی	سمت	امضاء
		استاد راهنما و رییس کمیته داوران	
		استاد مشاور	
		داور	

مهر ۱۳۹۲

تقدیم به

دست‌های رنج دیده‌ی پدرم

و مادرم که دوست داشتن و محبت را از او یاد گرفتم.

تقدیر و تشکر

با حمد و سپاس به درگاه پروردگار متعال که توفیق انجام این تحقیق را به بندهٔ حقیر ارزانی داشت، اکنون بر خود واجب می‌دانم از تمامی عزیزانی که به نحوی مرا در اجرای این امر یاری نمودند تشکر و قدردانی نمایم.

سپاس اولین و برترین معلمان زندگی، **پدر و مادر** مهربانم را، که بودنم و تمام توفیقاتم را مدیون قلب مهربانشان هستم و در سایهٔ دعای خیرشان، تحمل تمام مشکلات برایم مقدور می‌گردد.

از محضر استاد راهنمای ارجمندم **جناب آقای دکتر غلامحسین شاهقلی** کمال سپاسگزاری را دارم که راهنمایی این رساله را انجام داده و با نظرهای ارزشمند و راهگشای خویش، با درایت تمام مرا در امر تهیه و تدوین مطالب یاری نمودند و به من آموختند که امیدواری و توکل بر خدا رمز موفقیت در کارهاست و برای بدست آوردن موفقیت‌ها و خواسته‌هایم هیچ‌گاه دست از تلاش برندارم.

از زحمات و راهنمایی‌های استاد مشاور فرزانه، **جناب آقای دکتر یوسف عباسپور گیلانده** که صادقانه و با روی گشاده و با حوصله فراوان مرا در طول اجرای پایان‌نامه راهنمایی و مساعدت کردند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنم.

از **دوست عزیزم مهندس مسعود فاضلی یلسویی** به خاطر دلگرمی‌ها و زحماتشان در راه انجام این پایان‌نامه تشکر می‌کنم.

از مسئول محترم کارگاه گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی جناب آقای مهندس مهدی زاده که در انجام این تحقیق کمک شایانی به بنده نموده اند، بسیار سپاسگزارم.

نام خانوادگی دانشجو: سربازوطن **نام**: سجاد

عنوان پایان‌نامه: اندازه گیری تراکم خاک زیر تایر تراکتور با استفاده از روش المان محدود

استاد راهنما: دکتر غلامحسین شاهقلی

اساتید مشاور: دکتر یوسف عباسپور گیلانده

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته**: مهندسی کشاورزی **گرایش**: مکانیک ماشین‌های کشاورزی

دانشگاه: محقق اردبیلی **دانشکده**: فناوری کشاورزی و منابع طبیعی **تاریخ فارغ التحصیلی**:

تعداد صفحه:

کلید واژه‌ها: برهمکنش تایر- خاک؛ تراکم؛ روش اجزاء محدود.

چکیده: با پیشرفت روز افزون در کشاورزی، در راستای آن ماشین های کشاورزی نیز دچار دگرگونی شد و امروزه در بیشتر نقاط جهان کشاورزی با دستگاه های سنگین و تردد های بیشتر در مزارع صورت می گیرد. و با در نظر گرفتن اثر بین خاک و تایر و رابطه مستقیم با میزان فشردگی، مسئله تردد از اهمیت بالایی برخوردار می شود. کشاورزی در چندین مرحله، از خاکورزی اولیه تا عملیات بعد از کاشت و برداشت، نیازمند استفاده از تراکتور ها به همراه ادوات سنگین می باشد که با تردد ابزار ها در مزرعه، خاک دچار تراکم می شود . با اعمال تنش روی خاک تغییر شکل دائمی و برگشتی مشاهده می شود .هر چند که تغییر شکل دائمی چند برابر بیشتر از تغییر شکل برگشتی است .تغییر شکل برگشتی خاک از تغییر شکل ویسکوزیته– الاستیسیته تشکیل می شود . تغییرشکل الاستیسیته خاک مقدار کمی از تغییر شکل برگشتی را تشکیل می دهد. انواع تغییر شکل های نامبرده، به خواص فیزیکی مکانیکی خاک و پارامترهای فشردگی بستگی دارد . شبیه سازی و نتایج آزمایشات در راستای مطالعه پروسه تراکم خاک لومی شنی است که در نتیجه حرکت چرخ های تراکتور در یک مسیر می باشد . برای انجام آزمایشات مزرعه ای از تراکتور MF285 که به یک گاوآهن برگرداندار سه خیشه مجهز بود استفاده شد. آزمایش مزرعه ای در سه سطح رطوبتی۱۰، ۱۵ و ۲۰٪ و سه سطح پیشروی ۱، ۲ و ۳ کیلومتر بر ساعت و در سه سطح عمق ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متر انجام شد. در نرم افزار ABAQUS خاک بصورت یک ماده الاستیک- پلاستیک شبیه سازی شد. مدل اصلاح شده دراکر- پراگر برای نشان دادن خصوصیات پلاستیک بکار گرفته شد. نوع تایر استفاده شده در تحقیق R18.4-30 است. نتایج نشان داد که تراکم با رطوبت رابطه مستقیم دارد و با بسرعت رابطه‌ی عکس دارد. همچنین با افزایش عمق تاثیر نیروی تایر بر تراکم خاک کاهش می‌یابد. تجزیه واریانس نشان داد که بین نتایج حاصل از آزمایش و شبیه سازی در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی داری وجود نداشت.

فهرست مطالب

شماره و عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه و مروری بر تحقیقات گذشته

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- هدف و ضرورت تحقیق ۴

۱-۳- روش المان محدود ۵

۱-۳-۱- تاریخچه روش المان محدود ۷

۱-۳-۲- فرمول بندی های استفاده در روش عددی ۷

۱-۳-۲-۱- روش اویلرین- لاگرانژی متصل شده ۱۰

۱-۳-۲-۱-۱- طرح انتگرالی زمانی ۱۰

۱-۳-۲-۱-۲- روش تماس پنالتی ۱۱

۱-۳-۳- المان‌ها ۱۱

۱-۳-۳-۱- المان ورقه‌ای چند لایه ۱۱

۱-۳-۳-۲-المان رینگ تایر ۱۳

۱-۳-۳-۳- المان تماس ۱۴

۱-۳-۴- تماس و اصطکاک ۱۴

۱-۴- خاک ۱۵

۱-۴-۱- دینامیک خاک ۱۵

۱-۴-۲- مکانیک خاک ۱۶

۱-۴-۲-۱- رفتار الاستیک ۱۶

۱-۴-۲-۲- رفتار پلاستیک ۱۷

۱-۴-۲-۲-۱- شرایط تسلیم..... ۱۸
۱-۴-۲-۲-۱-۱- مدل پلاستیسیته‌ی موهر- کلمب ۲۰
۱-۴-۲-۲-۱-۱-۱- دید کلی از مدل پلاستیسیته‌ی موهر- کلمب ۲۰
۱-۴-۲-۲-۱-۱-۲- معیار تسلیم..... ۲۱
۱-۴-۲-۲-۱-۱-۳- پتانسیل جریان ۲۴
۱-۴-۲-۲-۱-۱-۴- جریان غیر وابسته.....۲۷
۱-۴-۲-۲-۱-۲- مدل‌های دراگر- پراگر توسعه یافته..... ۲۷
۱-۴-۲-۲-۱-۲-۱- دید کلی از مدل‌های دراگر- پراگر توسعه یافته ۲۷
۱-۴-۲-۲-۱-۲-۲- معیار تسلیم ۲۸
۱-۴-۲-۲-۱-۲-۳- سخت شوندگی و نسبت وابسته ۳۰
۱-۴-۲-۲-۱-۲-۳-۱- نسبت‌های تنش تسلیم ۳۲
۱-۴-۲-۲-۱-۲-۴- ثابت تنش ۳۳
۱-۴-۲-۲-۱-۲-۵- مدل دراکر-پراگر خطی ۳۳
۱-۴-۲-۲-۱-۲-۵-۱- معیار تسلیم ۳۴
۱-۴-۲-۲-۱-۲-۵-۲- جریان پلاستیک ۳۵
۱-۴-۲-۲-۱-۲-۵-۳- جریان غیر وابسته.....۳۶
۱-۴-۲-۲-۱-۲-۶- مطابقت داده‌های تست سه‌محوری آزمایشی..... ۳۶
۱-۴-۲-۲-۱-۲-۷-مدل دراکر- پراگر خطی ۳۹
۱-۴-۲-۲-۱-۲-۸- مطابقت پارامترهای موهر- کلمب با مدل دراکر- پراگر..... ۴۰
۱-۴-۲-۲-۱-۲-۸-۱- مطابقت پاسخ کرنش صفحه‌ای ۴۰
۱-۴-۲-۲-۱-۲-۸-۲- مطابقت پاسخ تست سه‌محوری..... ۴۱

۱-۵- تایر ۴۲
۱-۵-۱- ساختار تایر..... ۴۳
۱-۵-۱-۱- وظایف..... ۴۳
۱-۵-۱-۲- انواع تایر..... ۴۴
۱-۵-۲- اجزای تایر..... ۴۶
۱-۵-۲-۱- اجزای لاستیک..... ۴۶
۱-۵-۲-۲- مواد تقویت کننده (استحکام) ۴۷
۱-۵-۲-۳- اجزای تایر شعاعی..... ۴۷
۱-۵-۲-۳-۱- عاج..... ۴۸
۱-۵-۲-۳-۲- بید..... ۴۹
۱-۵-۲-۳-۳- کناره لاستیک..... ۴۹
۱-۵-۲-۳-۴- تسمه و کابل..... ۵۰
۱-۵-۳- خواص فیزیکی (مواد) اجزای تایر..... ۵۱
۱-۵-۳-۱- عاج..... ۵۱
۱-۵-۳-۲- تسمه و کارکس..... ۵۱
۱-۵-۳-۳- مواد هایپر الاستیک..... ۵۳
۱-۵-۳-۴- تئوری مونی‌ریولین..... ۵۴
۱-۶- مروری بر تحقیقات گذشته..... ۵۶
۱-۶-۱- تاریخچه‌ی مدل‌کردن روش المان محدود تایرهای بادی..... ۵۶
۱-۶-۲- بررسی مدل‌کردن المان محدود تایرهای غلتشی..... ۵۷
۱-۶-۳- تقابل تایر/ جاده..... ۵۸

فصل دوم: مواد و روش‌ها

۲-۱- آزمایشات مزرعه ای..... ۶۳

۲-۱-۱- اندازه‌گیری چگالی با استفاده از استوانه‌های نمونه‌برداری..... ۶۳

۲-۱-۲- اندازه‌گیری سرعت تراکتور..... ۶۴

۲-۲- تایر..... ۶۴

۲-۲-۱- ساختار تایر..... ۶۵

۲-۲-۲- اجزای تایر..... ۶۶

۲-۲-۳- خواص فیزیکی (مواد) اجزای تایر..... ۶۸

۲-۳- خاک..... ۶۸

۲-۴- روش المان محدود..... ۷۰

۲-۴-۱- فرمول‌بندی استفاده شده..... ۷۱

۲-۴-۲- ارائه مدل المان‌محدود تایر..... ۷۱

۲-۴-۳- تحلیل دینامیکی انتخاب شده..... ۷۴

۲-۴-۴- المان بندی مدل هندسی..... ۷۵

۲-۴-۵- نوع المان..... ۷۵

۲-۴-۶- اندازه و تعداد المان‌ها..... ۷۷

۲-۴-۷- تماس و قیود به کار رفته..... ۷۷

۲-۴-۸- گام‌های مختلف برای شبیه‌سازی تایر روی خاک..... ۷۸

۲-۴-۸- گام‌های مختلف برای شبیه‌سازی تایر روی خاک..... ۸۱

فصل سوم: نتایج و بحث

۳-۱- جابجایی تایر در خاک..... ۸۵

۳-۲-اثر تردد تراکتور بر روی چگالی..... ۸۸

۳-۳- نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از چگالی آزمایشات مزرعه‌ای..... ۹۰

۳-۴- مقایسه میانگین مقادیر چگالی در آزمایشات مزرعه‌ای و مدل‌سازی..... ۹۱

۳-۴-۱- مقایسه میانگین اثرات اصلی بر مقدار چگالی در روش مدل‌سازی..... ۹۱

۳-۴-۲-میانگین اثرات رطوبت بر چگال خاک..... ۹۲

۳-۴-۳- میانگین اثرات سرعت پیشروی بر چگالی خاک..... ۹۲

۳-۴-۴- میانگین اثرات عمق بر چگالی خاک..... ۹۴

۳-۴-۵- میانگین اثرات متقابل رطوبت در سرعت پیشروی بر چگالی خاک..... ۹۵

۳-۴-۶- میانگین اثرات متقابل رطوبت در عمق بر چگالی خاک..... ۹۶

۳-۴-۷- میانگین اثرات متقابل سرعت پیشروی در عمق بر چگالی خاک..... ۹۷

۳-۴-۸- میانگین اثرات متقابل رطوبت در سرعت پیشروی در عمق بر چگالی خاک..... ۹۸

فصل چهارم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۴-۱- نتیجه‌گیری..... ۱۰۳

۴-۱-۱- مقایسه‌ی آماری چگالی در آزمایشات مزرعه‌ای..... ۱۰۴

۴-۱-۲- نتیجه گیری کلی..... ۱۰۴

۴-۲- پیشنهادات..... ۱۰۵

منابع..... ۱۰۶

فهرست جداول

جدول ۱-۱ مطابقت کرنش صفحه‌ای مدل‌های دراکر- پراگر و موهر- کلمب.....۴۱

جدول ۱-۲ خواص فیزیکی اجزاء..... ۵۱

جدول ۱-۳ خواص فیزیکی اجزای عاج.....۵۱

جدول ۱-۴ خواص فیزیکی اجزای تسمه و کارکس.....۵۲

جدول ۱-۵ خواص فیزیکی برآوردشده‌ی اجزای تسمه و کارکس.....۵۲

جدول ۱-۶ خواص ماده‌ی لایه‌ی کارکس.....۵۲

جدول ۱-۷ خواص ماده‌ی زاویه‌ی کابل.....۵۲

جدول ۱-۸ ثابت الاستیک برآوردشده.....۵۳

جدول ۲-۱ بافت خاک مورد آزمایش.....۶۸

جدول ۲-۲ پارامترهای مربوط به خاک.....۶۹

جدول ۲-۳ تعداد المان‌ها و گره‌ها در مدل.....۷۷

جدول ۳-۱ نتایج مقایسه میانگین بین تغییرات چگالی در تردد‌های مکرر.....۸۹

جدول ۳-۲ تجزیه واریانس نتایج چگالی حاصل از اندازه‌گیری با حسگرها و استوانه‌ها.....۹۰

جدول ۳-۳ نسبت بین چگالی در دو روش اندازه‌گیری.....۹۰

جدول ۳-۴ تجزیه واریانس داده‌های مربوط به اندازه‌گیری چگالی در آزمایشات مزرعه‌ای.....۹۱

جدول ۳-۵ تجزیه واریانس داده‌های حاصل از دو روش مزرعه‌ای و مدل‌سازی.....۹۲

جدول ۳-۶ نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی بر چگالی خاک در سطح احتمال ۱٪ ۹۲

جدول ۳-۷ داده‌های بدست آمده از روش المان محدود.....۱۰۰

فهرست اشکال

شکل ۱-۱ تغییر شکل یک پیوستگی در تحلیل لاگرانژی و اویلرین..... ۸

شکل۱-۲ حرکت مش و ماده در ناحیه ی لاگرانژی..... ۸

شکل ۱-۳ حرکت ماده و مش در ناحیه اویلرین..... ۹

شکل ۱-۴ نقاط انتگرال‌گیری برای ورقه‌ی چند لایه..... ۱۲

شکل ۱-۵ المان ورقه‌ای چند لایه..... ۱۳

شکل ۱-۶ نفوذ المان تماس..... ۱۴

شکل ۱-۷ نمایش سطح تسلیم در فضای تنش‌های اصلی..... ۱۹

شکل ۱-۸ مدل شکست موهر-کلمب..... ۲۲

شکل۱-۹ سطح تسلیم موهر- کولمب در صفحات دیویاتوریک و نصف‌النهاری..... ۲۴

شکل۱-۱۰ خانواده پتانسیل جریان هذلولی در صفحه‌ی تنش نصف‌النهاری..... ۲۶

شکل۱-۱۱ پتانسیل جریان منتری- ویلیام در صفحه‌ی تنش دیویاتوریک..... ۲۷

شکل۱-۱۲ سطوح تسلیم در صفحه‌ی نصف‌النهاری..... ۲۹

شکل ۱-۱۳ سطوح تسلیم/ جریان مدل خطی در صفحه‌ی دیویاتوریک..... ۳۴

شکل ۱-۱۴مدل دراکر- پراگر خطی: سطح تسلیم و مسیر جریان در صفحه‌ی p-t..... ۳۵

شکل ۱-۱۵ تست‌های سه محوری با منحنی‌های تنش- کرنش برای مواد ژئولوژیکی در سطوح متفاوتی از حبس..... ۳۷

شکل ۱-۱۶ سطح تسلیم در صفحه‌ی نصف‌النهاری..... ۳۸

شکل ۱-۱۷ الف) فشار و ب) کشش سه‌محوری..... ۳۸

شکل ۱-۱۸ مدل خطی: تطابق اطلاعات کشش و فشار سه‌محوری..... ۳۹

شکل ۱-۱۹ انواع تایر..... ۴۵

شکل ۱-۲۰ اجزای یک تایر شعاعی..... ۴۷

شکل ۱-۲۱ اجزای اساسی تایر..... ۴۸
شکل ۱-۲۲ بید..... ۴۹
شکل ۱-۲۳ زاویه‌ی تسمه..... ۵۰
شکل ۱-۲۴ ساختار تسمه و کابل..... ۵۰
شکل ۱-۲۵ نمودار عمومی تنش- کرنش مواد هایپرالاستیک..... ۵۴
شکل ۲-۱ نحوه‌ی قرارگیری استوانه‌های نمونه‌برداری داخل پروفیل خاک..... ۶۴
شکل ۲-۲ تایر مورد مطالعه در این تحقیق..... ۶۵
شکل ۲-۳ تایر برش خورده..... ۶۵
شکل ۲-۴ اجزای داخلی شبیه‌سازی شده‌ی تایر در نرم افزار solidworks..... ۶۶
شکل ۲-۵ قسمتی از لاستیک چند لایه با ضخامت و جهت‌یابی تسمه‌ها..... ۶۷
شکل ۲-۶ لایه‌های مختلف در تایر برش خورده..... ۶۷
شکل ۲-۷ نمایی از خاک برش خورده در دستگاه برش مستقیم..... ۷۹
شکل ۲-۸ نمایی از خاک تحت فشار در دستگاه سنتام..... ۷۹
شکل ۲-۹ مدل سه‌بعدی از تایر و خاک اسمبل شده..... ۷۲
شکل ۲-۱۰ ابعاد خاک شبیه‌سازی شده..... ۷۳
شکل ۲-۱۱ مقطع از تایر تصویر شده روی کاغذ و نقطه‌گذاری در قسمت‌های مختلف آن..... ۷۳
شکل ۲-۱۲ مقطع رسم شده در نرم‌افزار solidworks..... ۷۴
شکل ۲-۱۳ ابعاد تایر..... ۷۴
شکل ۲-۱۴ مدل خاک مش‌بندی شده..... ۷۶
شکل ۲-۱۵مش‌بندی..... ۷۷
شکل ۲-۱۶ اعمال فشار سطح به سطح داخلی تایر..... ۸۰
شکل ۲-۱۷ اعمال بار عمودی به محور تایر و در جهت منفی y..... ۸۰
شکل ۲-۱۸ اعمال سرعت دورانی بر محور تایر و در جهت منفی z..... ۸۱

شکل ۲–۱۹ قیود ایجاد شده بر روی سطوح جانبی خاک که مقید شده‌اند از حرکت..... ۸۲
شکل ۲–۲۰ قیود ایجاد شده بر روی سطح پایین خاک که از حرکت در همه‌ی جهات مقید شده است..... ۸۳
شکل ۲–۲۱ تایر مقید شده در همه‌ی جهات..... ۸۴
شکل ۲–۲۲ قید نهایی برای تایر..... ۸۴
شکل ۳–۱ نمایی از تغییرات چگالی در المان‌های خاک..... ۸۵
شکل ۳–۲ تغییر شکل المان در خاک..... ۸۶
شکل ۳–۳ جابجایی ذرات خاک در رطوبت ۱۰٪ ۸۶
شکل ۳–۴ جابجایی ذرات خاک در رطوبت ۱۵٪ ۸۷
شکل ۳–۵ جابجایی ذرات خاک در رطوبت ۲۰٪ ۸۷
شکل ۳–۶ تغییرات چگالی اندازه‌گیری شده در پنج تردد توسط دو روش..... ۸۹
شکل ۳–۷ اثر رطوبت بر چگالی خاک..... ۹۲
شکل ۳–۸ اثر سرعت پیشروی بر چگالی خاک..... ۹۳
شکل ۳–۹ اثر عمق بر چگالی خاک..... ۹۴
شکل ۳–۱۰ اثر متقابل رطوبت در سرعت پیشروی بر چگالی خاک..... ۹۶
شکل ۳–۱۱ اثر متقابل رطوبت در عمق بر چگالی خاک..... ۹۷
شکل ۳–۱۲ اثر متقابل سرعت پیشروی در عمق بر چگالی خاک..... ۹۸
شکل ۳–۱۳ تغییرات چگالی بر حسب سرعت در عمق ۲۰cm. ۹۹
شکل ۳–۱۴ تغییرات چگالی بر حسب سرعت در عمق ۳۰cm..... ۱۰۰
شکل ۳–۱۵ تغییرات چگالی بر حسب سرعت در عمق ۴۰cm..... ۱۰۱
شکل ۴–۱۶ تغییرات چگالی مزرعه‌ای در مقابل نتایج مدل‌سازی..... ۱۰۳

فصل اول:

مقدمه و مروری بر تحقیقات

۱-۱- مقدمه

در صد سال گذشته، کشاورزها به دلیل نیاز جهانی به غذای بیشتر، مجبور شده‌اند عملکرد کشاورزی را افزایش دهند. اندازه و ابعاد تجهیزات کشاورزی جهت افزایش بازده کار ،به طور مرتب در حال افزایش هستند. اندازه همه‌ی تراکتورها، کمباین‌ها برداشت کننده‌های یونجه، بارکش‌های غلات و علوفه و پخش-کننده‌های کود افزایش یافته‌اند. برای مثال، ظرفیت پخش‌کننده‌های کود تا بیست سال قبل کمتر از ۲/۵ تن بود، در حالیکه امروزه ظرفیت پخش‌کننده‌های کود مایع ممکن است به ۲۰ تا ۳۰ تن برسد. افزایش اندازه تجهیزات کشاورزی موجب افزایش تراکم خاک و تحمیل اثرات منفی در حاصل‌خیزی و ساختمان خاک داشته باشد و موجب تخریب زندگی گیاهی و فرسایش خاک گردد.

در سال‌های اخیر با توجه به افزایش اندازه تراکتورها و تردد آنها در زمین‌های کشاورزی، تراکم خاک‌های کشاورزی یکی از مشکلات اصلی کشاورزان و از عوامل مهم کاهش عملکرد محصول در برخی از مناطق می-باشد. تراکم خاک، کرنش حجمی یا فشردگی ذرات خاک است که به دلیل نیروی عمودی وارد شده به آن می‌باشد. تراکم خاک با تعداد دفعات عبور چرخ ماشین‌های کشاورزی ارتباط مستقیمی دارد. نشست خاک در زیر چرخ‌های تراکتور می‌تواند به عنوان شاخصی از مقاومت خاک (ضریب چسبندگی و ضریب اصطکاک خاک) تعریف شود، و روشی برای تعیین پارامترهای مقاومت خاک از طریق اندازه‌گیری عمق نشست خاک زیر تایر باشد. با پیش‌بینی دقیق فشردگی و تراکم خاک، می‌توان میزان مقاومت خاک را تعیین نمود.

عواملی که در فشردگی خاک نقش دارند عبارتند از:

۱- خاک های مستعد شده برای فشردگی: بافت خاک می‌تواند قابلیت تراکم پذیری خاک را تحت تاثیر قرار دهد. یک خاک ضعیف با اندازه ذرات کوچک نسبت به خاکی با اندازه ذرات بزرگ، توانایی کمتری در مقابل تحمل فشار دارد.

۲- شل شدگی خاک در اثر شخم: خاک‌هایی که به تازگی شخم زده می‌شوند استحکام کافی ندارند و در مقابل نیروهای فشاری از جانب وسایل نقلیه تحمل کمتری دارند.

۳- رطوبت خاک: رطوبت خاک تا حد بحرانی باعث افزایش تراکم، ولی بعد از آن باعث کاهش تراکم می‌شود.

۴- افزایش بار وارده بر خاک: موقعی که وزن وسیله افزایش می‌یابد بار روی خاک نیز افزایش یافته و میزان فشردگی بالا می‌رود.

۵- تکرار بارگذاری: با افزایش تعداد عبور، تراکم نیز افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است که در عبورهای اولیه سهم تراکم پذیری خاک بیشتر از عبورهای بعدی می‌باشد.

۶- سرعت پیشروی: با افزایش سرعت پیشروی مدت زمان تماس تایر با خاک کمتر بوده و میزان تراکم کاهش می‌یابد.

۷- فشار باد تایر: با کاهش فشار باد تایر، سطح تماس بین تایر و خاک افزایش یافته و میزان تراکم کاهش می‌یابد.

در موضوع اثر متقابل خاک و تایر، تحقیقات زیادی انجام شده است. علاوه بر انجام آزمایشات عملی، با پیشرفت فناوری برنامه‌های شبیه سازی، امکان اندازه‌گیری تراکم خاک و مدل‌سازی آن بهبود یافته است. در سال های اخیر تعداد زیادی روش شبیه‌سازی مختلف توسط محققین بیان شده است. در حال حاضر با افزایش ظرفیت عددی کامپیوترها، روش اجزاء محدود[1] (FEM) ابزار توانایی برای شبیه‌سازی اثر متقابل خاک و تایر می‌باشد. کاربردهای اولیه FEM بر روی مواد الاستیک که رفتار خطی داشتند معطوف می‌شد. این روش‌ها گرایش به حل مسائل استاتیکی داشتند، اما اخیرا FEM به طور افزایشی در تحلیل مواد غیرخطی و غیرالاستیک مانند خاک به کار برده شده است و در کاربردهای دینامیکی خاک نیز استفاده می-

1-Finite element method

شود. مسائل غیر خطی به طور معمول نیازمند استفاده از تعداد زیادی اجزاء محدود جهت حل مسائل می-باشند که زمان محاسباتی طولانی‌تری را طلب می‌کند.

مدل‌های تئوری برای پیشبینی نفوذ چرخ غلتان بر روی خاک‌های دارای چسبندگی و اصطکاک موجود است. این مدل ها اثر پارامترهای خاک و هندسه چرخ را بر روی نسبت بین نیرو و نفوذ چرخ در وقوع شکل پایدار رد تایر بر روی خاک بیان می‌کنند. این مدل‌های که برای پیشبینی رد تایر بر روی خاک ایجاد می-شوند، می‌توانند در تعیین فشردگی خاک به کار روند.

توسعه یک مدل فشردگی خاک موارد زیر را دربر می‌گیرد:

۱- مدل‌سازی توزیع نیروی بارگذاری در سطح که شامل نیروهای به کار رفته در سطح خاک ناشی از وسایل نقلیه کشاورزی می‌باشد.

۲- مدل‌سازی رفتار تنش – کرنش خاک.

مدل‌های موجود، توزیع تنش در خاک توسط وسایل نقلیه و تغییر در ساختار خاک را چنین پیش‌بینی می-کنند: افزایش در چگالی توده‌ای خشک[1] و شکل عمق رد تایر بر روی جاده.

۱-۲- هدف و ضرورت تحقیق:

تعیین درجه تراکم پذیری خاک ، نیازمند تعیین شاخصی برای نشان دادن میزان تغییر در ویژگی‌های خاک است. فشردگی خاک باعث کاهش انتشار اکسیژن می‌شود که می‌تواند باعث ازتی شدن خاک شود. علاوه بر اینکه فشردگی قابلیت عبور سیال را کاهش می‌دهد، قابلیت تردد را نیز کاهش داده و سبب جریان یافتن آب در دوره بارندگی شده و فرسایش خاک را باعث می‌شود. فشردگی خاک باعث به وجود آمدن یک لایه سخت در عمق خاک می‌شود که فعالیت کاری گیاه را زیر حالت بهینه نگه می‌دارد. بنابراین تراکم مهم-ترین عامل تنزل تولید محصول و تخریب خاک می‌باشد. به طوری که تردد وسایل سنگین در خاک با محتوای رطوبتی بالا هنگام تدارک زمین یا برداشت محصول می‌تواند منجر به تخریب بیش از اندازه خاک

1-Bulk dry density