

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه متهق اردبیلی

دانشکده کشاورزی

گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی

بررسی تاثیر برخی عوامل موثر بر ضرایب اصطکاک خارجی و دگرچسبی خاک در شرایط
آزمایشگاهی

استاد راهنما:

دکتر یوسف عباسپور گیلانده

اساتید مشاور:

دکتر غلامحسین شاهقلی

دکتر عزت‌اله عسکری اصلی ارده

توسط:

فرشته حسن‌خانی قوام

دانشگاه متهق اردبیلی

آذر ۱۳۹۰

تقدیم بہ مہربان فرشتگانی کہ:

لحظات ناب باور بودن، لذت و غرور دانستن، جسارت
خواستن، عظمت رسیدن و تمام تجربہ ہامی یکتا و زیبای زندگیم،
مدیون حضور سبز آنہاست۔

تقدیم بہ خانوادہ عزیزم۔

سپاسگزاری

پس از حمد و سپاس پروردگار بر خود لازم می‌دانم از تمامی عزیزانی که در به ثمر رساندن این پایان‌نامه با حمایت‌های علمی و معنوی خود اینجانب را یاری داده‌اند، تشکر نمایم.

در ابتدا قدردان اولین آموزگاران زندگی‌ام، پدر، مادر و سایر اعضای خانواده‌ی عزیزم هستم که با حمایت‌های بی‌دریغ و همه‌جانبه‌ی خود در پشت سر گذاشتن این مسیر باعث دلگرمی بنده بودند و تمام توفیقم را مدیون دعای خیر ایشان می‌باشم و همواره ممنون همدلی‌ها و محبت‌هایشان هستم. سعادت، سلامت و بهروزی ایشان را از خداوند مَنان خواستارم.

از استاد راهنمای ارجمندم جناب آقای دکتر یوسف عباسپور گیلانده که علاوه بر بهره علمی، از ایشان درس صبر و گذشت و بزرگ‌منشی آموخته‌ام و در نهایت صمیمیت و جدّیت در تمامی مراحل انجام پایان‌نامه با اینجانب همراه بوده و تکیه‌گاهی استوار و آرامش‌بخش بوده‌اند قدردانی می‌نمایم. برای ایشان در تمامی مراحل زندگی از پروردگار بزرگ سلامت و سعادت آرزومندم.

از استاد مشاور محترم، جناب آقای دکتر غلامحسین شاهقلی که در تمام مراحل انجام پایان‌نامه از هیچ کمکی دریغ نورزیدند و در طول تحصیل با نظرات ارزشمند و راه‌گشای خویش اینجانب را در تهیه و تدوین این پایان‌نامه یاری نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از جناب آقای دکتر عزت‌اله عسکری اصلی ارده، استاد مشاور گرامیم، که با تعهد و دلسوزی مثال‌زدنی اینجانب را مورد لطف خویش قرار داده‌اند صمیمانه سپاسگزارم.

از همراهی دوستان عزیزم خانم‌ها مهندس رویا فرهادی، سمانه جوان بخت، زهرا صفریان و تمامی عزیزانی که روزهای سخت دوری و غربت را برایم آسان نمودند، قدردانی می‌کنم.

نام خانوادگی دانشجو: حسن خانی قوام	نام: فرشته
عنوان پایان نامه: بررسی تاثیر برخی عوامل موثر بر ضرایب اصطکاک خارجی و دگرچسبی خاک در شرایط آزمایشگاهی	
استاد راهنما: دکتر یوسف عباسپور گیلانده استاد مشاور: دکتر غلامحسین شاهقلی و دکتر عزت اله عسکری اصلی ارده	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: مهندسی کشاورزی گرایش: مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه: محقق اردبیلی دانشکده: کشاورزی تاریخ فارغ التحصیلی: ۱۳۹۰/۹/۲۹ تعداد صفحه: ۱۱۸	
کلید واژه‌ها: خواص دینامیکی خاک، ضریب اصطکاک خارجی، چسبندگی، سیستم اندازه‌گیری، جنس، محتوی رطوبتی خاک.	
<p>چکیده: تعیین دقیق پارامترهای خاک از قبیل چسبندگی و اصطکاک خارجی خاک در طراحی ادوات کشاورزی، محاسبه نیروی مقاوم کششی و بررسی عملکرد و سائیدگی آنها اهمیت اساسی دارد. در این تحقیق مقادیر ضرایب اصطکاک خارجی و دگرچسبی خاک برای سه بافت خاک لومی، لومی‌شنی و شنی‌لومی تحت شرایط رطوبتی و سطوح درگیر مختلف تحت سرعت‌های پیشروی متفاوت سطوح درگیر نسبت به خاک بدست آمد. اثر عوامل اصلی درصد رطوبت، نوع بافت خاک، سرعت لغزشی و جنس سطوح و نیز اثرات متقابل آنها بر ضرایب اصطکاک خارجی و دگرچسبی خاک نیز مورد بررسی قرار گرفت. همچنین روند تغییرات ضرایب اصطکاک خارجی و دگرچسبی خاک برحسب افزایش محتوای رطوبت در بافت‌های مختلف خاک مورد مطالعه قرار گرفت و فازهای مختلف اصطکاکی، چسبندگی و فاز سیالی در آنها مورد تشخیص قرار گرفت. در این تحقیق دستگاهی برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک خارجی و دگرچسبی خاک طراحی و ساخته شد و عملکرد آن مورد بررسی قرار گرفت. دستگاه شامل دو بخش الکتریکی و مکانیکی است که در آن مخزن با استفاده از یک الکتروموتور روی دو ریل موازی به حرکت در آمده و حاصل این حرکت تماس، سطح مماسی خاک داخل آن با قطعه فلزی متصل به لودسل که به صورت ثابت بر روی مخزن قرار داده شده می‌باشد. نیروی حاصل از تماس خاک با فلز توسط لودسل به سیستم تحصیل داده وارد و ثبت و ضبط می‌شود. داده‌ها در قالب طرح فاکتوریل بر پایه‌ی طرح بلوک کامل تصادفی تحلیل شدند. آزمایشات برای هر بافت خاک در پنج سطح محتوی رطوبتی خاک، سه سطح سرعت لغزشی، چهار جنس فولاد، چدن، لاستیک و تفلون در سه تکرار انجام گردید. نتایج نشان داد در تمامی بافت‌های مورد آزمایش اثرات اصلی رطوبت، سرعت و جنس در سطح احتمال ۱٪ اثر معنی‌داری بر روی ضریب اصطکاک خارجی خاک داشتند. همچنین اثرات متقابل دوتایی رطوبت در سرعت، رطوبت در جنس، و سرعت در جنس و نیز اثرات متقابل سه‌تایی سرعت در رطوبت در جنس، در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. نمودارهای سرعت نسبت به ضریب اصطکاک خارجی در سه سرعت آزمایشی در سه بافت خاک نشان داد که با افزایش سرعت، ضریب اصطکاک نیز روند افزایشی داشته و این روند کمابیش در ۵ سطح رطوبتی یکسان است. همچنین ضریب اصطکاک خارجی خاک با افزایش رطوبت تا حد مشخصی افزایش یافته و به حد ماکزیمم می‌رسد و پس از آن افت چشمگیری داشته که این سطح رطوبت می‌تواند معرف فاز سیالی برای این خاک‌ها باشد. با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌های چسبندگی خاک و فلز مشاهده می‌شود که در بافت‌های لومی، لومی‌شنی و شنی لومی اثرات اصلی رطوبت، سرعت و جنس در سطح احتمال ۱٪ اثر معنی‌داری بر روی چسبندگی خاک و فلز دارند. همچنین اثرات متقابل دوتایی رطوبت در سرعت، رطوبت در جنس، و سرعت در جنس و نیز اثرات متقابل سه‌تایی سرعت در رطوبت در جنس، در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است. نتایج نشان داد که میانگین مقادیر ضرایب اصطکاک خارجی و دگرچسبی برای خاک‌های مورد مطالعه دارای تفاوت معنی‌داری نسبت به همدیگر می‌باشد.</p>	

فهرست

صفحه	عنوان
۱	فصل اول
۲	۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- کلیات و تعاریف
۳	۱-۲-۱- ساختمان خاک
۴	۲-۲-۱- روابط وزنی و حجمی
۴	۱-۲-۲-۱- وزن مخصوص حقیقی
۴	۲-۲-۲-۱- وزن مخصوص ظاهری خشک
۵	۱-۲-۲-۳- وزن مخصوص ظاهری مرطوب
۵	۲-۲-۲-۴- درصد رطوبت (درصد محتوی رطوبتی خاک)
۵	۱-۲-۳-۱- رطوبت خاک
۷	۳-۱- مکانیک خاک ورزی
۸	۴-۱- اصطکاک
۱۴	۵-۱- اصطکاک و دگر چسبی
۱۵	۶-۱- چسبندگی
۲۶	۷-۱- سایش
۲۸	۸-۱- مروری بر تحقیقات گذشته
۳۲	فصل دوم

۳۳	۱-۲- کلیات
۳۳	۲-۲- طراحی و ساخت دستگاه اندازه‌گیری ضریب اصطکاک خارجی خاک
۳۴	۱-۲-۲- طراحی و ساخت بخش مکانیکی
۳۵	۱-۱-۲-۲- شاسی
۳۵	۲-۱-۲-۲- بدنه اصلی
۳۶	۳-۱-۲-۲- مخزن خاک
۳۷	۴-۱-۲-۲- ریل
۳۹	۲-۲-۲- بخش الکترونیکی
۴۰	۱-۲-۲-۲- انتخاب لودسل
۴۱	۲-۲-۲-۲- کالیبراسیون لودسل
۴۲	۳-۲-۲-۲- سیستم جمع‌آوری و ذخیره داده
۴۴	۳-۲- شرایط خاک آزمایشی
۴۴	۱-۳-۲- تعیین بافت خاک
۴۵	۱-۱-۳-۲- تجزیه هیدرومتری
۴۸	۲-۳-۲- تعیین چگالی خاک
۴۸	۳-۳-۲- تعیین درصد رطوبت
۵۰	۴-۲- بدست آوردن سرعت‌های مورد نظر
۵۰	۵-۲- نحوه انجام آزمایش
۵۳	فصل سوم
۵۴	۱-۳- تجزیه واریانس داده‌های حاصل از ضریب اصطکاک خارجی خاک
۵۶	۲-۳- مقایسه میانگین مقادیر ضریب اصطکاک خارجی خاک
۵۶	۱-۲-۳- مقایسه میانگین اثرات اصلی بر مقدار ضریب اصطکاک خارجی خاک در سه بافت خاک

- ۳-۲-۲- اثر رطوبت بر ضریب اصطکاک خارجی خاک ۵۸
- ۳-۲-۳- اثر سرعت بر روی ضریب اصطکاک خارجی خاک ۶۷
- ۳-۲-۴- اثر جنس بر ضریب اصطکاک خارجی خاک ۷۴
- ۳-۲-۵- اثر متقابل رطوبت در سرعت بر روی ضریب اصطکاک خارجی خاک ۷۷
- ۳-۲-۶- اثر متقابل رطوبت در جنس بر روی ضریب اصطکاک خارجی خاک ۸۰
- ۳-۲-۷- اثر متقابل سرعت در جنس بر روی ضریب اصطکاک خارجی خاک ۸۲
- ۳-۲-۸- اثر متقابل رطوبت در سرعت در جنس بر روی ضریب اصطکاک خارجی خاک ۸۴
- ۳-۳- تجزیه واریانس داده‌های حاصل از چسبندگی خاک و فلز ۸۸
- ۳-۴- مقایسه میانگین اثرات اصلی بر مقدار چسبندگی خاک و فلز ۹۰
- ۳-۴-۱- اثر رطوبت بر چسبندگی خاک و فلز ۹۲
- ۳-۴-۲- اثر سرعت بر روی چسبندگی خاک و فلز ۹۴
- ۳-۴-۳- اثر جنس بر چسبندگی خاک و فلز ۹۴
- ۳-۴-۴- اثر متقابل رطوبت در سرعت بر روی چسبندگی خاک و فلز ۹۹
- ۳-۴-۵- اثر متقابل رطوبت در جنس بر روی چسبندگی خاک و فلز ۱۰۲
- ۳-۴-۶- اثر متقابل سرعت در جنس بر روی چسبندگی خاک و فلز ۱۰۴
- ۳-۴-۷- اثرات متقابل رطوبت در سرعت در جنس بر روی چسبندگی خاک و فلز ۱۰۶
- ۳-۵- تجزیه واریانس داده‌های حاصل از ضریب اصطکاک خارجی خاک همراه با بافت خاک ۱۱۱
- منابع ۱۱۵

فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- نیروی عمودی و نیروی اصطکاکی بین دو قسمت سخت خاک	۹
شکل ۱-۲- روشی برای تعیین شکست برش مستقیم در میان سطوح تعیین شده	۱۰
شکل ۱-۳- سیستم ساده لغزنده به کار رفته برای تعیین ضریب اصطکاک لغزشی (الف) شکل واقعی (ب) شکل شماتیک	۱۲
شکل ۱-۴- قسمت نفوذپذیر تحت تاثیر نیروهایی که با سرش خاک ایجاد می شوند (راگرز و تانر، ۱۹۵۵) ...	۱۳
شکل ۱-۵- پوش گسیختگی خاک	۱۷
شکل ۱-۶- تاثیر رطوبت خاک روی ضریب اصطکاک بین خاک و فلز در خاک شنی (نقاط سیاه) و رسی (نقاط سفید)	۲۳
شکل ۱-۷- فازهای کلی اصطکاک خاک به کار رفته برای تعیین واکنش های خاک در رطوبت های مختلف (نیکولز ۱۹۳۱)	۲۵
شکل ۱-۸- تاثیر نیروی شکست روی ذرات شنی ساینده در یک تست سایش	۲۷
شکل ۱-۲- شماتیک سیستم اندازه گیری ضریب اصطکاک خارجی و دگرچسبی خاک مورد استفاده در تحقیق	۳۴
شکل ۲-۲- شماتیک شاسی دستگاه	۳۵
شکل ۲-۳- شماتیک بدنه اصلی	۳۶
شکل ۲-۴- شماتیک مخزن خاک	۳۷
شکل ۲-۵- ریل	۳۷
شکل ۲-۶- نمایی از دستگاه ساخته شده در آزمایشگاه	۳۸
شکل ۲-۷- قطعات آزمایشی فولاد، چدن، لاستیک و تفلون	۳۹
شکل ۲-۸- نمودار روندنمایی بخش الکترونیکی	۳۹

- شکل ۲-۹- مدار راه اندازی..... ۴۰
- شکل ۲-۱۰- کرنش سنج‌های تشکیل دهنده‌ی پل و تستون ۴۱
- شکل ۲-۱۱- لودسل..... ۴۱
- شکل ۲-۱۲- دیتالاگر مدل DT800..... ۴۳
- شکل ۲-۱۳- نقشه پل و تستون و کانال مرتبط- توسط نرم‌افزار دیتالاگر..... ۴۳
- شکل ۲-۱۴- اضافه کردن هگزامتافسفات سدیم به نمونه‌های خاک..... ۴۶
- شکل ۲-۱۵- مرحله‌ی آخر تعیین بافت خاک به همراه استوانه‌ی شاهد..... ۴۶
- شکل ۲-۱۶- اضافه کردن آب به خاک به کمک آب پاش..... ۵۰
- شکل ۲-۱۷- وزنه‌های ۵ و ۱۰ نیوتنی مورد استفاده در آزمایش‌ها..... ۵۱
- شکل ۲-۱۸- دستگاه مورد استفاده در جریان آزمایش‌ها به همراه لوازم جانبی آن..... ۵۲
- شکل ۳-۱- تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک بر حسب رطوبت در بافت لومی و سرعت ۰/۵..... ۶۰
- شکل ۳-۲- تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک بر حسب رطوبت در بافت لومی و سرعت ۲/۵..... ۶۰
- شکل ۳-۳- تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک بر حسب رطوبت در بافت لومی و سرعت ۳/۵..... ۶۱
- شکل ۳-۴- تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک بر حسب رطوبت در بافت لومی شنی و سرعت ۰/۵..... ۶۱
- شکل ۳-۵- تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک بر حسب رطوبت در بافت لومی شنی و سرعت ۲/۵..... ۶۲
- شکل ۳-۶- تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک بر حسب رطوبت در بافت لومی شنی و سرعت ۳/۵..... ۶۲
- شکل ۳-۷- تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک بر حسب رطوبت در بافت لومی شنی و سرعت ۰/۵..... ۶۳
- شکل ۳-۸- تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک بر حسب رطوبت در بافت لومی شنی و سرعت ۲/۵..... ۶۳
- شکل ۳-۹- تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک بر حسب رطوبت در بافت لومی شنی و سرعت ۳/۵..... ۶۴
- شکل ۳-۱۰- تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک بر حسب رطوبت در بافت لومی و قطعه فولادی..... ۶۵
- شکل ۳-۱۱- تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک بر حسب رطوبت در بافت لومی شنی و قطعه فولادی..... ۶۵

شکل ۳-۱۲- تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک بر حسب رطوبت در بافت شنی لومی و قطعه فولادی
..... ۶۶

شکل ۳-۱۳- تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک بر حسب رطوبت در سه بافت خاک در قطعه فولادی
در سرعت ۰/۵..... ۶۷

شکل ۳-۱۴- تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک بر حسب سرعت در بافت لومی و قطعه فولادی..... ۶۸

شکل ۳-۱۵- تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک بر حسب سرعت در بافت لومی و قطعه چدنی..... ۶۹

شکل ۳-۱۶- تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک بر حسب سرعت در بافت لومی و قطعه لاستیک..... ۶۹

شکل ۳-۱۷- تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک بر حسب سرعت در بافت لومی و قطعه تفلونی..... ۷۰

شکل ۳-۱۸- تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک بر حسب سرعت در بافت لومی شنی و قطعه فولادی
..... ۷۰

شکل ۳-۱۹- تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک بر حسب سرعت در بافت لومی شنی و قطعه چدنی
..... ۷۱

شکل ۳-۲۰- تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک بر حسب سرعت در بافت لومی شنی و قطعه
لاستیک..... ۷۱

شکل ۳-۲۱- تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک بر حسب سرعت در بافت لومی شنی و قطعه تفلونی
..... ۷۲

شکل ۳-۲۲- تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک بر حسب سرعت در بافت شنی لومی و قطعه فولادی
..... ۷۲

شکل ۳-۲۳- تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک بر حسب سرعت در بافت شنی لومی و قطعه چدنی
..... ۷۳

شکل ۳-۲۴- تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک بر حسب سرعت در بافت شنی لومی و قطعه
لاستیک..... ۷۳

شکل ۳-۲۵- تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک بر حسب سرعت در بافت شنی لومی و قطعه تفلونی
..... ۷۴

- شکل ۳-۲۶- اثر متقابل رطوبت در سرعت بر میانگین ضریب اصطکاک خارجی خاک لومی ۷۸
- شکل ۳-۲۷- اثر متقابل رطوبت در سرعت بر میانگین ضریب اصطکاک خارجی خاک لومی شنی ۷۹
- شکل ۳-۲۸- اثر متقابل رطوبت در سرعت بر میانگین ضریب اصطکاک خارجی خاک شنی لومی ۷۹
- شکل ۳-۲۹- اثر متقابل رطوبت در جنس بر میانگین ضریب اصطکاک خارجی خاک لومی ۸۱
- شکل ۳-۳۰- اثر متقابل رطوبت در جنس بر میانگین ضریب اصطکاک خارجی خاک لومی شنی ۸۱
- شکل ۳-۳۱- اثر متقابل رطوبت در جنس بر میانگین ضریب اصطکاک خارجی خاک شنی لومی ۸۲
- شکل ۳-۳۲- اثر متقابل سرعت در جنس بر میانگین ضریب اصطکاک خارجی خاک لومی ۸۳
- شکل ۳-۳۳- اثر متقابل سرعت در جنس بر میانگین ضریب اصطکاک خارجی خاک لومی شنی ۸۳
- شکل ۳-۳۴- سطح خاک در رطوبت ۱۲٪ بافت لومی شنی ۹۳
- شکل ۳-۳۵- محتوای رطوبتی ۲۴٪ برای خاک لومی شنی (حد روانی) ۹۳
- شکل ۳-۳۶- سطح رویی قطعه‌ی تماسی لاستیک پس از یک بار آزمایش در سطح رطوبتی ۱۸٪ ۹۹
- شکل ۳-۳۷- سطح رویی قطعه‌ی تماسی تفلون پس از یک بار آزمایش در سطح رطوبتی ۱۸٪ ۹۹
- شکل ۳-۳۸- اثر متقابل رطوبت در سرعت بر چسبندگی خاک و فلز در خاک لومی ۱۰۰
- شکل ۳-۳۹- اثر متقابل رطوبت در سرعت بر چسبندگی خاک و فلز در خاک لومی شنی ۱۰۱
- شکل ۳-۴۰- اثر متقابل رطوبت در سرعت بر چسبندگی خاک و فلز در خاک شنی لومی ۱۰۱
- شکل ۳-۴۱- اثر متقابل رطوبت در جنس بر میانگین چسبندگی خاک و فلز در خاک لومی ۱۰۳
- شکل ۳-۴۲- اثر متقابل رطوبت در جنس بر میانگین چسبندگی خاک و فلز در خاک لومی شنی ۱۰۳
- شکل ۳-۴۳- اثر متقابل رطوبت در جنس بر میانگین چسبندگی خاک و فلز در خاک شنی لومی ۱۰۴
- شکل ۳-۴۴- اثر متقابل سرعت در جنس بر میانگین چسبندگی خاک و فلز در خاک لومی ۱۰۵
- شکل ۳-۴۵- اثر متقابل سرعت در جنس بر میانگین چسبندگی خاک و فلز در خاک لومی شنی ۱۰۵
- شکل ۳-۴۶- اثر متقابل سرعت در جنس بر میانگین چسبندگی خاک و فلز در خاک شنی لومی ۱۰۶

فهرست جدول ها

صفحه	عنوان
۱۸	جدول ۱-۱- نمونه‌های مقادیر بحرانی خاک-ابزار.....
۲۰	جدول ۲-۱- تاثیر بار فشاری بر روی نیروی چسبندگی بین خاک و صفحه فلزی (گرم بر سانتیمتر مربع). ۲۰
۲۲	جدول ۳-۱- مقایسه پارامترهای اصطکاکی خاک- لاستیک و برش داخلی خاک(نیل، ۱۹۶۶).....
۲۴	جدول ۴-۱- اثر بارهای اعمال شده توسط وزن مکانیکی و مکش رطوبت خاک بر خواص اصطکاکی چند خاک.....
۴۸	جدول ۱-۲- بافت خاک‌های مورد آزمایش.....
۵۵	جدول ۱-۳- تجزیه واریانس اثر سرعت، رطوبت، جنس بر ضریب اصطکاک خارجی خاک در بافت لومی
۵۵	جدول ۲-۳- تجزیه واریانس اثر سرعت، رطوبت، جنس بر ضریب اصطکاک خارجی خاک در بافت لومی شنی.....
۵۶	جدول ۳-۳- تجزیه واریانس اثر سرعت، رطوبت، جنس بر ضریب اصطکاک خارجی خاک در بافت شنی لومی.....
۵۷	جدول ۴-۳- نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی بر ضریب اصطکاک خارجی خاک در سطح احتمال ۱٪ در خاک لومی.....
۵۷	جدول ۵-۳- نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی بر ضریب اصطکاک خارجی خاک در سطح احتمال ۱٪ در خاک شنی لومی.....
۵۸	جدول ۶-۳- نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی بر ضریب اصطکاک خارجی خاک در سطح احتمال ۱٪ در خاک شنی لومی.....
۷۵	جدول ۷-۳- مقادیر ضریب اصطکاک خارجی خاک لومی در پنج سطح رطوبتی و چهار قطعه تماسی در سه سرعت.....
۷۶	جدول ۸-۳- مقادیر ضریب اصطکاک خارجی خاک لومی شنی در پنج سطح رطوبتی و چهار قطعه تماسی در سه سرعت.....

- جدول ۳-۹- مقادیر ضریب اصطکاک خارجی خاک شنی لومی در پنج سطح رطوبتی و چهار قطعه تماسی در سه سرعت ۷۷
- جدول ۳-۱۰- میانگین اثر متقابل سه‌تایی رطوبت در سرعت در جنس بر روی ضریب اصطکاک خارجی خاک لومی..... ۸۶
- جدول ۳-۱۱- میانگین اثر متقابل سه‌تایی رطوبت در سرعت در جنس بر روی ضریب اصطکاک خارجی خاک لومی شنی ۸۷
- جدول ۳-۱۲- تجزیه واریانس اثر سرعت، رطوبت، جنس بر چسبندگی خاک و فلز در بافت لومی ۸۹
- جدول ۳-۱۳- تجزیه واریانس اثر سرعت، رطوبت، جنس بر چسبندگی خاک و فلز در بافت لومی شنی ۸۹
- جدول ۳-۱۴- تجزیه واریانس اثر سرعت، رطوبت، جنس بر چسبندگی خاک و فلز در بافت شنی لومی ۹۰
- جدول ۳-۱۵- نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی بر چسبندگی خاک و فلز خاک لومی در سطح احتمال ۱٪ ۹۱
- جدول ۳-۱۶- نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی بر چسبندگی خاک و فلز خاک لومی شنی در سطح احتمال ۱٪ ۹۱
- جدول ۳-۱۷- نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی بر چسبندگی خاک و فلز خاک شنی لومی در سطح احتمال ۱٪ ۹۱
- جدول ۳-۱۸- مقادیر چسبندگی خاک و فلز در خاک لومی در پنج سطح رطوبتی و چهار قطعه تماسی در سه سرعت ۹۶
- جدول ۳-۱۹- مقادیر چسبندگی خاک و فلز در خاک لومی شنی در پنج سطح رطوبتی و چهار قطعه تماسی و در سه سطح سرعت ۹۷
- جدول ۳-۲۰- مقادیر چسبندگی خاک و فلز در خاک شنی لومی در پنج سطح رطوبتی و چهار قطعه تماسی در سه سرعت ۹۸
- جدول ۳-۲۱- میانگین اثر متقابل سه‌تایی رطوبت در سرعت در جنس بر روی چسبندگی خاک و فلز در خاک لومی..... ۱۰۸

جدول ۳-۲۲- میانگین اثر متقابل سه‌تایی رطوبت در سرعت در جنس بر روی چسبندگی خاک و فلز در خاک لومی شنی ۱۰۹

جدول ۳-۲۳- میانگین اثر متقابل سه‌تایی رطوبت در سرعت در جنس بر روی چسبندگی خاک و فلز در خاک شنی لومی ۱۱۰

جدول ۳-۲۴- تجزیه واریانس اثر سرعت، رطوبت، جنس و بافت خاک بر ضریب اصطکاک خارجی خاک. ۱۱۳

جدول ۳-۲۵- تجزیه واریانس اثر سرعت، رطوبت، جنس و بافت خاک بر چسبندگی خاک و فلز ۱۱۴



فصل اول

مقدمه و مروری بر تحقیقات گذشته

شناخت خواص فیزیکی، مکانیکی و همچنین خصوصیات دینامیکی خاک‌های کشاورزی امری ضروری و غیر قابل اجتناب می‌باشد. تعیین دقیق پارامترهای خاک شامل ضریب اصطکاک داخلی، چسبندگی، ضریب اصطکاک دینامیکی، اصطکاک خاک- فلز و ... در طراحی ادوات کشاورزی، محاسبه نیروی مقاوم کششی و بررسی عملکرد و سائیدگی آنها اهمیت اساسی دارد. بومی‌سازی ادوات و ماشین‌های کشاورزی در منطقه نیاز به تعیین دقیق هر یک از پارامترهای اشاره شده دارد. همچنین در مدل‌سازی رابطه بین ماشین و خاک (از قبیل مدل‌سازی رابطه بین لاستیک و خاک)، مقادیر ضرایب اصطکاک خارجی و دگرچسبی خاک به عنوان یک پارامتر تاثیرگذار همواره مورد توجه محققین و طراحان بوده است.

با توجه به اینکه خاک از یک طرف به عنوان مصالح مورد توجه مهندسين و طراحان قرار می‌گیرد و از سوی دیگر به عنوان یک محیط طبیعی جهت کشت محصولات زراعی در اختیار انسان قرار گرفته است، لذا تعیین مقادیر ضرایب اصطکاک خارجی و دگرچسبی خاک‌ها و مطالعه اثرات عوامل اصلی بر آن لازم و ضروری به نظر می‌رسد. در حالت کلی سه نوع اصطکاک در مطالعات مربوط به دینامیک خاک پیش می‌آید: (الف) اصطکاک خاک با فلز (μ')، (ب) اصطکاک خاک روی خاک (μ) و (ج) اصطکاک داخلی خاک ($\tan \phi$). ولی نکته مهمی که باید بدان اشاره کرد، اصطکاک خاک روی ادوات خاک‌ورزی می‌باشد که موجب سایش تیغه‌های خاک‌ورزی می‌شود.

طبق تعریف، اصطکاک عبارت است از مقاومت در برابر لغزش دو جسم مماس نسبت به یکدیگر که در اثر اعمال یک نیروی خارجی به وجود می‌آید. وقتی خاک بر روی فلز سر می‌خورد و یا زمانی که تایرهای تراکتور بر روی خاک حرکت می‌کنند، نیروهای دگرچسبی بین خاک و فلز و یا بین لاستیک و خاک اثر بارزی بر نیروی اصطکاک دارد. باید توجه کرد که این نیروها زائیده لایه‌های رطوبتی در خاک بوده و مقدار آنها با محتوی رطوبتی تغییر می‌کند. اثر نیروی دگرچسبی عبارت است از افزایش بار عمودی روی سطوح، که این

امر موجب افزایش نیروی اصطکاکی مماسی می‌گردد. بطوریکه اشاره گردید اصطکاک یک خاصیت دینامیکی است که در جابجایی جسم صلب روی خاک مورد بحث قرار می‌گیرد. هر معادله‌ای که یک خاصیت دینامیکی را تعریف کند، یک یا چند پارامتر ریاضی را در بر خواهد داشت که توسط خصوصیات دینامیکی اندازه‌گیری می‌شوند. بنابراین خاک در یک وضعیت خاص، دارای پارامترهای ثابت است. اما چون وضعیت خاک به دلیل بعضی عوامل مانند رطوبت تغییر می‌کند، مقدار عددی پارامتر هم ممکن است متغیر باشد. به عبارت دیگر، پارامترهای دینامیکی خاک توسط خصوصیات دینامیکی تعریف می‌شوند، اگرچه رابطه‌ی دقیقی قابل دست-یابی نباشد.

به‌طور کلی اهداف این تحقیق را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

- ۱- بررسی اثر عوامل اصلی رطوبت، نوع خاک، سرعت لغزشی و جنس سطوح و نیز اثرات متقابل آنها بر ضرایب اصطکاک خارجی و دگرچسبی خاک.
- ۲- تعیین میانگین مقادیر ضرایب اصطکاک خارجی و دگرچسبی خاک برای برخی از بافت‌های خاک و سطوح درگیر.
- ۳- تعیین روند تغییرات ضرایب اصطکاک خارجی و دگرچسبی خاک بر حسب افزایش محتوای رطوبت در بافت‌های مختلف خاک و تشخیص فازهای مختلف اصطکاکی، چسبندگی و فاز سیالی در آنها.

۲-۱- کلیات و تعاریف

۱-۲-۱- ساختمان خاک

ساختمان خاک عبارت است از آرایش فضایی و نیز پایداری ذرات اولیه و خاک‌دانه‌های کوچک و بزرگ. خاک‌دانه‌ها را می‌توان به خاک‌دانه‌های ریز و درشت تقسیم نمود.

۱-۲-۲- روابط وزنی و حجمی

هر حجمی از خاک که در نظر گرفته شود، شامل فازهای جامد، آب و هوا می‌باشد. روابط بین فازهای مختلف به شرح زیر می‌باشد که در این روابط پارامترهای زیر موثر می‌باشند.

$$V = \text{حجم کل خاک (m}^3\text{)} \quad V_s = \text{حجم ذرات جامد خاک (m}^3\text{)}$$

$$V_a = \text{حجمی که توسط هوا پر شده است (m}^3\text{)} \quad V_w = \text{حجمی که توسط آب اشغال شده است (m}^3\text{)}$$

$$V_v = \text{مجموع حجم آب و هوا (m}^3\text{)} \quad W = \text{وزن کل خاک (ذرات جامد و آب) (kg)}$$

$$W_s = \text{وزن ذرات جامد خاک (kg)} \quad W_w = \text{وزن آب موجود در خاک (kg)}$$

۱-۲-۲-۱- وزن مخصوص حقیقی

وزن مخصوص حقیقی ممکن است به دو صورت تعریف گردد. به نسبت وزن خاک خشک به وزن آب مقطر هم حجم آن گفته می‌شود که در این حالت وزن مخصوص یک عدد بی‌بعد می‌باشد. ممکن است وزن مخصوص حقیقی بر حسب وزن خاک خشک به حجم آن نیز بیان شود که واحد آن kg/m^3 می‌باشد. وزن مخصوص دانه‌های خاک معمولاً بین $2/6$ تا $2/8$ می‌باشد و وجود مواد آلی سبب کاهش مقدار آن می‌باشد.

$$d_s = \frac{W_s}{V_s \times \gamma_w} \quad \text{یا} \quad d_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (1-1)$$

$$\gamma_w = \text{وزن مخصوص آب (یک گرم بر سانتیمتر مکعب)}$$

$$d_s = \text{وزن مخصوص حقیقی}$$

۱-۲-۲-۱- وزن مخصوص ظاهری خشک

نسبت وزن دانه‌های جامد به حجم کل خاک را وزن مخصوص ظاهری خشک می‌گویند که با واحد کیلوگرم بر متر مکعب بیان می‌شود.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_t} \quad (2-1)$$

γ_d = وزن مخصوص ظاهری خشک (kg/m^3)

۱-۲-۳- وزن مخصوص ظاهری مرطوب

نسبت وزن کل خاک به حجم کل، به صورت وزن مخصوص ظاهری مرطوب تعریف می‌شود.

$$\gamma = \frac{W_t}{V_t} = \frac{W_t}{V_s + V_a + V_w} \quad (3-1)$$

γ = وزن مخصوص ظاهری مرطوب (kg/m^3)

۱-۲-۴- درصد رطوبت (درصد محتوی رطوبتی خاک)

نسبت وزن آب به وزن شبکه جامد را درصد رطوبت خاک یا درصد محتوی رطوبتی خاک می‌گویند.

درصد رطوبت ممکن است نسبت به خاک مرطوب یا خاک خشک سنجیده شود.

$$m_{cd} = \frac{W_w}{W_s} \quad (4-1)$$

$$m_{cw} = \frac{W_w}{W_t} \quad (5-1)$$

m_{cd} = درصد رطوبت خشک

m_{cw} = درصد رطوبت مرطوب

۱-۲-۳- رطوبت خاک

مقدار جرم آب از دست رفته در اثر خشک شدن در حرارت 105°C و در مدت ۲۴ ساعت می‌باشد.

ذخیره و نگهداری آب به وسیله خاک، نتیجه نیروهای جاذبه بین فازهای جامد و مایع می‌باشد. به این نیروها،