بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده کشاورزی

طراحی، ساخت و ارزیابی یک حسگر ترکیبی صوتی- نیرویی به منظور اندازه‌گیری بلادرنگ مقاومت مکانیکی خاک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی

طیبه رهنما

استاد راهنما
دکتر عباس همت

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی خانم طیبه رهنما

تحت عنوان

طراحی، ساخت و ارزیابی یک حسگر ترکیبی صوتی- نیرویی به منظور اندازه‌گیری بلادرنگ مقاومت مکانیکی خاک

در تاریخ۱۳۹۰/۱۱/۱۲ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه	دکتر عباس همت
۲- استاد مشاور پایان نامه	دکتر جعفر قیصری
۳- استاد مشاور پایان نامه	دکتر رسول امیر فتاحی
۴- استاد داور	دکتر مرتضی صادقی
۵- استاد داور	دکتر شمس الله ایوبی
سرپرست تحصیلات تکمیلی	دکتر احمد ریاسی

سپاس بیکران پروردگار یکتا را که هستی ام بخشید و مرا به طریق علم و دانش رهنمون کرد، به همنشینی رهروان دانش مفتخرم نمود و خوشه چینی از خرمن دانش را روزیم ساخت. گذر از این راه و فائق آمدن بر مشکلات و دشواری ها ممکن نبود، مگر به لطف و یاری آنها که از عطای وجودشان بهره مند بودم.

از پدر و مادر عزیز و مهربانم که همواره پشتیبان و یاری گر من در تمام لحظات زندگی بودند تشکر و قدردانی می کنم و دست مهربان آنها را می بوسم و قدردان زحمات بی دریغ ایشان هستم. از برادران عزیزتر از جانم که همیشه مشوق من بودند و مرا خالصانه همفکری و مساعدت نمودند تشکر می کنم.

از استاد راهنمای ارجمندم جناب آقای دکتر همت تشکر می کنم، البته تشکر واژه کوچکی است در قدردانی از مقام استاد عزیزم که علاوه بر راهنمایی علمی، درس زندگی، صبر و اخلاق را از ایشان آموختم. از اساتید مشاور محترم، جناب آقایان دکتر قیصری و دکتر امیرفتاحی که از هیچگونه کمکی به ایجانب دریغ ننمودند، تشکر و قدردانی می کنم. از آقایان دکتر صادقی و دکتر ایوبی، که زحمت داوری این پایان نامه را عهده دار بودند، تشکر می کنم. از جناب آقای دکتر رضوی که در طول انجام این پژوهش از هیچ کمکی به ایجانب دریغ ننموده اند قدردانی می کنم. از کلیه اساتید محترم گروه ماشین های کشاورزی که در طول تحصیل از تجربیات گرانقدر ایشان بهره مند بودم تشکر می کنم.

از دوستان مهربان و عزیزم خانم ها عابدی، کارگر پور، قاسمی و آقایان سالار، حبیبی، بلال، شفاهی و موسوی فر که روزهای سخت ارزیابی، همواره یاری گر من بودند کمال تشکر و قدردانی را دارم. از کلیه دوستان و همکلاسی ها مهربان و عزیزم، خانم ها صادق زاده، روشن، و خاکسفیدی و شاه خواجه و آقایان کمالی ، یعقوبی، محمدی، عرار، طاهرآبادی و پیرنظری و . . . که خاطرات شیرینی را با آنها تجربه نمودم، قدردانی می کنم. از خانم ها وهابی، تقیان، شریفیان و آقای کریمی بخاطر کمک هایشان در انجام این پژوهش قدردانی میکنم.

از پرسنل محترم کارگاه آموزشی آقای شفیع زاده و سوله ماشین های کشاورزی آقای صنعتی پور به خاطر زحماتشان تشکر می کنم

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

تقدیم به

پدر، مادر عزیزم، که پیر شدند تا جوان شوم

و برادرانم، امیدهای سبز زندگیم

فهرست مطالب

عنوان.....**صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده: ۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- هدف ۴

فصل دوم: بررسی منابع

۲-۱- تراکم خاک ۶

۲-۲- مقاومت خاک ۸

۲-۲-۱- ابزار های اندازه گیری مقاومت خاک عمودی ۸

الف- فروسنج های مخروطی ۹

ب- فروسنج های مخروطی چند پرابی ۱۰

۲-۲-۲- ابزار های مقاومت خاک ا فقی ۱۲

الف- حسگرهای تک نوک افقی مقاومت مکانیکی خاک ۱۲

ب- حسگرهای افقی چند نوکی افقی مقاومت مکانیکی خاک ۱۴

۲-۳-گسیختگی ایحاد شده توسط ابزار خیلی باریک ۱۹

۲-۴- نوک منشوری ۲۰

۲-۵- تاثیر رطوبت بر مقاومت مکانیکی خاک ۲۰

۲-۶- صوت ۲۱

۲-۶-۱- حوزه فرکانسی مربوط به صوت تولید شده در اطراف نوک فروسنج ۲۵

۲-۶-۲- تخمین طیفی سیگنال ۲۶

۲-۷- رطوبت ۲۷

۲-۸- حسگر ترکیبی ۳۱

فصل سوم: مواد و روش ها

۳-۱- طراحی و ساخت حسگر صوتی- نیرویی ۳۶

۳-۱-۱- فرو سنج های افقی جهت اندازه گیری مقاومت مکانیکی خاک ۳۶

الف- مشخصات بارسنجهای مورد استفاده ۳۷

ب- طراحی مکانیزم انتقال نیرو از نوک فروسنج افقی به بارسنج ۳۸

۳-۱-۲- ساختار حسگر صوتی –نیرویی ۳۹
۳-۱-۳- حسگر صوت ۴۱
۳-۱-۴- جعبه محافظ ۴۲
۳-۱-۵- مکانیزم ایمنی ۴۴
۳-۱-۶- اتصال حسگر به قاب ۴۶
۳-۱- ۷-تحلیل نظری نیرو ۴۸
۳-۱-۸-تحلیل توزیع تنش در حسگر ۵۳
۳-۱-۹-طراحی شاسی حسگر ۵۵
۳-۱-۱۰-چرخ تثبیت عمق ۵۵
۳-۲- سامانه ی جمع آوری اطلاعات ۵۶
۳-۲-۱- سامانه ی جمع آوری اطلاعات فروسنج افقی ۵۶
۳-۲-۲- سامانه ثبت صدا حسگر صوت ۵۹
۳-۳-آزمایش های واسنجی ۵۹
۳-۳-۱- واسنجی بارسنج ها ۵۹
۳-۳-۲- واسنجی نوک های منشوری فروسنج افقی ۶۱
۳-۴- ارزیابی مزرعه ای ۶۲
۳-۴-۱-آماده سازی زمین ۶۲
۳-۴-۲-روش رساندن رطوبت خاک به حد مورد نظر ۶۵
۳-۴-۳- اندازه گیری پارامتر های زمین قبل از شروع آزمایش ۶۵
الف-رطوبت خاک و چگالی ظاهری خاک ۶۵
ب-اندازه گیری مقاومت مکانیکی خاک با استفاده از فروسنج دستی ۶۶
۴-۴-۴- تعیین پارامتر های مربوط به گسیختگی ۶۸
الف-نوع گسیختگی ۶۸
ب-تعیین مسافت و عرض گسیختگی ایجاد در جلو حسگر ترکیبی ۶۸
۳-۵- تحلیل داده ها ۶۹
۳-۵-۱- تحلیل داده های مقاومت مکانیکی افقی ۶۹
۳-۵-۲-تحلیل سیگنالهای حسگر صوت ۶۹

الف- حذف نویز سوار شده بر سیگنال های حسگر صوت ۷۰
ب- تحلیل سیگنال ها در رطوبت های مختلف..... ۷۰
۳-۶- حسگر رطوبت خاک..... ۷۱
۳-۶-۱-الکترود های خازن..... ۷۱
۳-۶-۳- نحوه ی آماده سازی خاک برای ارزیابی حسگر رطوبت ۷۳
فصل چهارم: نتایج و بحث
۴-۱- تحلیل استاتیکی تنش وارده به حسگر..... ۷۶
۴-۱-۱- توزیع تنش در ساقه حسگر بدون در نظر گرفتن نیروهای وارده به نوک ها ۷۶
۴-۱-۲-توزیع تنش در حسگر با اعمال نیروهای مقاوم به نوک ها..... ۷۶
۴-۲- واسنجی بارسنج ها ی S – شکل ۷۹
۴-۳- واسنجی حسگر مقاومت مکانیکی افقی خاک ۸۱
۴-۴- ارزیابی حسگر در رطوبت های متفاوت خاک در مزرعه ۸۳
۴-۴-۱- ارزیابی حسگر در رطوبت PL ۰/۵:..... ۸۳
۴-۴-۲-ارزیابی حسگر در رطوبتPL ۰/۷:..... ۹۰
۴-۴-۳-ارزیابی حسگر در رطوبت PL۰/۹:..... ۹۷
۴-۴-۱- ارزیابی حسگر در رطوبتPL ۱/۱:..... ۱۰۳
۴-۵- تاثیر رطوبت بر مقاومت مکانیکی افقی و عمودی و پارامتر های گسیختگی خاک ۱۱۱
۴-۶- توابع انتقال..... ۱۱۸
۴-۶-۱- تابع انتقال در رطوبت های مختلف..... ۱۱۸
الف - رطوبت PL ۰/۵: ۱۱۸
ب- رطوبت PL ۰/۷:..... ۱۱۹
ج- رطوبت PL ۰/۹: ۱۲۰
د- رطوبتPL ۱/۱:..... ۱۲۱
۴-۶-۲-تابع انتقال در عمق ها ۱۲۲
الف- عمق ۱۰ سانتیمتر: ۱۲۲
ب- عمق ۲۰ سانتیمتر : ۱۲۳
ج- عمق ۳۰ سانتیمتر:..... ۱۲۴

د- نوع گسیختگی: ۱۲۴
۴-۶-۳- توابع انتقال کل داده ها ۱۲۶
الف – تابع انتقال HRI=f(CI,d,mc): ۱۲۶
ب– تابع انتقال HRI=f(CI,d,CI×d): ۱۲۷
۴-۷- تحلیل سیگنال های صوتی ۱۲۸
۴-۷-۱- نویز سوار شده بر سیگنال های صوتی ۱۲۹
۴-۷-۲- تحلیل سیگنال‌های حسگر صوتی در عمق ۱۰ سانتی متر ۱۲۹
الف- رطوبت PL ۰/۵: ۱۲۹
ب- رطوبت PL ۰/۷: ۱۳۰
ج) رطوبت PL ۰/۹: ۱۳۰
د- رطوبت PL۱/۱ : ۱۳۰
۴ -۷-۳- تحلیل سیگنال‌های حسگر صوت در عمق ۳۰ سانتی متر ۱۳۴
الف- رطوبت PL ۰/۵: ۱۳۴
ب) رطوبت PL ۰/۷: ۱۳۵
ج- رطوبت PL۰/۹: ۱۳۷
د-رطوبت PL ۱/۱: ۱۳۷
۴-۸- واسنجی استاتیکی حسگر خازنی رطوبت ۱۴۱
۴- ۸-۱ واسنجی در خاک لوم رسی : ۱۴۱
۴- ۸-۲- واسنجی در خاک شن لومی: ۱۴۱
۴-۸-۳- واسنجی در خاک شنی : ۱۴۳
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها
۵-۱- نتیجه گیری ۱۴۸
۵-۱-۱- نتایج حاصل در طراحی حسگر ترکیبی ۱۴۸
۵-۱-۲- ارزیابی مزرعه ای : ۱۴۹
۵-۱-۳-ارزیابی حسگر خازنی رطوبت ۱۴۹
۵-۲- پیشنهادها ۱۵۰

چکیده:

تراکم خاک یکی از فاکتورها ی موثر در تخریب خواص فیزیکی خاک می باشد. تراکم ساختار خاک های زراعی را تغییر می دهد و سبب تغییر در خواص اساسی خاک برای رشد گیاه و تولید محصول و محیط زیست می شود. مقاومت مکانیکی خاک به عنوان شاخصی از تراکم خاک می تواند استفاده شود. به طور مرسوم از فروسنج عمودی برای تخمین مقاومت مکانیکی خاک ها استفاده می شود. اما این روش ایستگاهی و وقت گیر برای مزارع بزرگ مناسب نمی باشد. برای تهیه نقشه تغییر پذیری مکانی تراکم خاک در حال حرکت، ازحسگر های تک و چند نوکی جهت اندازه گیری مقاومت مکانیکی افقی خاک استفاده شده است. ولی گزارش شده است که مقاومت مکانیکی افقی خاک اندازه گیری شده در عمق های مختلف به حالت گسیختگی ایجاد شده در جلوی ساقه حسگر مرتبط است. فرض شد که اختلاف موجود در سیگنال های صوتی ثبت شده توسط میکروفن تعبیه شده در درون نوک های نفوذ سنج افقی چند نوکی برای تشخیص حالت های گسیختگی می تواند استفاده شود. در این پژوهش نفوذسنج افقی چند نوکی صوتی ساخته شد. که در آن سه نوک منشوری با زاویه راس ۳۰ درجه و سطح مقطع ۳۲۴ متر مربع در عمق های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر از سطح خاک کار می کردند. نوک منشوری افقی بارسنج S-شکل درون جعبه ای پشت ساقه حسگر قرار داشت، وصل شد. میکروفن در نوک های قرار گرفته در دو عمق ۱۰ و ۳۰ سانتی‌متر تعبیه شد. به این ترتیب حسگر ترکیبی با حرکت از میان خاک قادر به اندازه گیری مقاومت مکانیکی در سه عمق بود و همچنین می توانست صدای انتشاریافته اثر گسیختگی خاک را در دو عمق دریافت کند. تحلیل تنش های وارده از سوی خاک به حسگر نشان از طراحی درست و انتخاب جنس مناسب برای ساخت حسگر بود. این حسگر در مزرعه با خاک لوم رسی سیلتی، در چهار سطح رطوبت(۰/۵ PL، ۰/۷ PL، ۰/۹ PL و ۱/۱PL(PL: حد خمیری خاک) ارزیابی شد. مقادیر شاخص مخروط با فاصله۲ cm در عمق و۱ m در نوار عرضی توسط فروسنج مخروطی عمودی برای مقایسه بدست آمد. نتایج نشان داد که محتوای رطوبتی تاثیر معنی داری روی شاخص مقاومت افقی (HRI) در دو عمق ۲۰ و ۳۰ سانتیمتر داشت. با کاهش در محتوای رطوبت، مقادیر HRI و CI بطور معنی داری افزایش یافت. عمق بحرانی ساقه حسگر(عمق تغییر حالت گسیختگی از ترد به خمیری) بطور معنی داری با کاهش محتوای رطوبت افزایش یاقت. در زیر عمق بحرانی ساقه حسگر در دو عمق ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر رابطه معنی داری بین HRI و CI وجود داشت. (نوع گسیختگی یکسان) در عمق ۱۰ سانتی‌متر این رابطه معنی دار نبود . یک تابع انتقال بین مقادیر HRI ، CI، d و اندرکنشd × CI با ضریب همبستگی بالا (R^2= ۰/۹۰) بدست آمد. تحلیل سیگنال های حسگر صوتی ثبت شده در دو عمق ۱۰ و ۳۰ سانتی‌متر نشان داد که صرفنظر از محتوای رطوبت مزرعه، چگالی طیف توان سیگنال های صوت در این دو عمق (۱۰ و ۳۰ سانتی‌متر) بطور معنی داری با هم اختلاف داشتند که متاثر از نوع گسیختگی(گسیختگی ترد در عمق ۱۰ سانتی‌متر و گسیختگی فشاری در عمق ۳۰ سانتی‌متر) ایجاد شده در خاک بود. همچنین در این پژوهش یک حسگر خازنی برای اندازه گیری استاتیکی رطوبت خاک متشکل از دو الکترود مسی و یک عایق تفلونی و یک مدار طراحی و ساخته شد. اساس کار این سنسور بر میدان الکتریکی ایجاد شده در حاشیه خازن استوار بود. فرکانس تحریک مدار سنسور ۲/۶ مگاهرتز بود. به منظور بررسی تاثیر بافت بر عملکرد سنسور خازنی از ۳ نوع بافت، لوم رسی، شن لوم و شن در ۵ سطح رطوبت استفاده گردید. نتایج نشان داد که در هر سه نوع بافت یک رابطه ی درجه دو با ضریب همبستگی ۰/۹۸بین ولتاژ اندازه‌گیری شده توسط سنسور و محتوای حجمی (و وزنی) رطوبت خاک وجود دارد؛ هرچند که ضرایب این رابطه درجه دو متناسب با بافت خاک تغییر می کرد. نتایج نشان داد که فروسنج مکانیکی افقی ارتقا یافته می تواند علاوه بر اندازه گیری مقاومت مکانیکی افقی خاک، حالت گسیختگی بوجود آمده در خاک در اثر عبور حسگر در عمق های مختلف را نیز تشخیص می دهد.

واژگان کلیدی: کشاورزی دقیق ، تراکم خاک، گسیختگی ترد، گسیختگی خمیری، حسگر خازنی ، محتوای رطوبتی خاک.

فصل اول
مقدمه

۱-۱-مقدمه

با گسترش روز افزون فناوری‌های جدید درکشاورزی، دریچه ای از پیشرفت در زمینه بهینه کردن مصرف نهاده‌ها در سطح مزرعه و حفظ محیط زیست برروی محققان باز شد. ابداع و توسعه‌ی فنآوری‌های جدید جمع‌آوری و تحلیل داده‌های مربوط به تغییرات مکانی خصوصیات خاک و گیاه، مدیریت جدیدی را به‌نام کشاورزی دقیق[۱] بنا نهاده است [۵]. اجزای اصلی تشکیل دهنده فناوری در کشاورزی دقیق شامل:۱- حسگر ها جهت ثبت تغییر پذیری مکانی ویژگی های خاک و محصول، ۲- سامانه مکان یاب جهانی[۲] (GPS)، جهت زمین مرجع کردن اطلاعات در حال جمع آوری ۳- سامانه اطلاعات جغرافیایی[۳](GIS) جهت تهیه نقشه ها و لایه های اطلاعاتی و ناحیه بندی مزرعه بر اساس معیار های مختلف همچون حاصلخیزی خاک و فناوری های نرخ متغیر[۴] (VRT) جهت اعمال نهاده ها در نواحی مختلف مزرعه بر اساس درجه بندی حاصلخیزی خاک.

یکی از قسمت هایی که نیاز به پژوهش های زیادی جهت افزایش و دقت دارد توسعه و ارتقا حسگرها و طراحی حسگر های ترکیبی[۵] به منظور اندازه گیری همزمان ویژگی های خاک و گیاه می باشد. تراکم ایجاد شده در خاک، ساختار، پایداری، تخلخل و چگالی ظاهری خاک و مقاومت در برابر حرکت آب و

۱-Precision Agriculture
۲-Global Positioning System
۳-Geographical Information System
۴-Variable Rate Technology
۵-Sensor Fusoin

ریشه، را تغییر می دهد و یک تأثیر مخرب در شرایط رشد و نمو گیاه ایجاد می کند [۲۳]. تراکم خاک فرآیندی است که ذرات خاک بازآرایی می شوند، تا فضای خالی را کاهش دهند و موجب تماس نزدیک‌تر به یکدیگر شوند و در نتیجه چگالی ظاهری خاک افزایش می‌یابد و حجم منافذ خاک کاهش می یابد [۶۸]. تراکم یک ویژگی دینامیکی خاک است که عوامل مختلفی مانند: خصوصیات ذاتی(بافت و موادآلی) خاک، ویژگی های گذار خاک (رطوبت) ، روش های مدیریتی (روش آبیاری و خاک‌ورزی) و عوامل طبیعی (تر وخشک شدن، نشست طبیعی در طول فصل زراعی) در بوجود آمدن آن نقش دارند [۲۳]. از جمله عوامل مدیریتی در کشاورزی مکانیزه استفاده از تراکتورها ی سنگین در شرایط رطوبتی نامناسب در تولید محصولات می باشد [۸۰].

تراکم خاک را به صورت مستقیم با اندازه گیری چگالی ظاهری خاک، حجم ویژه و نسبت پوکی و تخلخل می سنجند. اما این اندازه گیری ها وقت گیر، خسته کننده و گران می باشد. اندازه گیری غیر مستقیم تراکم خاک به وسیله اندازه گیری مقاومت به نفوذ اشیاء مخروطی-شکل با دستگاه فروسنج عمودی به صورت ایستگاهی انجام می گیرد و با شاخص مخروط بیان می گردد. این شاخص عبارتند از تقسیم نیروی لازم برای فروکردن مخروط در خاک تا عمق معین به سطح مقطع مخروط. این روش ایستگاهی پر هزینه، زمان بر و گران است. بنابراین، روشی مناسبی برای سنجش تراکم خاک در مزارع بزرگ نیست [۸].

مقاومت خاک در برابر گسیختگی می تواند به عنوان شاخصی از تراکم خاک استفاده شود و برای تخمین درجه تراکم در حسگرهای پیوسته استفاده شده است. این نوع حسگر ها در حین حرکت در خاک، نیروی مقاوم به برش، شکست و تغییر مکان خاک و نیروهایی اصطکاکی که بین سطح حسگر و خاک ایجاد می شود را ثبت می کنند [۴۰]. فروسنج های افقی یکی از انواع حسگر های موجود برای اندازه گیری مقاومت مکانیکی در لایه های مختلف خاک می باشد. مقاومت مکانیکی اندازه گیری شده در هر لایه بستگی به حالت گسیختگی خاک در جلوی ساقه حسگر دارد[۴۲] .

در این پژوهش بر آنیم با طراحی و ساخت یک حسگر ترکیبی علاوه بر اندازه گیری مقاومت مکانیکی هر لایه با تحلیل سیگنال های صوتی انتشار یافته در اثر عبور نوک های حسگر در داخل خاک بتوان نوع گسیختگی را نیز تشخیص داد.

۱-۲- هدف

طراحی، ساخت و ارزیابی یک حسگر ترکیبی جهت اندازه‌گیری همزمان مقاومت مکانیکی و حالت گسیختگی ایجاد شده در پروفیل خاک در شرایط رطوبتی متفاوت. به منظور دستیابی به این هدف، مراحل زیر انجام شد.

۱- طراحی و ساخت یک حسگر سه نوکی افقی (فروسنج منشوری افقی سه نوکی) که به تواند مقاومت مکانیکی خاک را در سه عمق ۱۰ و ۲۰ و ۳۰ سانتی متری به طور همزمان اندازه گیری کند،

۲- تجهیز نوک ها به میکروفن به منظور اندازگیری امواج صوتی تولیدی در اثر لغزش و گسیختگی خاک،

۳- ارزیابی مزرعه‌ای حسگر،

۴- بررسی رابطه بین مقاومت مکانیکی افقی خاک و شاخص مخروط اندازه گیری شده با یک فروسنج عمودی در رطوبت و عمق های مختلف،

۵- تحلیل سیگنال های صوتی به منظور تشخیص حالت گسیختگی خاک،

۶- تعیین توابع انتقال جهت برآورد مقاومت مکانیکی افقی خاک با استفاده از پارامتر های فیزیکی (رطوبت و چگالی ظاهری) و شاخص مخروط خاک.

ضمنا در این پژوهش یک حسگر خازنی اندازه گیری رطوبت خاک در شرایط استاتیکی طراحی و ارزیابی گردید.

فصل دوم
بررسی منابع

۲-۱- تراکم خاک

تراکم خاک کاهش در حجم خاک و بازآرایی در ذرات خاک است که توسط ابزار های مکانیکی و پدیده های طبیعی ایجاد می شود. زمانی، خاک به عنوان یک خاک متراکم مطرح می شود که تخلخل در آن به حدی کم است که تهویه در خاک اتفاق نمی افتد و یا خاک سفت است و منافذ آن ،آنقدر کوچک هستند که از نفوذ ریشه ممانعت میکند و نفوذپذیری و زهکشی اتفاق نمی افتد [۴۵]. اثرات زیان آور بسیاری از تراکم خاک، در کشاورزی، افزایش فرسایش ،کاهش بازده محصولات، افزایش انرژی مورد نیاز در خاکورزی و صدمات محیطی دیده می شود.

تراکم خاک ممکن است به طور طبیعی در حالت های مختلف در یک مزرعه کشاورزی ایجاد شود. اسپور[۱] (۲۰۰۶) پنج نوع تراکم خاک که محیط‌های غیر شهری با آن مواجه هستند را تعیین کرد: الف) تراکم عمومی: در اثر اعمال بارهای خارج از سطح به سمت پایین یا از دست دادن ساختمان خاک و ایجاد لایه‌ای سخت در خاک‌هایی که از لحاظ ساختمانی ناپایدارند، تشکیل می‌شود، ب) لایه‌های متراکم شده موضعی: در اثر عبور ادوات یا تایرها در عمق معینی از خاک و ایجاد لایه سخت در زیر عمق‌کاری آن‌ها، ج) تراکم خاک زیرین: در زیر لایه شخم و در اثر تنش‌های زیاد اعمال شده توسط بار سطحی ناشی می‌شود، د) تراکم ثانویه: یک ناحیه خاک ضعیف در بالای یک لایه متراکم شده در اثر اعمال بارهای سطحی متراکم می‌شود

۱-Spoor

و ه) تراکم طبیعی در عمق: لایه‌های سخت شده یا لایه‌های رس در عمق تشکیل می‌شود. وقتی خاک متراکم می‌شود، تغییراتی در خصوصیات فیزیکی خاک مثل ساختمان، قوام (چسبندگی و دگرچسبی) و منافذ خاک بوجود می‌آید که نقش مهمی را در رشد و توسعه گیاهان بازی می‌کنند [۶۸].

عامل اصلی بوجود آورنده تراکم خاک، بارهای متنوعی است که به خاک‌های غیر اشباع اعمال می-گردد [۴۱]. این بارها ممکن است منشأ طبیعی یا مصنوعی داشته باشند. یک مقدار خیلی زیاد از تراکم خاک در مزارع کشاورزی توسط اعمال نیروهای مکانیکی به خاک ایجاد می شود. تراکم مکانیکی توسط ماشین وحیوانات ایجاد می گردد. لگد مال حیوانات سطح بالایی خاک را متراکم خواهد کرد. به هر حال رایج-ترین دلیل تراکم خاک اثرات ماشین های کشاورزی است.[۴۶]. بزرگترین مقدار تراکم در نتیجه ی عبور تجهیزات سنگین روی سطح خاک خیس است.کشت روی خاک های گلی خیس با تجهیزات سنگین می-تواند لایه شخم را به چرخ ها و گاو آهن ها بمالد و کفه ی شخم ایجاد شود. اندازه گیری تراکم خاک همیشه چالش برانگیز بوده است.

ابرچ[۱] (۱۹۸۵) بیان کرد که اختلاف در مورد تراکم خاک از قبیل درجه ی تراکم و اثرات آن روی بازده ی محصولات نشان می دهد تکنیک های موجود برای اندازه گیری تراکم خاک ناکافی است و روش های های موجود نتایج اندازه گیری تراکم خاک را تفسیر نمی‌کند. جریان اندازه گیری تراکم خاک شامل اندازه گیری یک یا چندین خاصیت فیزیکی خاک است که به نظر می سد که وابسته به تراکم خاک می باشند [۲۳]. فریتگ[۲] (۱۹۷۱) چهار روش اندازه گیری تراکم خاک را لیست کرد. حجم و جرم (چگالی ظاهری خشک خاک)، مقاومت خاک، ضریب انتشار سیال توسط خاک و مشاهدات دیداری از کالبد خاک [۳۳].

دو روش طبقه بندی شده از تکنیک های اندازه‌گیری تراکم خاک در محل و روش های آزمایشگاهی وجود دارد. اندازه گیری های در محل، در مزرعه گرفته می شود در حالی که روش های آزمایشگاهی نیازمند نقل مکان نمونه‌ها از مزرعه برای انجام اندازه گیری ها در آزمایشگاه است. هر دو روش فواید و مضراتی دارد. فایده ی اندازه گیری های در محل در این است که نمونه ها دست نخورده اند، اما شرایط کنترل محیطی آزمایشگاه را ندارند. ضرر اندازه گیری های آزمایشی در این است که نیازمند نمونه است، ممکن است خواص ذاتی نمونه در طول فرآیند نمونه گیری از بین رود. روش های آزمایشگاهی توانایی اندازه گیری های دقیق از نمونه ها را ایجاد می کند [۲۳].

روش های مستقیم و غیرمستقیم برای ارزیابی میزان تراکم خاک پیشنهاد شده است. ارزیابی کمی تراکم خاک برای تعیین شدت تراکم و در نتیجه مشخص کردن روش‌های مناسب و مؤثر زیستی، شیمیایی و

۱-Erbach

۲-Fritag

مکانیکی به‌منظور اصلاح یا کنترل تراکم خاک، لازم است. برخی از اندازه‌گیری‌های مستقیم و متداول تراکم خاک شامل موارد زیر می‌باشد: جرم مخصوص ظاهری خاک خشک، حجم مخصوص خاک خشک و درجه تخلخل [۲۷]. علاوه بر این، افزایش در تراکم خاک می‌تواند با استفاده از اندازه‌گیری‌های غیرمستقیم تشخیص داده شود. این روش بر پایه افزایش در مقاومت خاک (مقاومت مکانیکی در برابر ابزار نفوذی) یا کاهش در پیوستگی فضاهای خالی (قابلیت نفوذ سیال) بنا شده است. در حالی‌که روش‌های مستقیم اندازه‌گیری تمایل به تخمین درجه تراکم خاک دارد، روش‌های اندازه‌گیری غیرمستقیم، تغییرات در پاسخ محیط متراکم شده را، نشان می‌دهد [۴۱].

روش‌های اندازه‌گیری مستقیم برای تهیه نقشه تغییرپذیری مکانی تراکم در مزارع بزرگ بسیار پرزحمت، طاقت‌فرسا و پرهزینه است. بنابراین استفاده از روش‌های غیرمستقیم همراه با تعیین مختصات جغرافیایی با استفاده از یک سامانه مکان‌یاب جهانی، جایگزین آن شده است [۴۱].

اخیراً در فناوری کشاورزی دقیق، محققان زیادی روی توسعه‌ی حسگرهای بلادرنگ برای اندازه‌گیری ویژگی‌های مختلف خاک‌های کشاورزی تمرکز کرده‌اند. اگرچه اندازه‌گیری‌های بلادرنگ ویژگی‌های خاک، نیاز به اندازه‌گیری فراسنجه‌های دیگر به‌طور هم‌زمان دارد و هم‌چنین یک روش مدل‌سازی مناسب است، اما بیشتر محققان با توجه به سختی و زمان‌بر بودن روش ایستگاهی اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک، به‌دنبال روش‌های بلادرنگ اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک هستند [۴۱].

۲-۲- مقاومت خاک

اندازه های مقاومت خاک یک ابزار عمومی برای تشخیص تراکم خاک به دلیل سادگی ابزارهای مورد استفاده در آن است. جوریف[۱] (۱۹۹۴) بیان کردکه مقاومت خاک با تراکم خاک افزایش می یابد. فریتگ (۱۹۷۱) جوریف(۱۹۹۴) و هیل[۲] (۱۹۹۸) بعضی از روش های سنتی اندازه گیری تراکم خاک را مطرح کردند.که شامل آزمایش برش ،آزمایشهای کرنش و مقاومت نفوذ است [۴۵].

۲-۲-۱- ابزار های اندازه گیری مقاومت خاک عمودی

ابزار های عمودی مقاومت به نفوذ خاک را دریافت می کنند و نیروی مورد نیاز برای فشار دادان مخروط به صورت عمودی ، به درون خاک را اندازه می گیرند [۴۰]. مخروط به گونه ای به درون زمین وارد می شود که به لایه ها با شدت تراکم مختلف برخورد می کند. نیروی مورد نیاز برای نفوذ در هر لایه با افزایش تراکم یا چگالی هر لایه، افزایش می یابد. ویژگی استفاده از ابزار های عمودی در این است که که

۱-Gourif
۲-Hillel