تعیین و ارزیابی اثر بار عمودی و سرعت پیش‌روی بر روی فشردگی خاک

حامد شاهمیرزایی جشوقانی[۱]، سلمان خاکسار حقانی دهکردی[۱]، عباسعلی تیموری عسگرانی[۱]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد

hamed.sfme83@gmail.com

چکیده

هدف از این تحقیق بررسی تاثیر بار عمودی روی تایر و سرعت پیشروی روی خاک مورد ارزیابی است. با افزایش بار عمودی روی تایر جرم مخصوص ظاهری خاک و در نتیجه فشردگی خاک افزایش می‌یابد. جرم مخصوص ظاهری خاک پس از اعمال بار عمودی روی خاک توسط تایر افزایش خیلی زیادی نسبت به حالت قبل از فشرده‌شدن خاک دارد و افزایش جرم مخصوص ظاهری پس از اعمال بارهای عمودی ۱۰۵۰ و ۱۲۰۰ kg نسبت به اعمال بارهای عمودی ۹۰۰kg افزایش چندانی ندارد. با افزایش سرعت پیش‌روی، جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهند که تغییر سرعت روی تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک اثر معناداری در سطح ۰.۰۵٪ می‌گذارد. با توجه به نتایج آزمایش‌ها، با کاهش بار عمودی روی تایر و افزایش سرعت پیش‌روی ادوات، کم‌ترین فشردگی در خاک ایجاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: جرم مخصوص ظاهری خاک، خواص مکانیکی خاک، سرعت پیشروی، فشردگی خاک، بار عمودی روی تایر

مقدمه

تعریف‌های متفاوتی از تراکم‌پذیری بیان شده است. بعضی از محققین به تفاوت بین جرم مخصوص ظاهری (BD) اولیه خاک و ماکزیمم که خاک تحت اثر یک مقدار مشخص فشار در رطوبت یکسان کسب می‌کند، تراکم‌پذیری گویند. بعضی دیگر به حداکثر BD حاصل از اعمال انرژی مشخصی بر خاک، تراکم‌پذیری گویند. در تعریفی دیگر، تراکم خاک به فرایندی گفته می‌شود که سبب افزایش جرم مخصوص خاک شده و شامل کاهش تخلخل و نفوذ پذیری آب در خاک، افزایش مقاومت مکانیکی خاک و تغییر در اسکلت خاک می‌شود. بنابراین تراکم خاک در مقیاس کوچک، سبب کاهش اندازه و تعداد خلل و فرج درشت و تغییر در شکل و پیوستگی خلل و فرج خاک می‌شود. در صورتی که در مقیاس بزرگتر، با تغییر درجه پوکی، تخلخل کل، حجم مخصوص و جرم مخصوص ظاهری همراه می‌شود.

بررسی تغییر مقاومت خاک در اثر نیروهای خارجی از نظر تئوری مشکل است و به همین جهت روش‌های تجربی و نیمه‌تجربی برای بررسی این رفتار به کار می‌رود. اکثر مهندسین کشاورزی از این روش‌ها برای بررسی تغییرات مقاومت خاک استفاده می‌کنند. در این روش‌ها برای اندازه‌گیری مقاومت خاک، شاخصی حاصل می‌شود که مجموعه‌ای از مقاومت‌های برشی، فشاری و تنشی می‌باشد ولی حسن این روش‌ها سادگی و راحتی انجام کار است.

فشردگی خاک یک کرنش حجمی با فشرده‌شدن ذرات خاک به صورت متراکم به دلیل اعمال بار است. تحقیقات قبلی نشان می‌دهند که قابلیت فشردگی یک وسیله در حرکت تابع مقدار، سرعت، طول زمان فشردگی خاک و تغییرات در خواص فیزیکی مکانیکی خاک بستگی دارد (بارنز و همکاران ۱۹۸٤، آبب و همکاران ۱۹۸۹).

عملیات مزرعه‌ای کشاورزی در سطح‌های مختلف مکانیزاسیونی خیلی زیاد به تراکتورها به عنوان یک منبع کشنده قدرت هستند بستگی دارد. در کارهای معمولی از تراکتورهای مشابه برای عملیات مختلف استفاده می‌شود. از این رو خاک با ظرفیت تحمل مختلف، در معرض تکرار تنش‌های فشاری با اندازه‌های مختلف است. این نتایج در شکل‌دهی لایه‌های چگال در توده‌ای خاک که قابلیت هدایت آب‌گذری پایینی و هوادهی دارند (ریکمن و چاناسه ۱۹۸۸، بارون ۱۹۹۰).

در دهه‌های گذشته، بیشترین فشردگی به دلیل عبور چرخ‌ها و لایه شخم گاوآهن بود و این فشردگی با تمرین‌های فرهنگی ترویجی از بین می‌رفتند. امروزه اندازه ماشین‌ها بزرگ‌تر شده و نیاز دارد که عملیات مزرعه‌ای به موقع انجام شود. فشردگی القایی چرخ ممکن است که روی همه خط افقی اثر بگذارد، اما این مخصوصا برای خاک‌های سطحی درست است که در معرض مستقیم عکس‌العمل چرخ‌ها قرار دارند. اثرات زیان‌بخش فشردگی خاک روی رشد محصول شامل کاهش جوانه‌زنی بذر، توسعه ریشه، محدود شدن منابع آبی و جذب مواد معدنی می‌شود (بارنز و همکاران ۱۹۸٤، روسانو۱۹۹۱،کارمان ۱۹۹٤).

با افزایش سرعت وسیله که روی خاک نرم با خلل و فرج بالا باعث کاهش فشردگی می‌شود (بولینگ، ۱۹۸٦). بنابراین آماده‌سازی محل رشد و نمو بذر باید با سرعت بالا انجام شود تا فشردگی خاک کاهش یابد (کارمان، ۱۹۹۲). سطح تماس چرخ با افزایش سرعت کاهش می‌یابد و بنابراین ماکزیمم فشار افزایش می‌یابد (گرن، ۱۹۹۱). فشردگی وسیله‌ای می‌تواند با چند راه به حداقل برسد که شامل دقت در انتخاب تجهیزات اساسی و وزن تجهیزات و نوع تایر آن‌ها، بهینه‌سازی در سرعت کار تجهیزات، استفاده به موقع از تجهیزات تا این‌که بیش‌ترین سود و بهره را از شرایط مطلوب مزرعه ببریم (آدبی و همکاران، ۱۹۹۱).

در تحقیقی که توسط ورهیس (۱۹۸۳) صورت گرفت مشخص شد که تردد یک تراکتور با وزن ۷/۳ تن در فصل رشد می‌تواند سبب افزایش جرم مخصوص ظاهری در ۱۰ سانتیمتر اول پروفیل خاک از ۱/۲ به ۱/٦ گرم بر سانتیمتر مکعب شود. در تحقیق دیگری (ورهیس ۱۹۸۹) تاثیر ترافیک مزرعه ای بر خواص فیزیکی خاک مورد مطالعه قرار گرفت، وی چنین نتیجه گرفت که در محل مرکز شیارهای عبور تراکتورهای با وزن ٤ تا ۷ تن با فشار تماسی ۱۰۰ تا KPa ۲۰۰، تخلخل خاک عمق ۱۵- ۰ و۳۰- ۱۵ سانتیمتری به ترتیب ٪۹- ۸ و ٪٤- ۳ کاهش یافت ولی در زیر عمق ۳۰ سانتیمتری تغییری در تخلخل خاک دیده نشد.

اسدی و اسماکر (۱۹۸۹) در تحقیق آزمایشگاهی بر روی تراکم در یک خاک رسی به این نتیجه رسیدند که مقاومت مکانیکی خاک با افزایش جرم مخصوص ظاهری از ۱/۱ به ۱/٤ و (gr/cm^3) ۱/۷ به ترتیب از ۰/٤۳ به ۲/۱٤ و MPa ۵/۵ افزایش یافت. این موضوع نشان دهنده حساسیت شاخص مخروطی خاک نسبت به BD به تراکم خاک می‌باشد. همچنین می توان نتیجه گرفت که در اثر ایجاد فشارهای اضافی یا عبوری مجدد وسایط نقلیه روی خاک، شاخص مخروطی حساس‌تر از جرم مخصوص ظاهری خاک است.

جانسون و همکاران (۱۹۹۲) نشان دادند که ماکزیمم تنش در مسیرهای چندگانه تایرهای یکسان افزایش می‌یابد، زیرا بار دینامیکی روی تایر بالای سطح های کوچک هر مسیر توزیع می‌شود. در افق‌های سطحی خاک به دلیل به هم خوردگی در اثر عملیات خاک ورزی معمولا دارای BD کمتری بوده ولی افق‌های تحتانی خاک در اثر فشار لایه‌های بالایی دارای BD و تراکم طبیعی بیشتری می‌باشند. ولی با این وجود در کشاورزی و چرای زیاد، افق‌های سطحی خاک در صورتی که فشار تماسی اعمال شده در حدود ۱۰۰ کیلوپاسکال باشد، این روند تغییر خواهد کرد. سوان (۱۹۷۰) نشان داد که چنین فشاری باعث افزایش قابل توجهی در BD یک خاک سست و نرم می‌شود. تراکم باعث افزایش BD، کاهش درجه پوکی و تخلخل خاک می‌شود، ولی این تغییرات بستگی به توزیع اندازه ذرات و رطوبت خاک دارد. بنابراین بررسی تراکم توسط این خواص بایستی همراه با بررسی دانه بندی و اندازه گیری رطوبت خاک باشد. امروزه از درجه تراکم به جای BD برای بررسی فشردگی خاک استفاده می شود که عبارت است از نسبت BD خاک در مورد آزمایش به BD همان خاک در شرایط مرجع تراکم (معمولا فشار محوری KPa ۲۰۰).

رفتار و تغییر شکل خاک در یک سیستم چرخ– خاک بستگی به بار چرخ، خصوصیات بار، خواص مکانیکی خاک و سرعت حرکت وسیله دارد. هنگامی که یک تایر بر روی یک سطح صلب حرکت می‌کند، تغییر شکل خمشی در تایر ایجاد شده و قسمتهای تماسی تایر نسبت به سطح متحرک می‌شود. این موضوع همچنین در مورد سطوح نرم و سست مانند خاک صادق است. همواره با تغییرات در تایر درگیر با خاک، یک سری تغییرات نیز در خاک اتفاق می‌افتد که این تغییرات دارای جهت خاصی می‌باشند و حوزه اثر فشار تا حدودی قابل تعیین است. محققین معتقدند که با افزایش بار، تراکم و عمق تاثیر تراکم افزایش می‌یابد. ولیکن در این رابطه بایستی جنبه‌های مختلف زیر را در نظر گرفت: اگر بار اعمال شده افزایش یابد و سطح تماس ثابت بماند، بدیهی است که در این حالت تراکم خاک افزایش می‌یابد. در شرایطی که بار و سطح هر دو افزایش ودر نتیجه فشار تماسی ثابت بماند، در این شرایط تراکم خاک در اعماق بیشتر تحت تاثیر قرار می‌گیرد.

بنابراین اگر بار ثابت بماند و فشار تماسی افزایش یابد، فشردگی خاک سطحی و در شرایطی که فشار تماسی ثابت و بار افزایش یابد، خاک عمقی‌تر بیشتر تحت تاثیر قرار می گیرد. به عبارت دیگر وقوع تراکم در خاک سطحی بیشتر تحت تاثیر فشار تماسی و تراکم خاک زیرین تحت اثر بار محوری می‌باشد. از فاکتورهای دیگر که تاثیری مهمی بر تراکم خاک دارند سرعت پیشروی و تعداد عبور وسایط نقلیه است. تغییرات دینامیکی نیروهای اعمال شده بر سطح خاک، به سرعت پیشروی وسیله دارد. در سرعت‌های زیاد، فشردگی کمتر از سرعت‌های کم است ولی این یک قانون کلی نیست بلکه در بعضی از اعمال همانند شخم زدن، افزایش سرعت پیشروی باعث افزایش مقاومت کششی می‌شود که این افزایش نیاز به زیاد شدن قدرت یا وزن ویا هر دو دارد. عبور های مجدد باعث افزایش شدت تراکم می‌شود ولی اثرات مطلق عبورهای مجدد بر تراکم کمتر از عبور اول است.

مواد و روش‌ها

در اکثر منابع، افزایش جرم مخصوص ظاهری را به عنوان شاخص تراکم خاک می‌دانند. دلیل استفاده از این خصوصیت این است که هم فرآیند تراکم را بیان می کند و هم موقعیت نهایی خاک را پس از تراکم نشان می دهد. به این دلیل ما با اندازه-گیری جرم مخصوص ظاهری خاک قبل و بعد از اعمال بار عمودی به خاک فشردگی خاک را اندازه‌گیری می‌کنیم. دو روش عمده برای اندازه گیری جرم مخصوص ظاهی خاک عبارت است از:

۱- روش مستقیم : دراین روش، جرم و حجم نمونه دست نخورده اندازه گیری می شود.
۲- روش غیر مستقیم : در این روش از اثر خواص خاک بر تشعشع حاصل از یک منبع رادیواکتیو استفاده می شود.

این تحقیق با استفاده از اصول روش اول انجام شد. این تحقیق در دانشکده مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شهرکرد واقع در استان چهارمحال و بختیاری انجام شد. مشخصات خاک استفاده شده در دانشگاه شهرکرد در جدول ۱ بیان شده است.

جدول ۱- مشخصات خاک استفاده شده

توزیع اندازه ذرات خاک	مقدار
شن (0.05-2.0 mm)	٪ ۲۰
سیلت (0.002-0.05 mm)	٪ ٤٨
رس (<0.002 mm)	٪ ۳۲
رطوبت خاک	٪ ۱۱.۳
جرم مخصوص ظاهری خاک	۱.٤٤gr/cm^3

روش فشرده‌کردن خاک

برای فشرده‌کردن خاک از تراکتور مسی‌فرگوسن مدلMF285 استفاده شد. وزن کل این تراکتور ۲۸۰۰ کیلوگرم است. وزن روی هر چرخ عقب این تراکتور ۸۷۵ و وزن روی هر چرخ جلو حدود ٤۹۰ کیلوگرم است. در این آزمایش اثر سه سطح بار عمودی را روی فشردگی خاک بررسی می‌شود. در ایران تراکتور مسی‌فرگوسن یک تراکتور عمومی است که در اغلب مناطق استفاده می شود. وقتی تراکتور در مزرعه کار می کند در خاک ایجاد فشردگی می کند و این فشردگی با افزایش وزنه‌های سنگین‌کننده بیشتر می‌شود. انتخاب سطح فشردگی نیز باید با شرایط کار در مزرعه مطابق باشد. در هر سطح فشردگی بار عمودی روی چرخ عقب تراکتور تغییر می‌کند. با توجه به ادوات مرسوم تراکتور مسی‌فرگوسن و وزن آن‌ها مقدار وزنه‌ای که باید در هر سطح فشردگی اضافه شود انتخاب شد. در اولین سطح فشردگی تنها تراکتور و بدون وزنه‌های

سنگین کننده از روی خاک عبور می‌کند. در سطح دوم فشردگی به تراکتور وزنه اضافه می‌شود تا وزن روی هر چرخ ۱۵۰ کیلوگرم افزایش یابد. در سطح سوم فشردگی با اضافه کردن وزنه به تراکتور، افزایش وزن روی هر چرخ را به ۳۰۰ کیلوگرم رسانده می‌شود. روش کار به این صورت است که تراکتور ابتدا با وزن مشخص (وزن ثابت مورد نظر روی هر چرخ) و سرعت اولیه (کمتر) حرکت می‌کند و سپس با سرعت ثانویه (بیشتر) حرکت می‌کند.

انتخاب سرعت مناسب

یکی دیگر از فاکتورهای بسیار تعیین کننده در فشردگی خاک سرعت پیش‌روی وسایل نقلیه است. در هنگام عبور تراکتور از روی خاک باید سرعت تراکتور ثابت باشد زیرا که افزایش یا کاهش سرعت باعث تغییر در میزان فشردگی می‌شود. در هر عبور تراکتور باید مسافت حدودا ۲۰ متر را با سرعت ثابت طی کند تا هم بتوانیم از چند جای مختلف نمونه برداریم و هم راننده مسافت کافی داشته باشد تا بتواند سرعت را ثابت نگه دارد. راننده قبل از حرکت گاز دستی را در موقعیتی قرار می‌دهد تا با انتخاب دنده مناسب بتواند به سرعت مورد نظر دست یابد و همچنین در موقع حرکت گاز و دنده انتخاب شده تغییر نمی‌کند. سرعت‌های اعمالی در آزمایش باید به واقعیت نزدیک باشد. به این منظور یکی از سرعت‌های انتخابی ما، سرعتی بود که اغلب تراکتورها در آن شخم می‌زنند و سرعت دیگر سرعتی است که راننده‌ها در هنگام کاشت و داشت بیشتر از این سرعت استفاده می‌کنند. برای سرعت کمتر، سرعت ٤ کیلومتر در ساعت انتخاب شد و برای سرعت بیشتر، سرعت ٦ کیلومتر در ساعت انتخاب شد. روش کار به این صورت است که تراکتور ابتدا با سرعت ٤ کیلومتر در ساعت مسافت مورد نظر را طی می‌کند و سپس می‌ایستد و با تنظیم دوباره گاز دستی و انتخاب دنده مسافت دیگری را با سرعت جدید طی می‌کند.

روش نمونه‌برداری

نمونه‌برداری باید بلافاصله پس از عبور تراکتور و بدون این که رطوبت خاک تغییر کند و خاک به هم بخورد انجام شود. برای نمونه‌برداری از یک استوانه استاندارد با ابعاد مشخص استفاده می‌شود. این استوانه پس از داخل شدن در خاک می‌تواند از دو عمق متوالی نمونه‌برداری کند. قطر استوانه ۵۰ میلیمتر و ارتفاع آن نیز در هر مقطع ۵۰ میلیمتر است. استوانه نمونه اول را در عمق ۱۰ تا ۱۵و نمونه دوم را در عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتیمتری برداشت می‌کند. برای شروع نمونه‌برداری ابتدا سطح رویی خاک تا عمق ۵ سانتیمتری کنار زده می‌شود و سپس استوانه به داخل خاک فرو کرده می‌شود. وقتی که استوانه داخل خاک رفت با بیل طوری دور استوانه را خالی می‌کنیم که خاک داخل به هم نخورد و به آرامی استوانه را از داخل خاک خارج می‌شود.

تعیین جرم مخصوص ظاهری خاک و رطوبت خاک

پس از این‌که استوانه از خاک خارج شد خاک هر قسمت در ظرف جداگانه‌ای ریخته می‌شود و وزن اولیه خاک را با ترازوی دیجیتال بدست می‌رویم. سپس خاک را در آون به مدت ٢٤ ساعت و در دمای ١٠٥ درجه سلسیوس قرار می‌دهیم تا خاک خشک شود و پس از آن وزن خاک خشک را اندازه‌گیری می‌کنیم. حجم استوانه را نیز با توجه به ابعاد اندازه‌گیری شده استوانه‌ها بدست می‌آوریم. حال جرم مخصوص ظاهری خاک را بدست می‌آوریم. برای محاسبه جرم مخصوص ظاهری خاک، وزن خاک خشک را بر حجم کل خاک تقسیم می‌کنیم. با مقایسه جرم مخصوص ظاهری قبل از فشردگی و بعد از فشردگی میزان فشرده شدن خاک را در سرعت معین و بار عمودی مشخص بدست می‌آید.

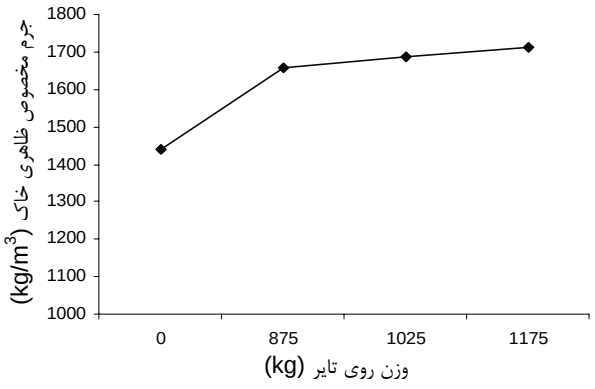
تحلیل آماری

مقادیرمتوسط، انحراف استاندارد وخطاهای استاندارد هر اندازه‌گیری گزارش شد. این تحقیق به صورت یک طرح فاکتوریل در قالب بلوک‌های کاملا تصادفی انجام شد. در این طرح تیمارها وزن، سرعت و عمق بودند و تکرار ٤ بود. از اثر وزن و سرعت روی فشردگی استفاده شد و تغییرات اندازه‌گیری شد. وقتی که مقدار f معنی دار نشان داده شد، مقدارهای متوسط فشردگی مضاعف را از روش کمترین تفاوت معنی دار انجام شد (LSD). برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS ورژن ٩ استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر بار عمودی روی جرم مخصوص ظاهری و فشردگی خاک

جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق‌های ٠ تا ١٠ و ١٠ تا ٢٠ سانتیمتری زیر تایر نمونه‌برداری شد. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش بار عمودی روی تایر جرم مخصوص ظاهری خاک افزایش می‌یابد. با افزایش وزن روی تایر فشردگی خاک یا جرم مخصوص ظاهری خاک افزایش می‌یابد (شکل ١). همان‌طور که در شکل ١ مشخص است جرم مخصوص ظاهری خاک پس از اعمال بار عمودی روی خاک توسط تایر افزایش خیلی زیادی نسبت به حالت قبل از فشرده‌شدن خاک دارد و افزایش جرم مخصوص ظاهری پس از اعمال بارهای عمودی ١٠٥٠ و kg ١٢٠٠ نسبت به اعمال بارهای عمودی kg ٩٠٠ افزایش چندانی ندارد. این بدان معنی است که هرچه بار عمودی بیشتر شود فشردگی نیز زیاد می‌شود اما اگر تفاوت دو بار اعمالی عمودی در حد مشخصی نباشد، افزایش فشردگی چندانی در خاک نخواهیم داشت.

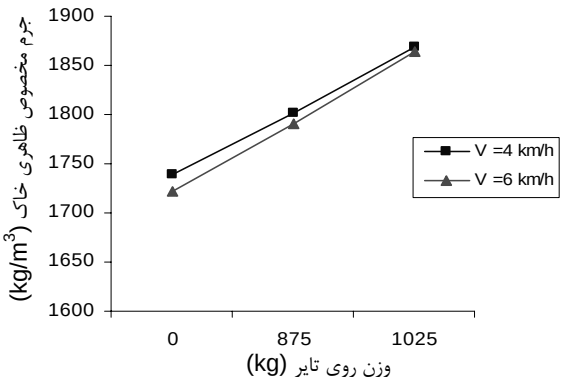


شکل ۱- اثر بار عمودی روی جرم مخصوص ظاهری و فشردگی خاک

این مسئله در پس از آنالیز آماری در نرم‌افزار SAS خود را نشان داد و در اثر افزایش بارهای عمودی (۱۰۵۰ و ۱۲۰۰ kg) بیشتر، افزایش فشردگی خاک نسبت به اعمال بار عمودی ۹۰۰ کیلوگرم تغییرات معناداری در سطح ۰.۰۵٪ نداشت. در اولین فشردگی خاک پس از اعمال بار روی تایر، جرم مخصوص ظاهری خاک به طور معناداری نسبت به وضعیت عادی و قبل از فشرده شدن خاک تغییرمی‌کند. جرم مخصوص ظاهری خاک از ۱٤۰۰ (قبل از فشردگی) تا kg/m^3 ۲۳۵۳ (بعد از اعمال بیشترین بار روی تایر) تغییر می‌کند. در نتیجه بیش‌ترین جرم مخصوص ظاهری خاک در بار عمودی ۱۲۰۰ کیلوگرم به دست آمد.

اثر سرعت روی جرم مخصوص ظاهری و فشردگی خاک

نتایج نشان می‌دهند که با افزایش سرعت پیش‌روی افزایش فشردگی و جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد. این به این علت است که در سرعت پیش‌روی بیشتر زمان اعمال بار عمودی روی خاک کاهش می‌یابد و با کاهش زمان اعمال بار عمودی روی خاک فشردگی و جرم مخصوص ظاهری خاک نیز کاهش می‌یابد. شکل ۲ روند تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک را تحت تاثیر سرعت برای ۳ بارهای عمودی مختلف نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۲ با افزایش سرعت پیش‌روی، جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد. با تحلیل آماری داده‌ها، نتایج نشان می‌دهند که تغییر سرعت روی تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک اثر معناداری در سطح ۰.۰۵٪ می‌گذارد.

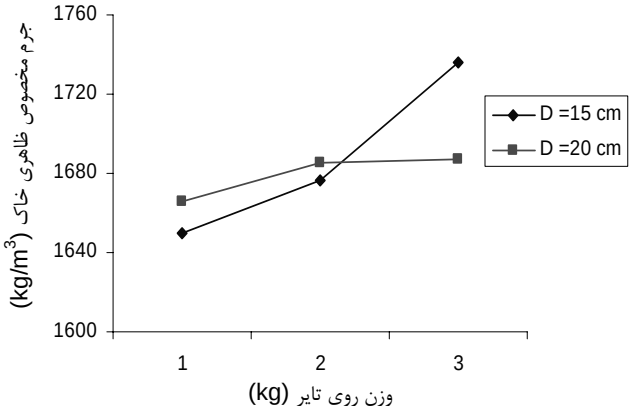


شکل۲- اثر سرعت روی جرم مخصوص ظاهری و فشردگی خاک

اثر افزایش عمق روی جرم مخصوص ظاهری و فشردگی خاک

با توجه به این مطلب که فشردگی در سطح خاک بیشتر تحت تاثیر عبور ادوات قرار می‌گیرد و فشردگی در لایه‌های زیرین خاک هم تحت تاثیر عبور ادوات و هم تحت تاثیر وزن خاک بالای آن قرار می‌گیرد. شکل ۳ نشان می‌دهد که جرم مخصوص ظاهری خاک در دو عمق نشان داده شده با افزایش بار عمودی افزایش می‌یابد. هم‌چنین در شکل ۳ مشاهده می-

شود که در اثر اعمال بارهای عمودی سطح ۱ و۲ (۹۰۰و ۱۰۵۰ kg)، جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری بیشتر از عمق ۱۵ سانتیمتری است ولی در اثر اعمال بار عمودی سطح ۳ (۱۲۰۰ kg)، جرم مخصوص ظاهری خاک برای عمق ۱۵ سانتیمتری بیشتر از عمق ۲۰ سانتیمتری می‌شود.



شکل۳- اثر افزایش عمق روی جرم مخصوص ظاهری و فشردگی خاک

همان‌طور که در بالا ذکر شد یکی از دلایل بیشتر بودن جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری نشست خاک به دلیل وزن خاک بالای آن در طول زمان بوده باشد و اثر اعمال بار روی هر دو عمق مشهود است. پس از اعمال بار سطح ۳ به دلیل وزن زیاد بار اعمالی روند تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک تغییر می‌کند و این بار فشردگی در سطح خاک بیشتر از فشردگی در لایه‌های زیرین است. در تحلیل آماری که روی اثر عمق بر جرم مخصوص ظاهری خاک انجام شد نتایج نشان دادند که بین اثر عمق و جرم مخصوص ظاهری خاک تغییرات معنا داری در سطح ۰.۰۵٪ وجود ندارد.

نتایج نشان می‌دهند که با افزایش بار عمودی روی تایر جرم مخصوص ظاهری خاک افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است جرم مخصوص ظاهری خاک پس از اعمال بار عمودی روی خاک توسط تایر افزایش خیلی زیادی نسبت به حالت قبل از فشرده‌شدن خاک دارد ولی افزایش جرم مخصوص ظاهری پس از اعمال بارهای عمودی ۱۰۵۰ و kg ۱۲۰۰ نسبت به اعمال بارهای عمودی ۹۰۰ کیلوگرم افزایش چندانی ندارد. این بدان معنی است که هرچه بار عمودی بیشتر شود فشردگی نیز زیاد می‌شود اما اگر تفاوت دو بار اعمالی عمودی در حد مشخصی نباشد، افزایش فشردگی چندانی در خاک نخواهیم داشت. پس می‌توان به این نتیجه رسید که سنگین کردن تراکتور در حد مشخصی برای خاک مشکل‌ساز نیست. یعنی در حالت عادی و استفاده از ادوات معمول کشور در فشردگی خاک مشکلی را ایجاد نمی‌کند و در تراکتور مسی‌فرگوسن در سنگین‌ترین حالت و سبک‌ترین حالت تفاوت محسوسی در فشردگی خاک وجود ندارد.

همچنین با افزایش سرعت پیش‌روی افزایش فشردگی و جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد. ولی در هنگام کار برای افزایش سرعت محدودیت‌هایی وجود دارد که ما نمی‌توانیم سرعت را زیاد افزایش دهیم. مثلا در هنگام شخم زمین افزایش زیاد سرعت باعث افزایش نیروی کششی شده و هم‌چنین خاک را زیاد پرتاب می‌کند و یا در هنگام عملیات سم-

پاشی سرعت تراکتور باید در حد مشخصی باشد تا مقدار مناسب سم روی گیاه بنشیند و موثر واقع شود. با توجه به مطالب ذکر شده باید در هنگام عملیات کشاورزی از سرعت بهینه استفاده کنیم تا فشردگی خاک به حداقل برسد.

فشردگی در سطح خاک بیشتر تحت تاثیر عبور ادوات قرار می‌گیرد و فشردگی در لایه‌های زیرین خاک هم تحت تاثیر عبور ادوات و هم تحت تاثیر وزن خاک بالای آن قرار می‌گیرد. در حالت کلی استفاده از تراکتور مسی‌فرگوسن تغییرمحسوسی در فشردگی خاک در دو عمق ۱۵ و ۲۰ (cm) ایجاد نمی‌کند.

تشکر و قدردانی

از جناب آقای دکتر گیوی به دلیل همکاری در تعیین خواص فیزیکی خاک قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Koolen, A.J. 1994. Mechanics of soil compaction. In Soil Compaction in Crop Production , ed. B.D. Soane and C. Van Ouwerkerk, 23-44. Amsterdam: Elsevier.
2. Venturini, W. S. 1983. Boundary Element Method in Geomechanics. New York: Springer-Verlag.
3. Abebe, A.T., Tanaka, T., Yamazaki, M., 1989. Soil compaction by multiple passes of rigid wheel relevant for optimization of traffic. J. Terramechanics 26, 139-148.
4. Adebiyi, O.A., Koike, M., Konaka, T., Yuzawa, S., Kuroishi, I., 1991. Compaction characteristics for the towed and driven conditions of a wheel operating in an agricultural soil. J. Terramechanics 28, 371-382.
5. Cearman, K., 1992. The investigation of effect on compaction of contact time in tire-soil interface. J. Agric. Faculty, University of Selceuk 2 (4), 49-58 (in Turkish).
6. Barnes, K.K., Taylor, H.M., Throckmorton, R.I., Vanderberg, G.E., Carleton, W.M., 1984. Compaction of Agricultural Soils.ASAE, St. Joseph, MI.
7. Bolling, I.H., 1986. How to predict soil compaction from agricultural tires. J. Terramechanics 22, 205-223.
8. Rusanov, V.A., 1991. Effects of wheel and track traffic on the soil and on crop growth and yield. Soil Till. Res. 19, 131-143.
9. Grahn, M., 1991. Prediction of sinkage and rolling resistance for off the road vehicles considering penetration velocity. J. Terramechanics 28, 339-347.
10. Gibas, D.M., R.L. Raper, A.C. Bailey, and C.E. Johnson. 1993. Cubical pneumatic cushion triaxial soil test unit. Transactions of the ASAE 36(6): 1547-1553.
11. Johnson, C.E., A.C. Bailey, and E. Cakir. 1992. Understanding soil response to multiple loading. ASAE Paper No. 92-1051. St. Joseph, Mich.: ASAE.
12. von Estorff, O., and E. Kausel. 1989. Coupling of boundary and finite elements for soil-structure interaction problems. Earthquake Engineering and Structural Dynamics 18: 1065-10.
13. Barone, L., 1990. Wheel traffic effect on soil compaction. In: Proceedings of the International Symposium on Mechanisation and Energy in Agriculture, Adana, Turkey, pp. 159-165.

14. Cearman, K., 1996. Prediction of penetration resistance, sinkage and bulk density in soil-tire interaction. In: Proceedings of the International Symposium on Mechanisation and Energy in Agriculture, Ankara, Turkey, pp. 417-423.
15. Rickman, J.F., Chanasyh, D.S., 1988. Traction effects on soil compaction. In: Proceedings of the Conference on Agricultural Engineering, Hawkesbury Agricultural College, pp. 103-108

Abstract
Wheel induced soil compaction is an ongoing concern in mechanized agriculture. This experimental study was performed with the aim to evaluate whether soil compaction is related to stresses induced by load and travel speed. The greater tire loads increased soil bulk density and then soil compaction. The effect of 900 kg load on tire was greater than 1050 and 1200kg loads. Increment of travel speed decreases the soil compaction. Experimental results show that the effects of variation of travel speed on soil bulk density was significant ($p<0.05$). Increasing the travel speed and decreasing the load on wheel makes less compaction in soil.

Keywords: soil bulk density, soil mechanical properties, travel speed, soil compaction, wheel vertical load