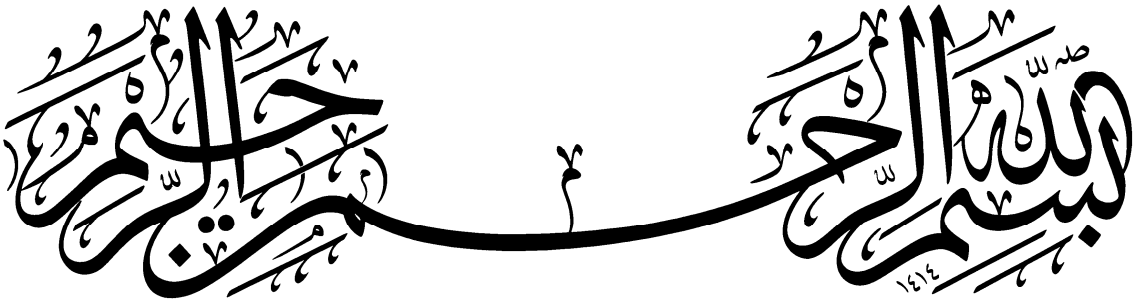
بسم الله الرحمن الرحيم
١٤٦٤

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکدهٔ کشاورزی

طراحی، ساخت و ارزیابی یک دستگاه خاک‌ورز عمق متغیر

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی

محمد گهری

استاد راهنما

دکتر عباس همت

۱۳۸٤

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکدهٔ کشاورزی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی

تحت عنوان

طراحی، ساخت و ارزیابی یک دستگاه خاک ورز عمق متغیر

در تاریخ ۱۳۸۴/۱۲/۲۰ توسط کمیتهٔ تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر عباس همت
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر جهانگرد محمدی
۳- استاد مشاور پایان‌نامه	مهندس محمدرضا اخوان صراف
٤- استاد داور	دکتر امین اله معصومی
٥- استاد داور	دکتر محمد علی حاج عباسی
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر بهرام شریف‌نبی

تشکر و قدردانی

پروردگار مهربان را سپاسگزارم که فرصت کسب علم را ارزانیم داشت. آفریدگار آب و خاک را برای بخشیدن فرصتی مناسب و توانی بسنده در انجام این تحقیق ستایش می کنم و از خداوند هستی بخش، توفیق روز افزون و سلامتی عزیزانی که در این راه یاریم دادند را خواهانم.

اگر پرندگان پرواز را فراموش کنند و ابرها کریستن را

اگر قلب ها عاطفه را فراموش کنند و گل ها عطر بهار را

ما هرگز تلاش های صادقانه شما را فراموش نخواهیم کرد.

بدین وسیله از راهنمایی ها، حمایت ها، تلاش های دلسوزانه استاد گرانقدر آقای دکتر عباس همت که نه تنها به عنوان استاد راهنما در طول مراحل تحقیق و تدوین این رساله مرا یاریم نموده اند بلکه در خلال دوران تحصیلی نکات مثبت اخلاقی زیادی را از ایشان آموخته ام، صمیمانه سپاسگزارم. از زحمات و ارشادات آقایان دکتر جهانگرد محمدی، مهندس محمدرضا اخوان صراف که به عنوان اساتید مشاور مرا راهنمایی نموده و همواره راه گشای مشکلات بوده اند، صمیمانه تشکر می نمایم.

از جناب آقای دکتر امین اله معصومی، دکتر محمد علی حاج عباسی به خاطر قبول داوری رساله این حقیر کمال تشکر را دارم.

از جناب آقای مهندس امین افضل،آقای مهندس حسن غفوری و سرکار خانم مهندس منا طهماسبی به خاطر کمک هایی که نمودند تشکر و قدردانی می نمایم. همچنین از پرسنل زحمت کش سوله ماشین های کشاورزی که در طول این مدت مرا یاری رساندند تشکر می نمایم.

از پدر ومادر گرامیم و برادران و خواهرم که در تمامی مراحل انجام این تحقیق با تحمل زحمات فراوان همواره مشفق اینجانب بوده اند صمیمانه تشکر و قدر دانی می نمایم.

محمد گهری

دانشگاه صنعتی اصفهان

اسفند ۱۳۸۴

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

بخشی از هزینه اجرای این تحقیق از سوی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی تأمین و پرداخت گردیده است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌گردد.

به پاس تعبیر عظیم و انسانیشان

از گستره محبت و عشق

به پاس عاطفه سرشارشان

که چون شب چراغی می درخشد و

زنگار تنهایی و نومیدی را از روح

می زداید

به پاس قلب های بزرگی که دریای بیکران معرفتند و آسمان منور فرزانگی

و به پاس اندیشه و درایتشان در رهنمون ساختن راهم به سرمنزل مقصود

تقدیم به پدر و مادرم و به همه آنهایی که قلبم به مهر آنها می تپد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت

فهرست اشکال ..... ده
فهرست جداول ..... چهارده
چکیده ۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱- خاک‌ورزی خاص مکانی 4

فصل دوم: بررسی منابع

۲-۱- تعیین مقاومت خاک 7
۲-۲- انواع فرو سنج‌ها **8**
۲-۲-۱- فروسنج عمودی 9
۲-۲-۲- فروسنج افقی 9
۲-۳- روش تهیه نقشه تغییرپذیری مکانی مقاومت خاک زمین مرجع **16**
۲-۴- میان یابی ۱۸
۲-۵- روشهای نمونه برداری 23
۲-۶- جمع بندی 26

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- طراحی فروسنج پشت تراکتوری 29
۳-۲- محاسبه مقاومت شاسی دستگاه فروسنج 34
۳-۳- تحلیل شاسی فروسنج با روش اجزاء محدود 36
۳-۴- طراحی و ساخت یک خاک ورز عمق متغیر 36
۳-۴-۱- طراحی مکانیکی 36
۳-۴-۲- تحلیل با استفاده از روش اجزا محدود 42
۳-۴-۳- روش بارگذاری و شرایط آزمایش 42
۳-۴-۴- مدار کنترل عمق زیر شکن 46
۳-۴-۵- برنامه کنترل عمق خاک ورز 49
۳-۵- واسنجی دستگاه خاک‌ورز عمق متغیر 51
۳-۶- تهیه نقشه تغییرپذیری مکانی مقاومت خاک در یک قطعه زمین یک هکتاری ۵۱

۳-۶-۱- تحلیل آماری ۵۴
۳-۶-۲- تحلیل مکانی ۵۴

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱- تحلیل تنش در شاسی فروسنج با روش اجزاء محدود ۵۵
۴-۲- تحلیل تنش ابزار خاک‌ورز عمق متغیر به‌روش اجزاء محدود ۵۶
۴-۳- نتایج واسنجی استاتیکی دستگاه خاک ورز عمق متغیر ۵۷
۴-۴- نتایج واسنجی مزرعه ای ابزار خاک ورز عمق متغیر ۶۱
۴-۵- نقشه تغییر پذیری مکانی مقاومت و رطوبت خاک ۶۳
۴-۶- نقشه تغییرات مکانی سخت‌لایه ۷۹

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱- نتیجه‌گیری ۸۱
۵-۲- پیشنهادها ۸۲
منابع ۸۵

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱- تصویر شماتیکی فروسنج افقی توسط علی حمزه و همکاران **10**
شکل ۲-۲- اجزای فروسنج مخروطی افقی **11**
شکل ۲-۳- فروسنج مخروطی در حالت سوار بر تراکتور **11**
شکل ۲-۴- فروسنج افقی با چند مخروط 12
شکل ۲-۵- فروسنج افقی شامل سه حسگر مخروطی با زاویه راس ۳۰ درجه 12
شکل ۲-۶- تیغه اندازه‌گیری مقاومت خاک ساخته شده توسط آدامچوک و همکاران 14
شکل ۲-۷- تیغه مجهز به آرایه لودسل 15
شکل ۲-۸- کاوشگر افقی با حرکت نوسانی عمودی 15
شکل ۲-۹- زیرشکن تیغه عمودی با سیستم اندازه‌گیر مقاومت کششی 16
شکل ۲-۱۰- الف - سه تیغه مجزا در سه عمق متفاوت ب) نقشه تهیه شده توسط ابزار خاک‌ورز مجهز به کرنش‌سنج 17
شکل ۲-۱۱- میان‌یابی نقاط شبکه با استفاده از نزدیکترین همجوار 19
شکل ۲-۱۲- میان‌یابی نقاط شبکه با استفاده از روش میانگین محلی 19
شکل ۲-۱۳- میان‌یابی با روش ارزش گذاری معکوس 20
شکل ۲-۱۴- نمونه‌ای از یک نقشه توپوگرافی که تغییرات ارتفاع را بصورت خطوط تراز نشان می‌دهد 20
شکل ۲-۱۵- نتایج مختلف از میان‌یابی‌های مختلف ۲۱
شکل ۲-۱۶- ترسیمی از نیم واریانس های محاسبه‌شده‌در مقابل فاصله تاخیر ۲۲
شکل ۲-۱۷- ترسیم نیم تغییرنگار زمانی که داده‌ها کامل نیستند ۲۴
شکل ۲-۱۸- تقسیم‌بندی کشتزار به سلول‌های کوچک در نمونه‌برداری شبکه‌ای ۲۴
شکل ۲-۱۹- مته دستی مخصوص نمونه‌برداری از خاک ۲۵
شکل ۲-۲۰- دستگاه نمونه‌برداری خاک که بر روی وسیله نقلیه نصب شده‌است ۲۵
شکل ۲-۲۱- مکان نمونه برداری در روش نمونه برداری نقطه شبکه ۲۵
شکل ۲-۲۲- مکان‌های نمونه خاک در نمونه برداری به روش سلول شبکه ۲۶
شکل ۳-۱- اجزای فروسج مخروطی ۳۱
شکل ۳-۲- بارسنج s شکل ۳۱
شکل ۳-۳- کولیس دیجیتال ۳۱
شکل ۳-۴- ماژول‌های دستگاه فروسنج ۳۲
شکل ۳-۵- شکل شماتیک واحدهای اندازه گیر فروسنج مخروطی همراه با سامانه جمع آوری اطلاعات ۳۳
شکل ۳-۶- نمای واقعی از فروسنج مخروطی ساخته شده ۳۴
شکل ۳-۷- GPS بکار رفته در سیستم فروسنج مخروطی ۳۴

شکل ۳-۸- مجموعه کامپیوتر و GPS ۳۵
شکل ۳-۹- تحلیل کمانش و خیز در سیلندر هیدرولیک ۳۶
شکل ۳-۱۰- اجزای مکانیکی سیستم خاک‌ورز عمق متغیر ۳۷
شکل ۳-۱۱- نحوه اتصال سیستم خاک‌ورز عمق متغیر و به تراکتور ۳۷
شکل ۳-۱۲- نیروهای وارده بر تیغه و چرخ ۳۸
شکل ۳-۱۳- تحلیل نیروها جهت بدست آوردن نیروی وارد بر سیلندر ۳۹
شکل ۳-۱۴- انتقال نیرو از تیغه به مرکز هندسی ساقه ۳۹
شکل ۳-۱۵- گشتاور حاصل از انتقال نیروی ۳کیلو نیوتنی ۴۰
شکل ۳-۱۶- انتقال نیروی ۱۲ کیلو نیوتنی به مرکز شاسی ۴۱
شکل ۳-۱۷- گشتاورهای ایجاد شده پس از انتقال نیرو ۴۱
شکل ۳-۱۸- نمای کلی دستگاه ۴۳
شکل ۳-۱۹- نمای جانبی دستگاه ۴۳
شکل ۳-۲۰- نمای بالایی دستگاه ۴۴
شکل ۳-۲۱- نیروی وارده بر تیغه ۴۴
شکل ۳-۲۲- ایجاد قید صلب در مدلسازی اتصال به تراکتور ۴۵
شکل ۳-۲۳- مدلسازی سیلندر بوسیله عملگر خطی ۴۵
شکل ۳-۲۴- مش بندی تیغه ،ساقه و شاسی ۴۶
شکل ۳-۲۵- دیاگرام بلوکی سیستم کنترل ۴۷
شکل ۳-۲۶- دیاگرام مدار هیدرولیک و سامانه کنترل الکترونیکی چرخ تثبیت عمق دستگاه خاک‌ورز عمق متغیر ۴۷
شکل ۳-۲۷- شفت انکودر ۴۸
شکل ۳-۲۸- نمای واقعی دستگاه پس از ساخت ۴۸
شکل ۳-۲۹- جعبه محاوره‌ای برنامه کنترل عمق کار ابزار خاک‌ورز ۴۹
شکل ۳-۳۰- جعبه محاوره‌ای برنامه کنترل عمق کار خاک‌ورز عمق متغیر و محل فایل های ورودی و خروجی ۵۰
شکل ۳-۳۱- فایل متنی نقشه مکانی عمق کار ابزار خاک‌ورز ۵۰
شکل ۳-۳۲- نقشه واسنجی دستگاه خاک‌ورز عمق متغیر در مزرعه ۵۱
شکل ۳-۳۳- نقشه نقاط نمونه‌برداری شده ۵۳
شکل ۳-۳۴- فروسنج مخروطی ریمیک سی پی ۲۰۰۰ ..... ۵۳
شکل ۴-۱- خطوط هم تراز تنش در محور فروسنج ۵۵
شکل ۴-۲- بار بحرانی کمانش در دسته پیستون سیلندر هیدرولیک ۵۶
شکل ۴-۳- منحنی‌های هم تراز تنش حاصل از بارگذاری ۵۶
شکل ۴-۴- توزیع تنش ایجاد شده در تیغه و ساقه ابزار خاک‌ورز در اثر اعمال بار متمرکز به تیغه ۵۷
شکل ۴-۵- نمودار پاسخ هیدرولیک به سیگنال باز-بسته اعمال شده به سلنوئید شیر کنترل جهت (شفت انکودر

۱۰۰ پالسی) ۵۸
شکل ۴-۶- منحنی پاسخ سیستم هیدرولیک با شفت انکودر ۱۰۰پالسی ۵۹
شکل ۴-۷- نمودار پاسخ مدار هیدرولیک به سیگنال باز-بسته شدن به سلنوئید شیر کنترل جهت (شفت انکودر ۱۰۰۰ پالسی) ۶۰
شکل ۴-۸- منحنی تغییرات وضعیت چرخ تثبیت عمق با زمان اندازه گیری شده ۶۱
شکل ۴-۹ -مسافت در نظر گرفته شده برای تحریک سیستم هیدرولیک ۶۲
شکل ۴-۱۰- رابطه بین مسافت طی شده و عمق کار ابزار خاک‌ورز در سرعت پیش روی ۲/۶ کیلومتر بر ساعت ۶۲
شکل ۴-۱۱- نمودار تغییرات میانگین شاخص مخروطی با عمق برای قطعه یک هکتاری (هر نقطه میانگین ۱۰۰ مشاهده است). ۶۳
شکل ۴-۱۲- میانگین رطوبت در عمق چهار لایه (میانگین رطوبت هر لایه در وسط هر لایه نشان داده شده است) ۶۴
شکل ۴-۱۳- مدل نیم تغییرنمای کروی برای شاخص مخروطی در لایه ۰ تا ۱۰ سانتی‌متری ۶۴
شکل ۴-۱۴- مدل نیم تغییرنمای کروی برای شاخص مخروطی در لایه ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متری ۶۵
شکل ۴-۱۵- مدل نیم تغییرنمای کروی برای شاخص مخروطی در لایه ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری ۶۵
شکل ۴-۱۶- مدل نیم تغییرنمای کروی برای شاخص مخروطی در لایه ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متری ۶۵
شکل ۴-۱۷- مدل نیم تغییرنمای کروی برای شاخص مخروطی در لایه ۴۰ تا ۵۰ سانتی‌متری ۶۶
شکل ۴-۱۸- نقشه تغییرات مکانی شاخص مخروطی(MPa) درشبکه‌های ۱۰ در ۱۰متری در عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متر در سطح کشتزار یک هکتاری ۶۷
شکل ۴-۱۹- نقشه تغییرات مکانی رطوبت خاک (بر پایه وزن خشک) در شبکه ۲۰ در ۲۰ متری در لایه ۰ تا ۱۰ سانتی‌متری در سطح کشتزار یک هکتاری ۶۷
شکل ۴-۲۰- رابطه بین شاخص مخروطی با محتوی رطوبتی خاک در لایه صفر تا ده سانتی‌متر ۶۸
شکل ۴-۲۱- نقشه تغییرات مکانی شاخص مخروطی(MPa) درشبکه‌های ۱۰ در ۱۰متری در عمق ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر در سطح کشتزار ۶۹
شکل ۴-۲۲- نقشه تغییرات مکانی رطوبت خاک (بر پایه وزن خشک) در شبکه ۲۰ در ۲۰ متری در لایه ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری در سطح مزرعه یک هکتاری ۶۹
شکل ۴-۲۳- رابطه بین شاخص مخروطی با محتوی رطوبتی خاک در لایه ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر ۷۰
شکل ۴-۲۴- نقشه تغییرات مکانی شاخص مخروطی(MPa) درشبکه‌های ۱۰ در ۱۰متری در عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر در سطح مزرعه ۷۰
شکل ۴-۲۵- نقشه تغییرات مکانی رطوبت خاک(بر پایه وزن خشک) در شبکه ۲۰ در ۲۰ متری در لایه ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری در سطح کشتزار یک هکتاری ۷۱
شکل ۴-۲۶- رابطه بین شاخص مخروطی با محتوی رطوبتی خاک در لایه ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر ۷۱
شکل ۴-۲۷- نقشه تغییرات مکانی شاخص مخروطی(MPa) درشبکه‌های ۱۰ در ۱۰متری در عمق ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر در سطح کشتزار ۷۲

شکل ۴-۲۸- نقشه تغییرات مکانی شاخص مخروطی(MPa) درشبکه‌های ۱۰ در ۱۰متری در عمق ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر در سطح کشتزار ۷۲
شکل ۴-۲۹- نقشه تغییرات مکانی شاخص مخروطی(MPa) درشبکه‌های ۱۰ در ۱۰متری در عمق ۳۰ تا ٤۰ سانتی‌متر در سطح کشتزار ۷۳
شکل ۴-۳۰- نقشه تغییرات مکانی رطوبت خاک (بر پایه وزن خشک) در شبکه ۲۰ در ۲۰ متری در لایه ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متری در سطح کشتزار یک هکتاری ۷۳
شکل ۴-۳۱- نقشه تغییرات مکانی شاخص مخروطی(MPa) درشبکه‌های ۱۰ در ۱۰متری در عمق ٤۰ تا ۵۰ سانتی‌متر در سطح کشتزار ۷۴
شکل ۴-۳۲- نمای سه بعدی تغییرات مکانی شاخص مخروطی درپنج لایه ۷۵
شکل ۴-۳۳- تغییرات مکانی عمق سخت لایه در قطعه زمین ۱ هکتاری ۷۹
شکل ۴-۳۴- پهنه بندی قطعه زمین یک هکتاری جهت خاک‌ورزی خاص مکانی با استفاده از عمق سخت لایه ۸۰

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱- نتایج واسنجی دستگاه خاک‌ورز عمق متغیر با شفت انکودر ۱۰۰۰ پالسی ۶۰
جدول ۴-۲- نتایج واسنجی خاک ورز عمق متغیر در مزرعه با سرعت پیش روی ۲/٦ کیلومتر در ساعت..... ۷۶
جدول ۴-۳- نتایج واسنجی خاک ورز عمق متغیر در مزرعه با سرعت پیش روی ۳/۸ کیلومتر در ساعت..... ۷۶
جدول ۴-۴- آماره‌های توصیفی شاخص فروسنجی(Mpa) و رطوبت خاک (بر پایه خشک) برای لایه مختلف..... ۷۷
جدول ۴-۵- ضرایب همبستگی بین شاخص مخروطی و رطوبت خاک در لایه‌های مختلف..... ۷۸

چکیده

در روش خاک‌ورزی مرسوم عمق شخم در طول و عرض مزرعه یکسان بوده، اما عمق لایه سخت و فشرده خاک از یک ناحیه به ناحیه در مزرعه معمولاً تغییر می‌کند. در روش خاک‌ورزی دقیق (Precesion tillage) عمق شخم در هر ناحیه از مزرعه بر اساس عمق سخت لایه خود شخم زده می‌شود که این امر موجب کاهش مصرف سوخت و توان مصرفی می‌گردد. در خاک‌ورزی دقیق، خاک‌ورز عمق متغیر یا با استفاده از حسگرهای در حال حرکت عمق سخت لایه را بلادرنگ تشخیص می‌دهد یا از سیستم نقشه مبنا استفاده می‌کند. در سیستم نقشه‌مبنا، اول با استفاده از فروسنج مخروطی نقشه مقاومت خاک زمین–مرجع تهیه و عمق کار خاک‌ورز بر اساس آن تغییر داده می‌شود. در این تحقیق یک دستگاه فروسنج مخروطی پشت تراکتوری مجهز به سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) به منظور تهیه نقشه تغییرپذیری مکانی مقاومت خاک و یک دستگاه خاک‌ورز عمق متغیر مجهز به سیستم مکان‌یاب جهانی نیز ساخته و ارزیابی شد. در حین حرکت تراکتور، رایانه محل دستگاه را از GPS دریافت کرده و از طریق نقشه مقاومت خاک موجود در رایانه عمق خاک‌ورز را از طریق سیستم کنترل آن به مقدار مورد نظر می‌رساند. واسنجی سیستم خاک‌ورز عمق متغیر به دوروش کارگاهی و مزرعه‌ای انجام شد. در واسنجی کارگاهی زمان پاسخ سیستم برای رسیدن به ۹۵ درصد اعماق مورد نظر اندازه گرفته شد. دقت و تنظیم دستگاه به ترتیب ۱/۲ و ۰/۸۳ درصد بدست آمد. همچنین در واسنجی مزرعه‌ای مسافت لازم برای رسیدن ابزار به عمق مورد نظر در دو سرعت ۲/۶ و ۳/۸ کیلومتر در ساعت بدست آمد. در قسمت سوم این تحقیق، نقشه تغییرات مکانی مقاومت و رطوبت یک خاک لوم رسی سیلتی به ترتیب تا عمق ۵۰ و ۴۰ سانتی‌متری در یک مزرعه یک هکتاری و در یک شبکه به ترتیب ۱۰ در ۱۰ و ۴۰ در ۴۰ متری اندازه‌گیری شد. نقشه‌های دوبعدی و سه‌بعدی و مدل‌های نیم تغییرنما مقاومت و رطوبت خاک در لایه‌های ۱۰ سانتی‌متری تهیه شد. مقاومت خاک از مدل نیم تغیرنمای کروی پیروی نمود. بررسی تغییرات مقاومت خاک با عمق نشانگر وجود یک سخت‌لایه در عمق ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک بود. رابطه بین مقاومت خاک و رطوبت فقط در لایه ۰–۱۰ سانتی متری معنی‌دار بود. بر اساس نقشه تغییرپذیری مزرعه یک هکتاری به چهار ناحیه برای عملیات خاک‌ورزی عمق- متغیر تقسیم شد.

فصل اول
مقدمه

اعمال مدیریت تخصیص نهاده‌ها به روش مرسوم بر اساس توزیع یکنواخت آنها (عمق شخم، بذر، کود، سم وغیره) و با چشم‌پوشی از تغییرات ذاتی خواص و پتانسیل خاک در نقاط مختلف مزرعه استوار است. ابداع و توسعه تکنولوژی جدید جمع‌آوری و انتقال داده‌های مربوط به تغییرات مکانی خصوصیات خاک و گیاه و متعاقب آن تخصیص بهینه نهاده‌ها بر اساس نیاز و ظرفیت مکانی نقاط مختلف مزرعه، مدیریت جدیدی را به نام کشاورزی دقیق[۱] بنا نهاده است [۳].

امروزه، فن‌آوری به سطحی رسیده است که به کشاورز اجازه می‌دهد تا تغییرات درون کشتزار که وجود آن از قبل شناخته شده ولی قابل اداره نبود را سنجش، تحلیل و مدیریت نماید. توانایی در اداره تغییرات حاصلخیزی درون کشتزار و بیشینه نمودن محصول همواره مدنظر و مطلوب کشاورز، به ویژه کشاورزی با منابع ارضی محدود بوده‌است. ابداع و توسعه ریزپردازنده‌ها و دیگر فن‌آوری‌های الکترونیک در سال‌های اخیر، ابزاری جدید را فراهم ساخته‌است تا کشاورزان را در نیل به این هدف یاری نماید [۳].

شرط پذیرش کشاورزی دقیق و به ویژه فن‌آوری اعمال نهاده‌ها به میزان متغیر[۲]، قابلیت اندازه گیری و ثبت تغییرپذیری مکانی[۳] خواص و ویژگی‌های خاک و گیاه می‌باشد. اندازه‌گیری تغییرپذیری مکانی عبارت از اندازه‌گیری تغییر در ویژگی‌های محصول و خاک در سطح و عمق می‌باشد. تغییرپذیری را

۱- Precision agriculture
۲- Variable-rate application
۳- Spatial variability

می‌توان بطور مثال در حاصلخیزی خاک، محتوای رطوبت، بافت خاک، مکان نگاری[۱]، قدرت رشد گیاهی[۲] و جمعیت آفات مشاهده نمود[۳].

۱-۱- خاک‌ورزی خاص مکانی[۳]:

خاک به عنوان بستر رشد گیاه نقش مهمی در کشاورزی دارد. از این‌رو عملیات خاک‌ورزی معمولاً هرساله انجام می‌گیرد و اغلب هزینه‌بر و دشوار است. خاک ویژگی‌های غیر همگنی در خواص فیزیکی خود دارد که بصورت مکانی در سطح زمین گسترده است. یکی از مهمترین خواص فیزیکی خاک جرم مخصوص ظاهری[٤] است که در اثر فشردگی افزایش پیدا می‌کند. این مسئله باعث کاهش عملکرد، محدودیت تولید و ریشه‌دوانی در زیر عمق شخم می‌شود که این امر می‌تواند موجب تنش رطوبتی در گیاه گردد.

مطالعات ریپر[٥] و همکاران [۲۷] و کلارک[٦] [۱۷] نشان داد که عمق لایه‌های محدودکننده ریشه‌دوانی گیاه از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر در مزرعه بسیار متغیر است. آنها نشان دادند که عمق و مقاومت سخت لایه[۷] خاک می‌تواند در دو بعد عمودی و افقی در یک فاصله کوتاه تغییرکند. این فاصله کوتاه می‌تواند بین ردیف‌های کشت و فاصله بین ردیفی که محل عبور چرخ‌ها است، باشد.

خاک‌ورزی با عمق یکسان ممکن است بسیار سطحی و یا بسیار عمیق باشد. از این رو خاک‌ورزی عمق متغیر[۸] می‌تواند سودمند وکم‌هزینه باشد. در خاک‌ورزی دقیق[۹]، عمق کار ابزار متناسب با عمق سخت لایه تغییر می‌کند.عمق سخت لایه یا بصورت نقشه از پیش تعیین‌شده مشخص گردیده یا با استفاده از حسگرهای تعیین عمق سخت لایه بصورت بلادرنگ[۱۰] آشکار می‌گردد.

فروسنج[۱۱] مخروطی به وسیله چندین محقق برای مشخص کردن تغییرات مقاومت خاک با عمق به کار رفته است. مطالعات نشان می‌دهد، مقادیر مقاومت خاک که بیشتر از ۲ تا۳ مگاپاسکال باشد، رشد گیاه را محدود می‌کنند. تیلور[۱۲] و گاردنر [۳۴] مقادیر شاخص‌مخروطی را که در آن رشد ریشه محدود

۱- Topography
۲- Plant product ability
۳- Site specific tillage
۴- Bulk density
۵- Raper
۶- Clark
۷- Hard pan
۸- Variable depth tillage
۹- Precision tillage
۱۰- On-the-go
۱۱- Cone penetrometer
۱۲- Taylor and Gardner

می‌شود را نزدیک ۲/۰۷ مگاپاسکال تعیین کردند. کلارک و همکاران [۱۸] بر روی روش تهیه نقشه مقاومت خاک به کمک فروسنج مخروطی تحقیق کردند. آنها نشان دادند که نقشه های دقیق نیازمند به اطلاعات فروسنجی زیادی دارد. همچنین آنها بیان نمودند که عمق سخت لایه تغییراتی بین ۱۵ تا ۳۵ سانتی متر دارد. انرژی مورد نیاز برای تخریب سخت لایه خاک در ناحیه رشد ریشه بسیار زیاد است و دامنه تغییرات توان کششی مورد نیاز را افزایش می‌دهد.

مدیریت خاص‌مکانی[۱] فشردگی خاک می‌تواند موجب صرفه‌جویی انرژی مصرفی در عملیات خاک‌ورزی شود. ریپر و همکاران [۲۷] تخمین زدند که هزینه انرژی در عملیات زیرشکنی به روش خاک‌ورزی خاص‌مکانی در مقایسه با خاک‌ورزی عمق یکنواخت، در حدود ۳۴ درصد کاهش دارد. ضمناً با این روش، عملکرد پنبه ۱۰ درصد افزایش یافت و انرژی و سوخت مصرفی به ترتیب ۵۷ و ۶۰ درصد کاهش یافت.

فالتون و همکاران [۱۹] جرم مخصوص ظاهری و شاخص مخروطی را در نقاط شبکه بندی‌شده یک مزرعه اندازه‌گیری کرد و نتیجه گرفتند که خاک‌ورزی عمق متغیر در مقایسه با زیرشکنی عمق یکنواخت، سوخت مصرفی را در حدود ۵۰ درصد کاهش داد.

برای تهیه نقشه تغییرپذیری مکانی مقاومت خاک نیاز به فروسنج مخروطی، سامانه مکان‌یاب جهانی[۲] (GPS) و سامانه اطلاعات جغرافیایی[۳](GIS)، می‌باشد. برای انجام خاک‌ورزی عمق متغیر بر اساس نقشه تغییرپذیری مکانی مقاومت خاک، نیاز به یک دستگاه خاک‌ورز عمق متغیر و یک مدار الکترونیکی واسط می‌باشد، تا با توجه به فرمان صادرشده از طرف رایانه دستگاه، عمق ابزار خاک‌ورز را تغییر دهد. بنابراین اهداف این تحقیق عبارت بودند از: ۱) طراحی و ساخت یک دستگاه فروسنج پشت تراکتوری مجهز به دریافت‌کننده مکان‌یابی جهانی، ۲) طراحی، ساخت و ارزیابی یک دستگاه خاک‌ورز عمق متغیر و ۳) تهیه نقشه تغییرپذیری مکانی مقاومت خاک یک مزرعه و ناحیه‌بندی مزرعه برای عملیات خاک‌ورزی براساس تغییر عمق سخت‌لایه در طول و عرض زمین.

۱- Site-specific management
۲- Global positioning system
۳- Geographical information system

فصل دوم
مروری بر منابع

۲-۱-تعیین مقاومت خاک

فشردگی خاک می‌تواند در اثر:۱) خصوصیات ذاتی مربوط به تشکیل ژنز خاک، ۲) انقباض طبیعی در اثر خشک‌شدن، ۳)آبیاری سطحی که موجب بازشدن کلوخه‌ها و خاکدانه‌های ناپایدار خاک شده و موقعیت ذرات را نسبت به یکدیگر تغییر می‌دهد، ۴) تحکیم بخشی و فشردگی طبیعی و مجدد خاک در طول فصل زراعی و احتمالاً ۵) عبور تراکتور و سایر ماشین‌های کشاورزی روی سطح و یا در خاک به ویژه در حالتی که مقاومت خاک به علت زیادبودن رطوبت خاک کم بوده وامکان صدمه به ساختمان خاک وجود دارد، ایجاد می‌شود [۱۳].

شدت و عمق تراکم در خاک با فشار در سطح تماس وسیله زمین‌گیرایی (چرخ‌لاستیکی یا چرخ زنجیری) با خاک، مقدار وزن بر هر اکسل تراکتور، فشار باد لاستیک، نوع ادوات، بافت و رطوبت خاک بستگی دارد [۳۲]. بنابراین، فشردگی ایجادشده در خاک بسته به شرایط مختلف می‌تواند محدود به لایه خاک سطحی بوده و یا به لایه عمقی‌تر(خاک تحت الارض) نیز گسترش یابد [۲۲]. در بعضی مواقع لایه‌های سخت شده موضعی بنام‌های کفه شخم[۱] یا سخت لایه[۲] دیده می‌شوند. لایه نوع اول ممکن است در اثر حرکت ادوات خاک‌ورزی، به ویژه گاوآهن برگرداندار در خاک‌های سنگین بافت (رسی) و با وجود رطوبت زیاد در عمق کار ایجاد شود. در حالی‌که لایه نوع دوم در اثر مراحل خاک‌سازی وتشکیل خاک ایجاد می‌شود(مانند افق آرجلیلیک) [۴].

۱- Plow pan
۲- Hard pan

تعیین لایه‌های متراکم در خاک و یا به عبارت دیگر عمقی از خاک که فشردگی و یا به عبارت بهتر فشردگی بیش‌از حد مجاز در آنجا ایجاد شده، یکی از دغدغه‌های محققین و از اهداف نقشه‌یابی مقاومت مکانیکی خاک در مزرعه بوده است.

جرم مخصوص ظاهری[۱] خاک دراثر تراکم افزایش می‌یابد و از آن برای تعیین درجه فشردگی خاک می‌توان استفاده نمود. ولی، اندازه‌گیری آن در سطح وسیع زمان‌بر و مسلتزم هزینه بالای کارگر می‌باشد، لذا، امروزه از نیروی لازم برای فروکردن یک مخروط به داخل خاک بصورت ایستگاهی و یا در حین حرکت، جهت ارزیابی تراکم خاک استفاده می‌شود. خاصه واقعی خاک که با استفاده از فروسنج مخروطی تعیین می‌شود عبارتند از مقاومت به نفوذ[۲]، که علاوه بر شرایط خاک بستگی به مشخصه‌های چندی از دستگاه فروسنج شامل زاویه نوک و قطر قاعده مخروط آن و آهنگ فروکردن دستگاه در خاک دارد. مقاومت به فرورفتن معمولاً با شاخص مخروطی(CI) نشان داده می‌شود که مقدار آن تحت تأثیر چندین خصوصیت خاک شامل رطوبت، جرم مخصوص ظاهری و بافت خاک، قرار می‌گیرد [۱۲و۲۰].

۲-۲- انواع فرو سنج ها

فروسنج‌ها انواع مختلفی دارند که بطور وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرند. بطور مثال، در بعضی از انواع دارای قابلیت ثبت پیوسته نتایج و رسم نمودار هستند و در بعضی دیگر فاقد ثَبات می‌باشند [۹]. انواع فروسنج‌های دستی دارای ثَبات از دهه ۱۹۵۰ به بازار ارائه شده‌اند. حفظ سرعت ثابت نفوذ در انواع دستی بسختی بدست می‌آید و به همین دلیل محققان بسیاری بر روی انواع فروسنج‌های پشت تراکتوری تحقیق کرده‌اند. انواع پشت تراکتوری هزینه کارگر کمتر و قدرت نفوذ بالاتری در زمین‌های سخت دارند [۳۶]. در یک دهه گذشته، علاوه بر فروسنج‌های عمودی که بصورت ایستگاهی جهت تعیین تغییرات مقاومت خاک با عمق استفاده می‌شود، فروسنج‌های افقی نیز برای تعیین مقاومت لایه های مختلف خاک به منظور مشخص نمودن عمق سخت لایه طراحی و استفاده شده‌اند.

۱- Bulk density
۲- Resistance to penetration