



دانشگاه کشاورزی

گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد (M.Sc) در رشته مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی

عنوان:

بررسی پروفیل رد تایر و تنشهای عمودی زیر چرخ محرک بر اثر بار دینامیکی متغیر با استفاده از آزمونگر تک چرخ

سویل بینی

اساتید راهنما:

دکتر احمد محسنی منش

دکتر عارف مردانی

تنظیم و نگارش:

علی روزبهانی

تیر ۹۲

حق چاپ و نشر برای دانشگاه ارومیه محفوظ است.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

پایان نامه آقای علی روزبهانی به شماره ۵۷۲-۲ک در تاریخ ۱۳۹۲/۰۴/۰۲ با رتبه و نمره مورد پذیرش هیات محترم داوران قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای اول و رئیس هیئت داوران : دکترعارف مردانی

۲- استاد راهنمای دوم : دکتر احمد محسنی نش

۳- استاد مشاور : \_\_\_\_\_

۴- داور خارجی : دکتر اسعد مدرس مطلق

۵- داور داخلی : دکتر آرش محبی

۶- نماینده تحصیلات تکمیلی : دکتر پسر

"حق چاپ و نشر محتوای پایان نامه برای دانشگاه ارومیه محفوظ است"

## **تقدیم به**

**روح بلند پدر بزرگوارم  
و حضور مادر دلسوز و مهربانم**

**که سجده می ایثارشان گل محبت را در وجودم پروراند و  
دامان گهربارشان لحظه های مهربانی را به من آموخت.**

## تقدیر و تشکر

به مصداق آیه مبارک «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق» بسی شایسته است از اساتید راهنمای محترم آقای دکتر مردانی استاد راهنمای اول که حقاً در تمامی مراحل انجام پایان نامه همچون برادری دلسوز از هیچ گونه کمکی در حق بنده دریغ نکردند و جناب آقای دکتر محسنی منش به عنوان استاد راهنمای دوم تقدیر و تشکر نمایم.

همچنین از اساتید محترم آقایان دکتر محبی به عنوان داور داخلی و دکتر مدرس به عنوان داور خارجی که زحمت مطالعه پایان نامه بنده را کشیدند کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

معلمانا مقامت ز عرش برتر باد همیشه توسن اندیشهات مظفر باد

به نکته‌های دلاویز و گفته‌های بلند صحیفه‌های سخن از تو علم پرور باد

از خانواده عزیزم که آرامش روحی و آسایش فکری را فراهم نمودند تا در محیطی مطلوب، مراتب تحصیلی و نیز پایان نامه درسی را به نحو احسن به اتمام برسانم، سپاسگزاری نمایم.

همچنین بر خود لازم می‌دانم از اساتید بزرگوار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی آقایان دکتر محمدحسن کماری‌زاده، دکتر اسعد مدرس مطلق، دکتر علی حسن‌پور، دکتر علی محمدنیکبخت، دکتر رحمان فرخی، دکتر پرویز احمدی‌مقدم و دکتر آرشد محبی که در طول دوران کارشناسی ارشد افتخار شاگردی این عزیزان را داشتم، تشکر و قدردانی می‌نمایم. از کارشناسان و تکنسین‌های کارگاه گروه ماشین‌های کشاورزی، آقایان کریمی، پلنگی و عثمانی که در انجام کارهای عملی از هیچ کمکی دریغ نکردند، صمیمانه تشکر می‌کنم.

و در نهایت تقدیر و تشکر ویژه از دوستان عزیز همکلاسی و هم اتاقی که بهترین لحظات دوران تحصیل را با این عزیزان سپری کردم. آقایان مهندس: امیر شیخی آراسته، ذبیح‌... خانی، علیرضا مرادی، نوید پور و ثوقی، یوسف عباسپور، مهدی شیرازی، اشکان زارعی، اباصلت افرنجی، اصغر موسوی، امین حاضروظیفه، مرتضی جعفرلو، کمال ایمانیان، حسن شریفی، بهنام سارنگی، حجت‌... جعفری و مازیار فیض اله‌زاده گل.

از آقای دکتر بیات نیز جهت راهنمایی‌های ارزنده در اجرای کارهای آماری پایان نامه‌ام، سپاسگذارم.

شکر خدا که هر چه طلب کردم از خدا، برتتمای بهمت خود کاملان شدم

I	.....فهرست مطالب
II	.....فهرست اشکال
III	.....فهرست جداول
IV	.....چکیده

## فهرست مطالب

۱۴.....	تشریح موضوع و بیان مسئله و متغیرها	۱-۱
۱۵.....	اهداف تحقیق	۲-۱
۱۶.....	فصل دوم	۲
۱۶.....	بررسی ادبیات موضوع و سابقه تحقیق	
۱۶.....	مقدمه	۱-۲
۱۶.....	بررسی نیروهای وارده بین چرخ و خاک	۲-۲
۱۸.....	روش حل مسائل	۳-۲
۱۸.....	شاخص مخروطی	۴-۲
۱۹.....	تنش و کرنش در خاک	۵-۲
۲۲.....	روابط تنش و کرنش	۲-۵-۱
۲۳.....	بوکسوات	۶-۲
۲۴.....	نشست خاک(اثر رد تایر)	۷-۲
۲۴.....	تحقیقات انجام گرفته در زمینه اندازه گیری تنش در خاک و ثبت پروفیل رد تایر در خاک	۸-۲

۳۵.....	فصل سوم	۳
۳۵.....	مواد و روشها	
۳۵.....	کلیات	۱-۳
۳۶.....	طراحی و بهینه سازی	۲-۳
۳۶.....	Solidworks ۲۰۱۲	۱-۲-۳
۳۷.....	Abaqus ۶,۱	۲-۲-۳
۳۸.....	افزار پروتئوس	۳-۲-۳
۳۹.....	انواع آزمونگر تک چرخ	۳-۳
۴۰.....	اساخت آزمونگر و تجهیزات مورد استفاده	۱-۳-۳
۴۳.....	اندازه گیری تنش در خاک	۴-۳
۴۳.....	طراحی و ساخت سامانه اندازه گیری تنش	۳-۴-۱
۴۶.....	کالیبراسیون لودسل ها	۲-۴-۳
۴۷.....	سیستم ذخیره داده	۳-۴-۳
۵۰.....	سیستم ثبت اثر رد تایر در اثر بار دینامیکی	۵-۳
۵۴.....	دیتالاگر	
۵۳.....	داده برداری	۶-۳
۵۴.....	نحوه اعمال لغزش	۱-۶-۳
۵۵.....	سیستم استارت داده برداری	۲-۶-۳
۵۶.....	فروسنج مخروطی	۳-۶-۳
۵۸.....	طرز کار با نفوذسنج دستی	۴-۶-۳
۵۸.....	نحوه انجام آزمایشات	۷-۳
۵۸.....	طرح آزمایشی مورد استفاده	۱-۷-۳

۵۹.....	آماده سازی داده های خام برای تحلیل	۸-۳
۶۱.....	فصل چهارم	۴
۶۱.....	تجزیه و تحلیل اطلاعات	
۶۱.....	مقدمه	۴-۱
۶۲.....	۴-۲ بررسی اثر پارامترها بر روی تنش عمودی در خاک	
۶۲.....	۴-۲-۱ اثر سرعت پیشروی بر روی تنش عمودی در خاک	
۶۲.....	۴-۲-۲ اثر لغزش بر روی تنش عمودی در خاک	
۶۳.....	۴-۲-۳ اثر بار عمودی بر روی تنش عمودی در خاک	
۶۴.....	۴-۲-۴ تعیین تنش مماسی	
۷۳.....	۴-۲-۵ نتایج تجزیه واریانس عوامل مورد بررسی	
۷۴.....	۴-۲-۶ تنش های اندازه گیری شده	
۸۶.....	۴-۳ بررسی اثر پارامترها بر روی پروفیل اثر رد تایر در سطح خاک	
۸۶.....	۴-۳-۱ پروفیل اثر رد تایر	
۸۹.....	فصل پنجم	۲
۸۹.....	نتیجه گیری کلی و پیشنهادات	
۸۹.....	نتیجه گیری	۱-۲
۹۰.....	پیشنهادات	۲-۲
۹۲.....	فهرست منابع و مآخذ	۳-۲
۹۶.....	چکیده انگلیسی	

## فهرست اشکال



- شکل ۱- نیروها و سرعت های پایه ای روی یک چرخ منفرد با نتیجه نیروی عکس العمل خاک ..... ۱۷
- شکل ۲- نیروهای محرک و عکس العملی چرخ محرک و خاک ..... ۱۸
- شکل ۳- نفوذ سنج دستی مورد استفاده در آزمایشات مدل Rimik PC۲۰۰ ..... ۱۹
- شکل ۴- تنشهای نرمال و برشی وارد بر یک المان مکعبی خاک تحت بارگذاری ..... ۲۰
- شکل ۵- سنسور اندازه گیری تنش و موقعیت قرارگیری آن در زیر چرخ در آزمایشات توماس کلر و همکاران ..... ۲۵
- شکل ۶- سنسورهای تنش مورد استفاده توسط توماس کلر و موقعیت نصب آنها ..... ۲۶
- شکل ۷- نتایج تحقیقات توماس کلر در مورد تنش عمودی الف) تنش عمودی در عمق ب) تنش عمودی در عرض تایر ..... ۲۷
- شکل ۸- سنسورهای شش وجهی اندازه گیری تنش مورد استفاده توسط پیتکا و همکاران ..... ۲۸
- شکل ۹- سنسورهای مورد استفاده برای اندازه گیری تنش توسط پرشیونینگ و همکاران و نحوه نصب آنها ..... ۲۹
- شکل ۱۰- نتایج حاصل از اندازه تنش عمودی در زیر چرخ توسط پرشیونینگ و همکاران ..... ۳۰
- شکل ۱۱- نیروها و گشتاورهای عمل کننده بر چرخ عقب و نمای مونتازی چرخ و تایر ..... ۳۱
- شکل ۱۲- نتایج حاصل از تحلیل تنش عمودی زیر تایر توسط محسنی منش و همکاران در نرم افزار Ansys ..... ۳۲
- شکل ۱۳- سنسورهای اندازه گیری تنش روی بلوک تایر توسط محسنی منش و همکاران ..... ۳۳
- شکل ۱۴- محیط Part نرم افزار سالدورکس و آزمونگر مدلسازی شده ..... ۳۷
- شکل ۱۵- قاب چرخ در محیط نرم افزار آباکوس ..... ۳۸
- شکل ۱۶- نمایی از محیط نرم افزار Proteus v ۷,1 sp۳ ..... ۳۹
- شکل ۱۷- چاپ مدار طراحی شده در نرم افزار پروتئوس با برد کامپوزیت ..... ۳۹
- شکل ۱۸- سیستم انتقال توان به چرخ محرک متشکل از الکتروموتور و گیربکس الف) نمونه ساخته شده ب) مدل طراحی شده ..... ۴۱
- شکل ۱۹- اینورترهای تنظیم سرعت دورانی الکتروموتورها الف) محرک حامل چرخ ب) محرک چرخ ..... ۴۱
- شکل ۲۰- نمودار سرعت خطی خروجی الکتروموتور بر حسب فرکانس برای الف) الکتروموتور ۷,۵ ب) الکتروموتور ۳۰ اسب بخار ..... ۴۲
- شکل ۲۱- دیاگرام آزاد نیروهای وارد بر چرخ آزمونگر ..... ۴۳
- شکل ۲۲- نمایشگرهای دیجیتال مورد استفاده جهت نمایش و ذخیره همزمان داده های خروجی از لودسل ها ..... ۴۵
- شکل ۲۳- لودسل S شکل مورد استفاده جهت اندازه گیری بارهای دینامیکی ..... ۴۵
- شکل ۲۴- سامانه اندازه گیری تنش زیر چرخ محرک به همراه اجزای داخلی و موقعیت قرار گیری در خاک ..... ۴۶
- شکل ۲۵- شماتیک سیستم اندازه گیری تنش زیر چرخ محرک در عمق های مختلف ..... ۴۶

- شکل ۲۶- کالیبراسیون لودسل ها با بارهایی در محدوده ی ابتدا، انتها و میانی ظرفیت اندازه گیری آنها ..... ۴۷
- شکل ۲۷- لب تاپ جهت ذخیره اطلاعات و درگاه اتصال USB ..... ۴۸
- شکل ۲۸- محل نصب دستگاه شیب سنج روی لینک افقی اتصال ..... ۴۹
- شکل ۲۹- موقعیت نصب رله های مغناطیسی و طول داده برداری ..... ۴۹
- شکل ۳۰- ابعاد پروفیل اندازه گیری تنش و موقعیت نصب لودسل ها ..... ۵۰
- شکل ۳۱- ماژول شیب سنج دو محوره مدل ZCT۲۴۵AN و سیستم شیب سنج طراحی شده ..... ۵۰
- شکل ۳۲- نمونه نمایشگر ۱۶\*۲ نصب شده بر روی مدار شیب سنج ..... ۵۱
- شکل ۳۳- پروگرامر مورد استفاده جهت پروگرام کردن میکرو ..... ۵۲
- شکل ۳۴- جعبه آلومینیومی محافظ قطعات الکترونیک شیب سنج ..... ۵۲
- شکل ۳۵- محیط نرم افزار رابط بین دیتالاگر و رایانه ..... ۵۳
- شکل ۳۶- نمونه ای از اندازه گیری شاخص مخروطی در یک خاک لومی رسی ..... ۵۷
- شکل ۳۷- اندازه گیری شاخص مخروطی توسط نفوذسنج دستی Rimik cp۲۰ ..... ۵۸
- شکل ۳۸- دوربین مورد استفاده جهت تهیه تصاویر Data base ..... ۶۵
- شکل ۳۹- بخشی از تصاویر تهیه شده و آماده ورود به نرم افزار متلب جهت تعیین سطح ..... ۶۶
- شکل ۴۰- مولفه های تشکیل دهنده هر جزء از یک تصویر رنگی ..... ۶۶
- شکل ۴۱- برنامه نوشته شده در نرم افزار متلب تعیین سطح تماس چرخ و خاک بر اساس تعداد پیکسل ..... ۶۷
- شکل ۴۲- مراحل پردازش تصویر تماسی چرخ و خاک در نرم افزار متلب ..... ۶۸
- شکل ۴۳- مقادیر تنش مماسی بر حسب سرعت پیشروی و لغزش در بار عمودی ۱۹۶۲ کیلونیوتن ..... ۷۰
- شکل ۴۴- مقادیر تنش مماسی بر حسب سرعت پیشروی و لغزش در بار عمودی ۲۹۴۳ کیلونیوتن ..... ۷۱
- شکل ۴۵- مقادیر تنش مماسی بر حسب سرعت پیشروی و لغزش در بار عمودی ۳۹۲۴ کیلونیوتن ..... ۷۲
- شکل ۴۶- نتایج حاصل از اندازه گیری تنش مماسی توسط محسنی منش و همکاران ..... ۷۳
- شکل ۴۷- تنش اندازه گیری شده در عمق ۱۰ سانتیمتر، سرعت ۰,۸ متر بر ثانیه، بار عمودی ۱۹۶۲ نیوتن و لغزش ۸ درصد ..... ۷۵
- شکل ۴۸- ضربان تنش بر حسب زمان در عمق ۱۰ سانتیمتر، سرعت ۰,۸ متر بر ثانیه، بار عمودی ۳۹۲۴ نیوتن و لغزش ۱۷ درصد ..... ۷۶
- شکل ۴۹- اثر سرعت پیشروی و لغزش در بار عمودی ۱۹۶۲ نیوتن بر تنش در عمق ۱۰ سانتیمتر ..... ۷۸
- شکل ۵۰- اثر سرعت پیشروی و لغزش در بار عمودی ۲۹۴۳ نیوتن بر تنش در عمق ۱۰ سانتیمتر ..... ۷۹
- شکل ۵۱- اثر سرعت پیشروی و لغزش در بار عمودی ۳۹۲۴ نیوتن بر تنش در عمق ۱۰ سانتیمتر ..... ۷۹

- شکل ۵۲ - اثر سرعت پیشروی و لغزش در بار عمودی ۱۹۶۲ نیوتن بر تنش در عمق ۱۵ سانتیمتر ..... ۸۱
- شکل ۵۳ - اثر سرعت پیشروی و لغزش در بار عمودی ۲۹۴۳ نیوتن بر تنش در عمق ۱۵ سانتیمتر ..... ۸۱
- شکل ۵۴ - اثر سرعت پیشروی و لغزش در بار عمودی ۳۹۲۴ نیوتن بر تنش در عمق ۱۵ سانتیمتر ..... ۸۲
- شکل ۵۵ - اثر سرعت پیشروی و لغزش در بار عمودی ۱۹۶۲ نیوتن بر تنش در عمق ۲۰ سانتیمتر ..... ۸۳
- شکل ۵۶ - اثر سرعت پیشروی و لغزش در بار عمودی ۲۹۴۳ نیوتن بر تنش در عمق ۲۰ سانتیمتر ..... ۸۴
- شکل ۵۷ - اثر سرعت پیشروی و لغزش در بار عمودی ۳۹۲۴ نیوتن بر تنش در عمق ۲۰ سانتیمتر ..... ۸۴
- شکل ۵۸ - نتایج حاصل از اندازه گیری تنش توسط پیتکا و همکاران در خاک ماسه ای ..... ۸۵
- شکل ۵۹ - نتایج حاصل از اندازه گیری تنش توسط توماس کلر و همکاران در سال ۲۰۰۵ ..... ۸۶
- شکل ۶۰ - پروفیل اثر رد تایر در لغزش ۸ درصد و بار عمودی ۲۹۴۳ نیوتن ..... ۸۷

## فهرست جداول

- جدول ۱- تانسورهای تنش و کرنش برای یک المان مکعبی ..... ۲۱
- جدول ۲- ثابت های تنش و کرنش ..... ۲۱
- جدول ۴ - جدول مقایسه میانگین برای اثر سرعت پیشروی بر روی تنش عمودی در خاک ..... ۶۲
- جدول ۵ - جدول مقایسه میانگین برای اثر لغزش بر روی تنش عمودی در خاک ..... ۶۳
- جدول ۶ - جدول مقایسه میانگین برای اثر بار عمودی بر روی تنش عمودی در خاک ..... ۶۴
- جدول ۷- نتایج حاصل از اندازه گیری تنش مماسی به روش پردازش تصویر ..... ۶۹
- جدول ۸ - نتایج تجزیه واریانس عوامل مورد بررسی در اندازه گیری تنش در عمق ..... ۷۴
- جدول ۹ - مقادیر تنش اندازه گیری شده تحت تاثیر پارامترهای مورد بررسی در عمق ۱۰ سانتیمتر ..... ۷۷
- جدول ۱۰ - مقادیر تنش اندازه گیری شده تحت تاثیر پارامترهای مورد بررسی در عمق ۱۵ سانتیمتر ..... ۸۰
- جدول ۱۱ - مقادیر تنش اندازه گیری شده تحت تاثیر پارامترهای مورد بررسی در عمق ۲۰ سانتیمتر ..... ۸۲

## چکیده

در تحقیق حاضر از دو دیدگاه به بررسی موضوع تنش و تراکم ناشی از آن در خاک پرداخته شده است با توجه به محدود بودن ذخایر سوخت فسیلی در سطح جهان و نیز ضرورت حفظ ساختار خاک تحقیق حاضر صورت گرفته است. آزمایشات در محیط یک آزمونگر تک چرخ محرک که انباره آن با خاک لومی رسی پر شده بود، انجام گرفته است. یک سامانه نوین ابداعی جهت اندازه‌گیری تنش‌های عمودی در خاک طراحی و ساخته شد. همچنین به منظور ثبت و اندازه‌گیری اثر رد تایر یک سیستم دیجیتال پس از طراحی و ساخت، بر روی آزمونگر نصب گردید.

به این منظور پارامترهای سرعت پیشروی در سه سطح (۰،۴، ۰،۸ و ۱،۲ متر بر ثانیه)، بار عمودی روی چرخ در سه سطح (۱۹۶۲، ۲۹۴۳ و ۳۹۲۴ نیوتن)، لغزش در سه سطح (۸، ۱۲ و ۱۷ درصد)، عمق اندازه‌گیری تنش عمودی و یا عمق قرارگیری پروفیل ثبت تنش در سه سطح (۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر) و در نظر گرفتن سه تکرار برای آزمایشات صورت گرفت. همچنین در آزمایشات جداگانه‌ای تنش مماسی میانگین به کمک روش پردازش تصویر اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری تنش در یک طرح آماری فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در کل ۲۴۳ آزمون در شرایط دینامیکی انجام گرفت و داده‌های مربوطه به ثبت رسید.

نتایج حاکی از معنی دار بودن اثر سرعت پیشروی بر تنش و پروفیل اثر رد تایر در تمامی ترکیب‌های مختلف سرعت با لغزش، بار عمودی روی چرخ و عمق اندازه‌گیری تنش بوده است. افزایش سرعت پیشروی تا میزان ۱،۲ متر بر ثانیه باعث افزایش تنش عمودی وارده به خاک تقریباً هم در لایه مماسی و هم در عمق‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر نسبت به سرعت‌های پیشروی ۰،۴ و ۰،۸ متر بر ثانیه افزایش محسوسی را نشان داد. همچنین برای پروفیل اثر رد تایر با افزایش سرعت پیشروی دامنه نوسانات چرخ در سطح خاک و عمق فرورفتگی‌ها و برآمدگی‌های ناشی از عبور تایر در خاک افزایش یافته و در برخی موارد دچار تشدید نیز خواهد شد. اما با افزایش میزان لغزش دامنه نوسانات پروفیل رد تایر بیشتر شد و ناهمواری‌های ملایم‌تری در لایه سطحی خاک زیر چرخ به وجود آمده بود. این اثر در سرعت‌های پایین‌تر و مقادیر زیاد لغزش بیشتر مشاهده گردید.

## فصل اول

### مقدمه

با توجه به رشد روزافزون جمعیت و افزایش نیاز غذایی، افزایش ابعاد مزارع و مکانیزاسیون کشاورزی و استفاده از ماشین‌هایی مزرعه‌ای غول پیکر با وزن بالا بیش از پیش مورد توجه می‌باشد. عدم توجه به ترافیک بی‌رویه ماشین‌ها می‌تواند تراکم شدیدی را در سطح خاک و منطقه فعالیت ریشه ایجاد کند. به منظور ارزیابی فشردگی خاک و یا تاثیرات خاکورزی بر روی خاکهای زراعی، بررسی شرایط مکانیکی خاک ضروری می‌باشد.

برای رسیدن به کشاورزی مکانیزه نیاز به مصرف انرژی به شکل جدید در کلیه مراحل کشاورزی است. آنچه مسلم است کاربرد ماشینهای کشاورزی به عنوان منبع اصلی قدرت در مزرعه، امروزه در فعالیت‌های تولیدی در بخش کشاورزی بعنوان یک نهاد اساسی پذیرفته شده است. لذا ضرورت دارد که اسفاده از ماشینها به طور صحیح و با در نظر گرفتن اصول کاربردی مورد استفاده قرار بگیرد تا علاوه بر افزایش راندمان در تولید محصول که منجر به کاهش هزینه می‌شود، تا حد امکان از اثرات مخرب بوجود آمده در لایه حاصلخیز خاک کاسته شود.

تا امروز تحقیقات گسترده‌ای در مورد شرایط فیزیکی و مکانیکی خاک صورت گرفته است، که بخشی از این تحقیقات مربوط به طراحی و بهینه سازی ادوات خاکورزی بوده که به طور مسقیم در عملیات برش و جابجایی خاک تاثیر دارند و بخش دیگری نیز به بررسی وضعیت نفوذ ریشه‌های محصولات زراعی در خاک‌هایی با میزان فشردگی متفاوت می‌پردازند. با توجه به این موضوع که میزان فشردگی خاک پس از عبور ماشین در سطح مزرعه با تراکم اولیه خاک و میزان بارهای عمودی و تنش‌های وارده به خاک در عمق‌های مختلف رابطه مستقیم دارد، لذا می‌توان با بررسی تنش‌های وارده به خاک و اندازه گیری شاخص مخروطی قبل و پس از عبور تایر به میزان فشردگی خاک و اثرات ناشی از عبور ماشین پی برد.

تراکم خاک می‌تواند ناشی از دو عامل باشد. عامل طبیعی و عامل غیر طبیعی، که عامل طبیعی مانند برخورد قطرات باران، خشک شدن تدریجی خاک، عبور حیوانات و عوامل غیرطبیعی مانند نیروهای پایین سو که در اثر عبور ادوات و ماشین‌های مزرعه‌ای به خاک وارد می‌شود (برزگر، ۱۳۸۰).

## ۱-۱ تشریح موضوع و بیان مسئله و متغیرها

عامل مشترک و انتقال دهنده نهایی توان تولیدی توسط به زمین و تولید کشش و نهایتاً حرکت روبه جلوی هر ماشین چرخ‌های لاستیکی و یا زنجیری محرک می‌باشد. همانطور که می‌دانیم چرخ‌ها در ماشینها عموماً به دو نوع محرک (توان گیرنده) و متحرک (حمل کننده) تقسیم بندی می‌شوند. تولید نیروی زمین‌گیری و کشش تولیدی در ماشین تابعی از، بارهای استاتیکی و دینامیکی روی چرخ و همچنین سطح تماس چرخ و خاک می‌باشد که در این تحقیق به بررسی عامل بارهای دینامیکی در سطح تماس چرخ و خاک و تنش‌های بوجود آمده در عمق‌های مختلف خاک پرداخته شده است.

بحران تامین انرژی در جهان و مساله انرژی در کشاورزی را می‌توان یکی از مسائل مهم پیش‌روی دنیا برشمرد، همچنانکه جنگ‌های بسیاری بر سر این موضوع در جریان است. با توجه به اینکه بخش عمده‌ای از سوخت‌های فسیلی در کشاورزی و خصوصاً در عملیات خاکورزی و آماده‌سازی بستر بذر مورد استفاده قرار می‌گیرد، از اینرو انجام تحقیقات در این حوزه به منظور بهره‌برداری بهینه از ذخایر انرژی موجود و حفظ ساختار خاک‌های کشاورزی که قشر نازک لایه سطحی خاک را تشکیل می‌دهد امری ضروری می‌نماید.

از طرف دیگر همانطور که می‌دانیم تراکم در لایه سطحی خاک به منظور برقراری رابطه رطوبتی بین بذر و خاک و نیز ریشه و خاک در مراحل رشد لازم و ضروری به نظر می‌رسد، اما تا آنجا که در محدوده فعالیت ریشه گیاه شدید نباشد و در رشد گیاه و راندمان تولید محصول اختلال ایجاد نکند. زیرا در صورت تجاوز از این محدوده مشکلات زیر را در پی خواهد داشت:

- ۱- کاهش تولید محصول: کاهش نفوذ ریشه به عمق خاک و کاهش ارتباط غذایی ریشه و خاک و نهایتاً کاهش راندمان محصول را به دنبال خواهد داشت.
- ۲- افزایش میزان مصرف سوخت: با توجه این که تراکم شدید امکان فعالیت ریشه را ناممکن می‌سازد، خاک نیاز به عملیات زیرشکنی پیدا می‌کند و به طور کلی عملیات خاکورزی میزان مصرف سوخت بالایی را طلب می‌کند.
- ۳- افزایش زمان اتمام عملیات: مسلماً در صورتی که حالت بهینه انجام عملیات از جمله سرعت پیشروی، بار روی چرخ و ... مناسب انتخاب نشود، زمان انجام کار افزایش خواهد یافت.
- ۴- کاهش ذخایر رطوبتی زمین: با تراکم شدید در قشر سطحی خاک امکان نفوذ رطوبت و نزولات جوی به داخل خاک کاهش می‌یابد و سیلاب‌های سطحی جاری خواهد شد.

## ۲-۱ اهداف تحقیق

اهداف کلی این تحقیق عبارتند از:

- مطالعه تحقیقات پیشین و طراحی و ساخت یک سیستم اندازه‌گیری تنش در خاک
- طراحی و ساخت یک سیستم اندازه‌گیری پروفیل اثر رد تایر تحت بار دینامیکی
- اندازه‌گیری تنش در عمق‌های مختلف خاک زیر چرخ محرک تحت تاثیر پارامترهای فشار باد تایر، بار عمودی، سرعت پیشروی، لغزش در دو جهت پیشروی و عمود بر مسیر پیشروی
- اندازه‌گیری پروفیل رد تایر و پاسخ ثبت شده در سطح خاک تحت تاثیر بار دینامیکی

## ۲ فصل دوم

### بررسی ادبیات موضوع و سابقه تحقیق

#### ۱-۲ مقدمه

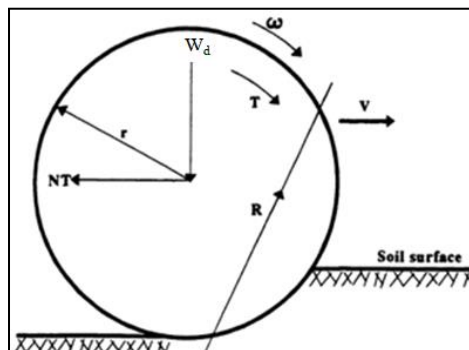
سختی خاک و تاثیر آن بر رشد گیاه، محققان بسیاری را به سمت تحقیق در این زمینه کشانده است. از دلایل سختی خاک می تواند افزایش اندازه ماشین آلات و استفاده بی از حد از ماشین آلات باشد. فشار اقتصادی و تغییرات ساختاری در کشاورزی مدرن ممکن است که مربوط به این توسعه باشد. در این مطالعه تلاش شده است تا با یک روش ابتکاری به محاسبه تنش خاک و پروفیل رد تایر پرداخته شود. ابتدا در این فصل به تئوری های استفاده شده در مورد بارگذاری دینامیکی چرخ و تنش خاک اشاره خواهد گردید و در ادامه به تحقیقات مرتبط با این محاسبه تنش خاک و پروفیل رد تایر اشاره خواهد گردید.

#### ۲-۲ بررسی نیروهای وارده بین چرخ و خاک

بار دینامیکی  $W_d$ ، کل نیروهای عمودی بر سطح خاک که توسط تایر وسیله نقلیه کششی یا حمل و نقل، تحت شرایط کاری اعمال می گردد، می باشد و بار استاتیکی  $W_s$ ، کل نیروهای عمود بر سطح خاک که توسط تایر وسیله نقلیه کششی یا حمل و نقل در شرایط بی حرکت با کشش خالص صفر و گشتاور ورودی صفر اعمال می گردد، می باشد بنابراین  $(W_d - W_s)$  را انتقال بار می -



نامند که تغییر در نیروهای عمودی زیر چرخ‌های ادوات کششی و حمل و نقل تحت شرایط کاری، در مقایسه با وسیله نقلیه بی-حرکت می‌باشد. (شکل ۱) حالت بار دینامیکی را نشان می‌دهد که گشتاور  $T$ ، ممان محرک در آکسل وسیله کششی می‌باشد.



شکل ۱- نیروها و سرعت‌های پایه‌ای روی یک چرخ منفرد با منتجه نیروی عکس‌العمل خاک<sup>۱</sup>

نیروی عکس‌العمل خاک  $R$ ، منتجه همه نیروهای عمل‌کننده بر چرخ است که این نیرو غالباً به دو مولفه  $R_v$  و  $M_R$  تجزیه می‌شود که این دو مولفه در (شکل ۲) نشان داده شده است. مقاومت غلتشی  $M_R$ ، برابر است با نیروی مخالف حرکت چرخ به هنگام غلتیدن روی سطح زمین که تابعی از خواص استحکامی و تغییر شکل سطح زمین و ویژگی‌های اندازه و تغییر شکل چرخ می‌باشد (میلان، ۱۳۸۵). نسبت بین مقاومت غلتشی و بار دینامیکی را ضریب مقاومت غلتشی می‌نامند  $[\mu = M_R/W]$ .

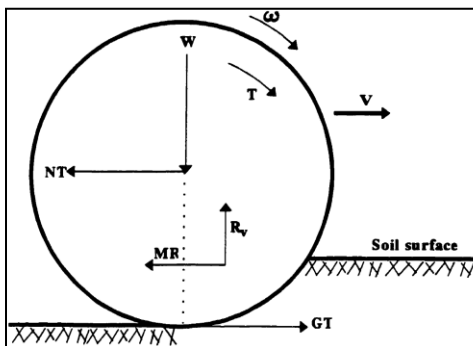
نیروی کششی مالبندها  $p$ ، نیروی کششی اعمال شده از طریق مالبندها یا نقاط اتصال تراکتور به وسایل دنباله‌بند می‌باشد.

مجموع نیروی مالبندها و مقاومت غلتشی تراکتور را کشش ناخالص می‌نامند  $(NT = M_R + p)$  که این نیرو در جهت حرکت تراکتور بوده و مماس بر چرخ در محل تماس با زمین می‌باشد به عبارت دیگر کشش ناخالص<sup>۳</sup> عبارت از نیروی حاصل از تقسیم گشتاور نهاده در چرخ محرک بر شعاع چرخ بوده و در امتداد جهت حرکت تراکتور می‌باشد (کماری‌زاده، ۱۳۸۴).

<sup>۱</sup> ASAE Standard: ASAE S296,3,1994

<sup>۲</sup> Drawbar pull

<sup>۳</sup> Gross Traction



شکل ۲- نیروهای محرک و عکس‌العملی چرخ محرک و خاک<sup>۴</sup>

## ۳-۲ روش حل مسائل

به طور کلی برای حل مسائل سه روش موجود است:

۱- روش تحلیلی دقیق<sup>۵</sup> - روش عددی<sup>۶</sup> - روش تجربی<sup>۷</sup>

در روش دقیق همان‌گونه که از نام آن مشخص است، به محاسبه‌ی دقیق پارامتری معادلات دیفرانسیل حاکم بر میدان‌های فیزیکی همچون میدان حرارتی، میدان تنش، میدان الکتریکی و مانند آن می‌پردازند. در حالی که در روش دوم به حل تقریبی و عددی این مسائل پرداخته می‌شود. در این میان روش حل عددی که اجزاء محدود زیر مجموعه‌ی آن می‌باشد، جزء یکی از پرکاربردترین روش‌های مورد استفاده در حل مسائل مهندسی است. ضعف عمده‌ی روش آزمایشگاهی، پرهزینه و زمان‌گیر بودن آن می‌باشد و روش حل دقیق نیز قادر به تحلیل مدل‌های هندسه‌ی پیچیده و حل مسائل با شرایط مرزی پیچیده نمی‌باشد ولی روش عددی قادر به رفع محدودیت‌های دو روش فوق است. با این وجود، روش تجربی یا آزمایشگاهی با توجه به اینکه مبتنی و برگرفته از خود واقعیت می‌باشد، روشی مناسب محسوب می‌گردد.

## ۴-۲ شاخص مخروطی

شاخص مخروطی معیاری برای بیان مقاومت خاک در برابر نفوذ می‌باشد. این شاخص متوسط نیروی وارد بر سطح مخروط است که در آن فروسنج مخروطی با سرعت ثابتی به درون خاک فرو برده می‌شود. مقدار شاخص مخروطی را می‌توان به دو صورت

<sup>۴</sup>  $M_R$  and  $R_v$  act at soil-tire interface, ASAE Standard: ASAE S296.3, 1994

<sup>۵</sup> Exact Solution

<sup>۶</sup> Numerical Solution

<sup>۷</sup> Experimental Solution

$CI_y$  و یا  $CI_{y-u}$  بیان نمود که  $CI_y$  بیان کننده میزان شاخص مخروطی در عمق  $y$  بوده و  $CI_{y-u}$  بیانگر میزان متوسط شاخص مخروطی از عمق  $y$  تا  $u$  می باشد.

مهمترین دلیل استفاده از شاخص مخروطی (CI) و بیان خصوصیات مکانیکی خاک و بیان آن در مکانیک تاپر و معادلات مربوط به آن، سادگی تعیین این شاخص و اجتناب از تعیین پارامترهای خاک ( $C$  و  $\phi$ ) می باشد.



شکل ۳-۰- نفوذ سنج دستی مورد استفاده در آزمایشات مدل Rimik PC200

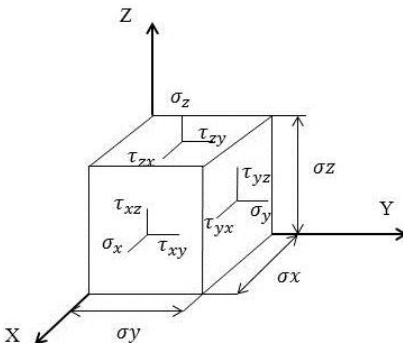
## ۲-۵ تنش و کرنش در خاک

برای درک مفهوم تنش و کرنش در خاک یک المان مکعبی بسیار کوچک (شکل ۴) با مساحت یکپارچه  $\partial A$  تحت یک سیستم نیرویی  $\partial F_{ij}$  در نظر گرفته می شود. تنش  $P_{ij}$ ، که کمیت نشان دهنده شدت نیرو می باشد را می توان با استفاده از رابطه زیر تعیین نمود:

$$P_{ij} = \lim_{\partial A \rightarrow 0} \frac{\partial F_{ij}}{\partial A} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن نیروهای  $F_{ij}$  وارد بر جرم خاک می تواند به دو صورت عمود و مماس بر سطح و یا ترکیبی از این دو باشد. اگر نیروی وارد بر صفحه به صورت عمودی و یا مماس بر سطح باشد اثر آن به ترتیب تنش عمودی و تنش برشی می باشد. در واکنش به نیروی اعمال شده المان خاک دچار تغییر شکل می شود. مشابه با حالت تنش، کرنش نیز می تواند به صورت عمودی  $\epsilon$  (رابطه ۲)

و برش  $\gamma$  بیان شود. لازم به یادآوری است که کرنش برشی  $\gamma$ ، تغییر شکل زاویه‌ای است که برای تغییر شکل المان خاک به کار می‌رود.



شکل ۴- تنش‌های نرمال و برشی وارد بر یک المان مکعبی خاک تحت بارگذاری

کرنش مهندسی کمیتی است که تغییر شکل خاک را بر مبنای ابعاد اولیه المان توصیف می‌نماید. کرنش عمودی مهندسی طبق رابطه زیر تعریف می‌شود:

رابطه ۲

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$

که  $\varepsilon$  کرنش مهندسی،  $l_0$  طول اولیه المان،  $l$  طول المان بعد از اعمال بار می‌باشد. کرنش‌های بزرگ عمدتاً در خاک‌های کشاورزی که تحت عملیات کشاورزی شدید قرار می‌گیرند، به وجود می‌آید که در این حالت، کرنش‌های واقعی  $\varepsilon$  جایگزین کرنش‌های مهندسی  $\varepsilon$  می‌گردند. در کرنش واقعی به جای استفاده از کل افزایش طول  $\partial l = l - l_0$  و مقدار اولیه طول المان  $l_0$ ، از مقادیر لحظه‌ای متوالی  $l$  استفاده می‌شود. به عبارت دیگر کرنش واقعی از تقسیم تغییر شکل ایجاد شده بر ابعاد لحظه‌ای المان بدست می‌آید.

رابطه ۳

$$\varepsilon_l = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right) = \ln(l + \varepsilon)$$