یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک
بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

بررسی اثر رطوبت، سرعت پیشروی، تعداد ضربات وارده به خاک بر روی مقاومت فروروی خاک در خاکورز ارتعاشی

محمد واعظی زاده[1] کاظم جعفری نعیمی[2]، محمد مهدی مهارلویی[3]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، waezi_zadeh@yahoo.com
۲. استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، jafarinaeimi@uk.ac.ir
۳. استادیار گروه مهندس بیوسیستم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، maharlooei@uk.ac.ir

چکیده

تراکم خاک سبب افزایش چگالی ظاهری خاک و کاهش حجم منافذ، کاهش نفوذپذیری آبی و هوایی ، افزایش مقاومت مکانیکی و تغییر در پیکره آن می‌شود. عواملی مانند شرایط خاک، میزان تردد وسایل کشاورزی، نحوه آبیاری و غیره سبب افزایش تراکم و تشکیل لایه سخت می شود لذا برای رشد بیشتر محصول و نفوذ به لایه های زیرین لازم است که این لایه سخت خاک شکسته شود. یک دستگاه خاکورز عمیق کار با یک عامل ارتعاش دهنده طراحی و جهت تست دستگاه، مقاومت فروروی خاک در دو سطح رطوبتی ۸٪ (خاک خشک) و ۱۶٪ (خاک مرطوب) و در سه سطح سرعت پیشروی ۲، ۳/۵ و ۵ کیلومتر بر ساعت و سه سطح تعداد ضربات وارده بر خاک ۱۰۰۰، ۵۴۰ بار بر دقیقه و بدون ضربه زدن و چهار سطح عمق کاری دستگاه ۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰ و ۸۰-۶۰ سانتی متر اندازه گیری گردید. نتایج حاصله و جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر عوامل سرعت پیشروی، رطوبت خاک، تعداد ضربات وارده و عمق کار در سطح معنی دار ۵ درصد معنی دار بودند. بررسی نتایج بدست آمده در اندازه گیری مقاومت فروروی در شرایط مختلف نشان داد که کمترین مقاومت در خاک خشک و در سرعت پیشروی ۲ کیلومتر در ساعت و با وارد کردن ۱۰۰۰ ضربه بر دقیقه بدست آمد و بدترین نتایج در خاک مرطوب حاصل گردید.

واژگان کلیدی: مقاومت فروروی، پنترولاگر، تراکم خاک، زیرشکن ، خاکورزی

Investigation the effects of moisture content, Speed, and number of impacts on penetration resistance of soil by vibration tillage

Mohammad Vaezi Zadeh [1], Kazem Jafari Naeimi[2], Mohammad Mahdi Maharlooei[3]

1. Biosystem Engineering Department, M.Sc. student, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran, waezi_zadeh@yahoo.com
2. Biosystem Engineering Department, Assistant Professor, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran, jafarinaeimi@uk.ac.ir
3. Electrical Engineering Department, Assistant Professor, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman Iran, **maharlooei@uk.ac.ir**

Abstract

Soil compaction increases the apparent density of soil, decreases the volume of pore, and reduces water and air permeability, increases mechanical strength, and changes in its structure. The factors such as soil conditions, the amount of traffic in agricultural equipment, irrigation, etc., increased the soil density. A machine was designed with a vibrational agent, and the penetration resistance was measured at 2 moisture content levels 8% (as dry) and 16% (as wet), 3 speed levels 2, 3.5 and 5 km/hr, 3 number of impacts on the soil levels at 1000, 540 and 0 times per minute, and 4 levels of depths at 0-20, 40-20, 60-40, and 80-60 cm. The results the analysis of variance shown that the effect of speed, soil moisture, number of impacts and depth were significant at 5% level. The results show that the dry soil, 2 km/hr speed and 1000 r.p.m had lowest penetration resistance and the highest penetration resistant was in wet soil.

Keywords: Penetration resistance, penetro logger, compact soil, subsoiler, tillage

[1] محمد واعظی زاده ، کرمان، خ شیخ احمد کافی جنوبی ۱۴ سمت راست درب ۱۷، ۰۹۱۳۸۴۴۷۷۴۷

۱- مقدمه

تراکم خاک به فرایندی گفته می‌شود که سبب افزایش چگالی ظاهری خاک شده و موجب کاهش حجم و پیوستگی منافذ، کاهش نفوذپذیری آبی و هوایی خاک، افزایش مقاومت مکانیکی خاک و تغییر در پیکره خاک می‌شود. تراکم خاک می‌تواند در اثر: ۱) ویژگی‌های ذاتی مربوط به پیدایش و تکامل 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 موضعی و تراکم طبیعی و مجدد خاک در طول فصل زراعی و ۵) عبور تراکتور و سایر ماشین‌های کشاورزی روی و یا در خاک به ویژه در حالتی که مقاومت مکانیکی خاک به علت زیادبودن مقدار رطوبت خاک کم بوده و امکان صدمه به ساختمان خاک وجود دارد، ایجاد شود (Soil Science Society of America, 1996; Cameron, 2002)

با پیشرفت و توسعه تکنولوژی در سالهای اخیر،کشاورزان به استفاده مفیدتر از نیروی کارگری، کاهش هزینه های تولید در هکتار و افزایش ظرفیت کاری ادوات ترغیب شده اند .افزایش ظرفیت ماشینهای کشاورزی، اگر چه مزیتهایی را به دنبال داشته است اما باعث فشردگی و افزایش گسترده تراکم خاک شده است(درویش پسند و همکاران، ۱۳۹۲) .همین موضوع سبب شده که تراکم به یک مشکل جهانی تبدیل شود و بسیاری از اراضی دنیا را در برگیرد، با توجه به این مسئله شناخت و آگاهی بر روی عوامل افزایش دهندهٔ تراکم از اهمیت بالایی برخوردار است (Alakukku, 1996) . تراکم خاک، اثرات منفی بر روی کیفیت خاک و تولید محصول دارد و باعث کاهش خلل و فرج خاک، کاهش سرعت نفوذ آب در خاک، کاهش نفوذ میزان آب به منطقه ریشه در خاک، اشباع شدن سطح خاک و فرسایش خاک، کاهش توانایی خاک برای نگهداری آب و هوا، کاهش رشد ریشه گیاه وکاهش پتانسیل عملکرد محصول می شود. (McKenzie, 2010) همچنین تراکم خاک به عواملی چون میزان تراکم، نوع خاک، وضعیت رطوبت و سیستم زراعی بستگی دارد(Radford et al., 2000; Sillon et al., 2003; Green et al., 2003; Tarawally et al., 2004)

وقتی خاک متراکم می‌شود، تغییراتی در خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک، مثل ساختمان، حجم، اندازه و پیوستگی منافذ، قوام خاک (چسبندگی و دگر چسبی) به وجود می‌آید که نقش مهمی را در توسعه و رشد ریشه گیاهان بازی می‌کنند. تراکم خاک باعث تخریب ساختمان خاک، کاهش نفوذ پذیری آب و هوا و بالاخره کاهش عملکرد زراعی می‌گردد (McKenzie, 2010).

برای بر طرف کردن معضلات ناشی از فشردگی خاک، یکی از روشهای ممکن، استفاده از چیزل ها و زیر شکنهاست. حرکت زیر شکن در عمق موجب می شود که لایه متراکم گسیخته و شرایط فیزیکی خاک بهبود نسبی پیدا کند، اما مقاومت کششی این نوع ادوات زیاد بوده و تراکتور برای تامین نیروی کششی در سطح تماس چرخ با خاک و با لغزش زیاد روبرو می شود که موجب کاهش بازده تبدیل انرژی می گردد. شکافتن خاک متراکم شده توسط یک عمیق‌کار مرسوم (زیرشکن) در عمق مورد نظر، نیازمند نیروی کششی بالا وهمچنین باعث افزایش مصرف سوخت، افزایش استهلاک ابزار خاک‌ورز وتولید کلوخه‌های بزرگ می‌شود. همچنین در صورتی‌که ابزار خاک‌ورز عمقی (زیرشکن) زیر عمق بحرانی (عمقی که در زیر آن خاک به‌جای حرکت به بالا و کاهش در چگالی ظاهری آن، تمایل به حرکت به سمت جلو و کناره‌ها داشته و در نتیجه افزایش در حجم به‌هم خوردگی در خاک مشاهده نمی‌شود) کار کند، مقدار حجم به‌هم خوردشدگی آن ناچیز و عملیات خاک‌ورزی عمیق ناموثر می‌شود (Terzaghi & Peck, 1948) .

گادوین واسپور (۱۹۸۷) گزارش نمودند که اضافه کردن باله (wing) به ابزار عمیق‌کار و استفاده از ابزار سطحی‌کار (Shallow leading tine) در جلوی ابزار خاک‌ورز عمیق‌کار (زیرشکن) می‌تواند منجر به افزایش حجم به‌هم‌خوردگی و آرایش موثرتر قطعات خاک در عمق، کاهش مقاومت ویژه و افزایش عمق بحرانی ابزار عمیق‌کار گردد. استفاده از ارتعاش در عملیات خاکورزی سبب تجزیه و خرد شدن بهتر خاک می گردد و در نتیجه توان مصرفی نیز کاهش قابل توجهی پیدا می کند. از این رو برای کسب درجه خاصی از پودر ساز، انرژی ورودی کل در مقایسه با خاکورزی غیر ارتعاشی کوچکتر خواهد بود که سبب مینیمم شدن عملیات خاکورزی ثانویه می شود. گان و تیرامونتینی (۱۹۵۵) نشان دادند که مقاومت کششی گاو آهن چیزل از طریق اعمال ارتعاش کاهش یافت. کاهش مقاومت کششی در سرعتهای ارتعاشی کمتر از سرعت پیشرویی، کم بود. و با افزایش سرعت ارتعاش نسبت به سرعت پیشروی، میزان کاهش مقاومت کششی بسیار قابل توجه بود، آنها نشان دادند که اگرچه ارتعاش موجب کاهش معنی دار مقاومت کششی می شود. ولی کاهش زیادی در توان کل مورد نیاز را نیز شاهد هستیم.

عوامل مختلفی بر عملکرد زیرشکن ها موثر بوده و حصول بهره وری مطلوب، مستلزم در نظر گرفتن شرایط بهینه کار برای زیر شکن می باشد. درصد رطوبت خاک، سرعت پیشروی، عمق و عرض کار تیغه و نیز زاویه رویه عامل خاک ورز نسبت به محور افق در راستای حرکت (محور حمله)، از جمله عواملی است که بر عملکرد زیر شکن موثر است.(Terzaghi & Peck, 1948; Sakai et al., 1993)

سرعت پیشروی یکی از عوامل موثر بر افزایش مقاومت کششی زیرشکن ها می باشد. گزارش های متفاوتی از روند تغییرات مقاومت کششی با تغییر سرعت پیشروی ارائه شده است. این تغییرات ناشی از شرایط مختلف مزرعه آزمایشی و نوع وسیله خاک ورز متفاوت بوده است. آون (۱۹۸۹) افزایش مقاومت کششی ادوات خاک ورز را تابعی درجه دوم از افزایش سرعت پیشروی گزارش کرد، اما سامرز و همکاران (۱۹۸۶) رابطه فوق را خطی،

آنوالا و واترز (۱۹۹۸) تابع ترکیبی درجه اول و درجه دوم و اسمیت و ویلیفور (۱۹۸۸) این رابطه را معکوس گزارش کردند و در مواردی از اثر سرعت در تعیین مقاومت کششی زیرشکن صرفه نظر کردند.

انرژی مورد نیاز برای شکستن خاک به درجه پودر شدن مطلوب آن بستگی دارد .میزان انرژی مورد نیاز برای ایجاد درجه معینی از پودر شدن خاک، در درجه اول به مقاومت خاک و بازده بهره گیری از ابزار بستگی دارد .مقاومت خاک به نوع و شرایط فیزیکی آن مربوط می شود . خاکهای رسی نسبت به خاکهای شنی و لومی برای خرد شدن به انرژی بیشتری نیاز دارند. مقاومت خاکی که قبلا مرطوب شده است، با خشک شدن آن به طور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد (بخصوص خاکهای رسی و لوم رسی) بنابراین برای به حداقل رساندن انرژی مورد نیاز، عملیات خاکورزی بایستی در محتوای رطوبت مطلوب خاک صورت گیرد.(Kepner et al., 1978)

هدف از انجام این پژوهش طراحی و ساخت یک دستگاه زیر شکن نوسانی برای شکست لایه سخت زیر خاک برای افزایش خصوصیات فیزیکی خاک و بررسی تاثیر میزان رطوبت خاک، سرعت دورانی محور تواندهی و سرعت پیشروی بر روی مقاومت فروروی خاک مورد بررسی قرار گرفت.

۲.مواد و روشها

۲-۱-طراحی و ساخت واحد خاک‌ورز

برای دستیابی به یک سیستم ارتعاشی مناسب جهت شکستن لایه سخت و متراکم هاک یک عامل خاکورز طراحی گردید. این عامل خاکورز شامل یک شاسی برای اتصال دستگاه به اتصال سه نقطه تراکتور، میل بادامک و بادامکها برای ایجاد حرکت رفت و برگشت و در نتیجه ایجاد ارتعاش درخاک و تیغه پنجه غازی در انتهای عامل خاک ورز برای نفوذ بهتر عامل خاکورز در داخل خاک می باشد که هر قسمت جداگانه طراحی و با دقت بالا ماشینکاری گردید و مونتاژ شد. (شکل ۱) دستگاه به اتصال سه نقطه تراکتور رومانی موجود در بخش مهندسی مکانیک بیوسیستم متصل گردید و جهت انجام آزمایشات به مزرعه دانشگاه شهید باهنر کرمان منتقل گردید.(شکل ۲)

شکل۱- عامل خاکورز و نحوه چیدمان سوپاپ ها (عوامل ارتعاش دهنده) در آن

شکل ۲- تست دستگاه در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲-۲-مشخصات فیزیکی نمونه خاک

پژوهش در مرداد ۱۳۹۶ و در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان با ۵۶ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی، ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۱۷۵۳/۸ متر ارتفاع از سطح دریا، اجرا گردید وخصوصیات فیزیکی خاک مزرعه در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول۱: خصوصیات فیزیکی و بافت خاک در عمق های مختلف

عمق cm	رسی ٪	سیلت ٪	شن ٪	بافت خاک	چگالی ظاهری gr/cm^3
۰-۲۰	۳۰	۳۴	۳۶	لوم-رسی	۱/۴۵
۲۰-۴۰	۳۱	۴۱	۲۸	لوم-رسی	۱/۴
۴۰-۶۰	۳۱	۲۵	۴۴	لوم-رسی	۱/۴
۶۰-۸۰	۳۲	۳۰	۳۸	لوم-رسی	۱/۳۵
میانگین	۳۱	۳۲/۵	۳۶/۵	لوم - رسی	۱/۴

۲-۳- رطوبت خاک

روش اندازه‌گیری محتوای رطوبت در این تحقیق بر اساس روش خشک کردن نمونه‌ها انجام گردید. نمونه‌برداری در هر کرتی توسط استوانه نمونه‌برداری با مشخصات قطر وارتفاع استوانه به ترتیب ۵۲ و ۵۰ میلی‌متر و چکش انجام گرفت.. نمونه‌ی خاک تهیه گردیده در زمین با استفاده از ترازوی دیجیتال، وزن شده و در نهایت با استفاده از کیسه پلاستیکی به آزمایشگاه منتقل گردید. نمونه‌ها پس از خشک شدن به مدت ۲۴ ساعت در آون، ۱۰۴ درجه سانتی‌گراد وزن شدند و درصد رطوبت وزنی خاک از رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$MC\% = \frac{Ww - Wd}{Wd} \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن MC رطوبت خاک برمبنای وزن خشک (درصد)، W_w: وزن نمونه خاک مرطوب (گرم) و W_d: وزن نمونه خاک خشک شده (گرم) می باشد.

۲-۴-کرت‌بندی مزرعه

مزرعه آزمایشی بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو سطح رطوبتی (خاک خشک (رطوبت ۸٪ بر پایه وزن تر) و خاک مرطوب یا گاورو (رطوبت ۲۴٪ بر اساس وزن تر))، به دو بلوک و هر بلوک به سه قطعه مساوی و هر قطعه به دو کرت تقسیم گردید. هر کرت با عرض ۶ متر و طول ۵۰ متر برای عبور تراکتور با ابزارهای خاک ورز تخصیص داده شد. به منظور دور زدن و مانور تراکتور، فاصله ۸ متری بین بلوک‌ها قرار داده شد. نحوه اجرای تیمارها در کرت‌ها به صورت تصادفی و با استفاده از جدول اعداد تصادفی صورت گرفت (شکل ۳). برای مشاهده تأثیر عامل ارتعاش، ۶ کرت به عنوان تیمارهای شاهد طبق شکل ۴ در نظر گرفته شد و نتایج حاصله آن با تیمارهای اصلی مقایسه می شود.

شکل ۳: تفکیک مزرعه بر اساس طرح فاکتوریل با بلوک کامل تصادفی

شکل ۴: تفکیک مزرعه برای تیمارهای شاهد

۲-۵-مقاومت فروروی خاک

اندازه گیری مقاومت فروروی خاک، توسط دستگاه فروسنج مخروطی (پنترولاگر) مدل Eijkelkamp ساخت کشور هلند انجام گردید.(شکل ۳-۷) دستگاه مذکور از جدیدترین مدل های اندازه گیری شاخص مخروطی خاک است. در این دستگاه از چهار نوع مخروط در شرایط مختلف برای تشخیص میزان نفوذپذیری خاک استفاده می‌شود. زاویهٔ راس این مخروطها ۶۰ درجه بوده و سطح مقطع آنها از یک تا چهار سانتی متر مربع تغییر میکند. در انتهای دیگر میله، کرنش سنج **S** شکل قرار دارد. بالای این کرنش سنج نیز دیتالاگری قرار گرفته که ثبت، ذخیره و تحلیل داده‌های کرنش سنج را بر عهده دارد. اصول کاری نفوذسنج های مخروطی به این صورت است که، مقاومت نفوذی و فشردگی خاک را با توجه به مقدار نیروی لازم برای نفوذ مخروطی با ابعاد مشخص در خاک محاسبه می‌کنند.

۲-۶- تجزیه و تحلیل آماری

به‌منظور بررسی اثر عوامل آزمایشی بر مقاومت فروروی در قالب فاکتوریل با طرح پایه بلوک کامل تصادفی انجام گرفت. در صورت معنی‌دار بودن اثر هر عامل و بر هم‌کنش آن‌ها، میانگین آن‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد با هم مقایسه شدند.

یکی از کارهای رایج در تحلیل داده‌ها این است که محققان و دانشجویان ابتدا تجزیه واریانس انجام می‌دهند و در صورتی که اثر متقابل معنی‌دار باشد، ترکیبات تیماری (مثلا ترکیبات تیماری ناشی از سطوح A و B) را مقایسه میانگین می‌کنند و در صورتی که اثر متقابل معنی‌دار نباشد به مقایسه میانگین سطوح فاکتورهای اصلی (سطوح A با یکدیگر و سطوح B با یکدیگر) اکتفا می‌شود. در مورد اخیر، باید خاطرنشان شود که فقط در صورتی که تقسیم درجه آزادی فاکتورهای اصلی امکان‌پذیر نباشد و یا از سطوح کمی تشکیل نشده باشد، می‌توان از روش‌های مقایسه میانگین برای مقایسه سطوح A و B استفاده کرد. در آزمایش‌های فاکتوریل، در مقایسه سطوح A (که در سطوح مختلف B میانگین آن‌ها گرفته شده است) و نیز سطوح B، فرض بر آن است که که اثر متقابل A×B معنی‌دار نباشد. اگر اثر متقابل معنی‌دار باشد، بدین معناست که اختلاف بین سطوح A به این که سطوحB چه باشد، بستگی دارد. بنابراین مقایسه سطوح A که در سطوح مختلف B میانگین آن‌ها گرفته شده است، بی‌معنی خواهد بود. در عوض، باید سطوح A در هر سطح B جداگانه مقایسه شوند و یا بالعکس. برای مقایسه میانگین برهم‌کنش عامل‌ها نیز از نرم‌افزار Minitab استفاده شد.

۳-نتایج و بحث

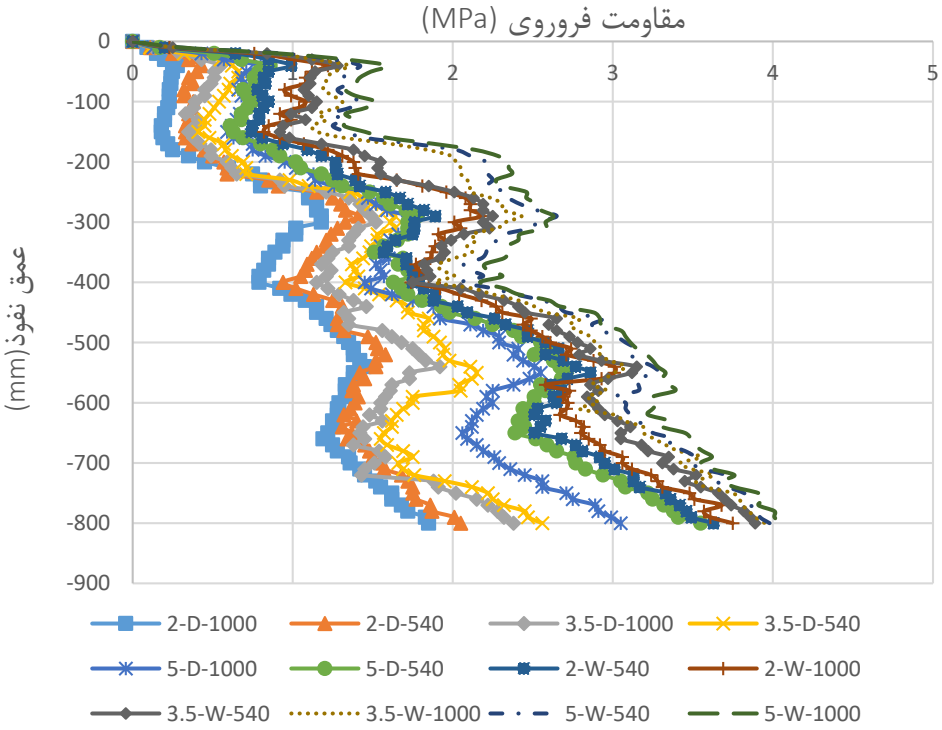
حداکثر عمق کاری ماشین آلات و ابزارهای خاک ورزی اولیه و ثانویه متداول حدود ۴۰ سانتی متر بنابراین لایه های خاک در اعماق بیشتر به علت آبیاری، تردد زیاد ماشین های کشاورزی بر روی خاک و عوامل مختلف سبب افزایش تراکم در لایه های زیری و تشکیل لایه سخت خاک می شود که این لایه مانع از نفوذ ریشه به اعماق خاک و همچنین عدم نفوذ آب و اکسیژن کافی به لایه های زیرین می شود بنابراین طراحی عامل خاک ورز جدید، عمق ابزار خاکورز ۹۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد که بتواند به لایه های سخت تشکیل شده در اعماق زیاد نفوذ کند و لایه های سخت خاک را بشکافد. شکل ۵ نمودار میزان مقاومت فروروی خاک با افزایش عمق را در تیمارهای مختلف نشان می دهد. با افزایش عمق به دلیل افزایش تراکم خاک و سخت تر شدن خاک، مقاومت فروروی (Penetration Resistance) افزایش می یابد.

نیروی دورانی تولید شده توسط محور تواندهی از طریق یک چهار شاخ کاردان به عامل ارتعاش دهنده تعبیه شده در سیستم زیرشکن منتقل می شود و نیروی دورانی به نیروی رفت و برگشتی تبدیل می شود. پس از نفوذ عامل خاکورز ، برای جلوگیری از تاثیر سرعت پیشروی بر روی سرعت دورانی محور تواندهی از وضعیت موتور گرد استفاده می گردد. ضربات پی در پی با فراکانس های مختلف ۵۴۰ و ۱۰۰۰ بار در دقیقه زمانیکه توسط

عامل خاکورز بر ذرات و کلوخه های خاک در اعماق مختلف وارد می شود بسته به میزان تراکم و سختی خاک شکسته می شوند و هرچه رطوبت خاک کمتر باشد کلوخه ها و لایه های سخت در اثر برخورد عامل ارتعاش دهنده بیشتر خرد شده و به ذرات ریز تری تبدیل می شوند و این باعث از هم گسیختگی لایه های خاک و باز شدن آنها از یکدیگر و در نتیجه کاهش مقاومت فروروی خاک می شود بنابراین همانطور که نمودار نشان می دهد مقاومت فروروی خاک خشک کمتر از خاک مرطوب است.

مقاومت فروروی خاک در برخی از نقاط کاهش پیدا می کند و دوباره افزایش می یابد و این نقاط، محل قرارگیری سوپاپ هاست و این نشان می دهد در نقاطی که به خاک ضربه وارد می شود مقاومت فروروی خاک کاهش پیدا می کند و هرچه تعداد ضربات وارده بیشتر باشد خاک بیشتر شکسته می شود و در نتیجه مقاومت فروروی کاهش می یابد. ولی در حالتیکه به خاک ضربه وارد نمی شود و عامل ارتعاش دهنده در خاک کار نمی کند و ماشین طراحی شده مانند یک زیرشکن عمیق کار معمول کار می کند و چون میزان نیروی وارده به خاک یکنواخت است ذرات خاک به صورت یکنواخت شکسته می شوند بنابراین نمودار به صورت نسبتاً خطی و یکنواخت افزایش می یابد.

همانطور که نمودار نشان می دهد با افزایش سرعت پیشروی ، میزان مقاومت فروروی افزایش پیدا می کند ولی میزان مقاومت فروروی در خاکی که با سرعت ۱۰۰۰ بار در دقیقه به آن ضربه وارد کرده ایم کمتر از حالتی است که عامل ارتعاش دهنده با سرعت ۵۴۰ بار در دقیقه به خاک ضربه وارد می کند و این نیز به دلیل این است که تعداد ضربات وارده در حالت اول تقریباً دو برابر حالت دوم است و در نتیجه خاک به ذرات ریزتری تبدیل می شوند و مقاومت خاک نسبت به نفوذ کاهش پیدا می کند. در حالیکه مقاومت فروروی خاک خشک زمانیکه عامل ارتعاش دهنده در خاک کار نمی کند مخصوصاً در اعماق زیادتر بشدت افزایش می یابد و این به دلیل این است که در خاک فقط یک شکاف ایجاد می شود و خاک خرد نمی شود.



شکل ۵- نمودار مقاومت فروروی در عمق های مختلف و در شرایط کاری مختلف عامل خاک ورز

با افزایش رطوبت مقاومت فروروی افزایش می یابد و در نتیجه مقاومت فروروی در خاک خشک در تمامی حالتها (۱۰۰۰، ۵۴۰ ضربه در دقیقه و بدون ضربه زدن) کمتر از مقاومت فروروی در خاک مرطوب است. بطوریکه کمترین مقاومت در خاک خشک با تعداد ضربه ۱۰۰۰ بار در دقیقه و بیشترین آنرا در مقاومت فروروی در خاک مرطوب با تعداد ضربه ۱۰۰۰ بار در دقیقه را داریم .

۳-۱-تجزیه واریانس

جهت بررسی اثر هر کدام از عوامل سرعت پیشروی (۲، ۳/۵ و ۵ کیلومتر بر ساعت)، تعداد ضربات وارده به خاک (۱۰۰۰، ۵۴۰ و صفر)، رطوبت خاک (خاک خشک (رطوبت ۸٪ بر اساس وزن تر)، خاک مرطوب یا گاورو (رطوبت ۱۶٪ بر اساس وزن تر)) و عمق کار زیرشکن (۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰ و ۸۰-۶۰ سانتی متر) بر مقاومت فروروی خاک و بررسی اینکه کدام یک از عوامل در کاهش مقاومت مؤثر است تجزیه واریانس را برای طرح فاکتوریل با بلوک های کاملاً تصادفی توسط نرم افزار Minitab صورت گرفت و نتایج بدست آمده در جدول ۲ نشان داده شده است.

مطابق جدول تجزیه واریانس اثر سرعت پیشروی، رطوبت، عمق و تعداد ضربات وارده به خاک بر مقاومت فروروی خاک معنی دار شد . با افزایش سرعت پیشروی از ۲ به ۳/۵ و از ۳/۵ به ۵ در خاک خشک در شرایطی که به خاک ۱۰۰۰ بار در دقیقه ضربه وارد می کنیم، میانگین مقاومت فروروی به ترتیب ۲۷٪ و ۳۷٪ بطور معنی داری افزایش پیدا کرده است.

همچنین میانگین مقاومت فروروی در خاک خشک زمانیکه به خاک ۵۴۰ بار در دقیقه ضربه وارد می کنیم، با افزایش سرعت پیشروی از ۲ به ۳/۵ و از ۳/۵ به ۵ به ترتیب ۲۷ و ۳۲ درصد به طور معنی دار افزایش می یابد و درصد افزایش میانگین مقاومت فروروی در شرایط یکسان ولی زمانیکه به خاک ضربه نمی زنیم به ترتیب در سرعت پیشروی ۲ تا ۳/۵ و ۳/۵ تا ۵، ۶ و ۵/۵ درصد بطور معنی دار افزایش می یابد.

مطابق جدول تجزیه واریانس اثر هر کدام از عوامل سرعت پیشروی، رطوبت، تعداد ضربات و عمق به طور جداگانه در سطح ۵ درصد معنی دار است. و اثر متقابل سرعت پیشروی در تعداد ضربات، رطوبت و تعداد ضربات، عمق کاری و تعداد ضربات و رطوبت و عمق کار معنی دار است. اثر متقابل سرعت پیشروی و رطوبت، سرعت پیشروی و عمق و اثر متقابل سه گانه سرعت و تعداد ضربات و رطوبت، سرعت پیشروی و تعداد ضربات و عمق کار، سرعت پیشروی و رطوبت و عمق کار و در نهایت تعداد ضربات و رطوبت و عمق کار همگی در سطح ۵ درصد معنی دار نیستند.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) میزان مقاومت فروروی خاک

ردیف	منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F-value
۱	سرعت پیشروی	۲	۱/۳۹۲۵	**۲۲۳/۲۶
۲	تعداد ضربات وارده به خاک	۲	۰/۵۷۰۴	**۹۱/۴۵
۳	رطوبت خاک	۱	۹/۷۳۱۴	**۱۵۶۰/۲۶
۴	عمق کار	۳	۱۶/۵۵۰۳	**۲۶۵۳/۵۵
۵	سرعت پیشروی× تعداد ضربات وارده	۴	۰/۱۳۵۸	**۲۱/۷۸
۶	سرعت پیشروی × رطوبت خاک	۲	۰/۰۴۹۱	ns۷/۸۸
۷	سرعت پیشروی × عمق کار	۶	۰/۰۳۱۷	ns۵/۰۸
۸	تعداد ضربات وارده× رطوبت خاک	۲	۰/۹۲۰۸	**۱۴۷/۶۳
۹	تعداد ضربات وارده× عمق کار	۶	۰/۴۱۳۳	**۶۶/۲۷
۱۰	رطوبت خاک× عمق کار	۳	۰/۳۱۱۳	**۴۹/۹۲
۱۱	سرعت پیشروی×تعداد ضربات وارده×رطوبت	۴	۰/۰۰۵۹	ns۰/۹۴
۱۲	سرعت پیشروی× تعداد ضربات وارده× عمق کار	۱۲	۰/۰۰۴۹	ns۰/۷۹
۱۳	سرعت پیشروی× رطوبت× عمق کار	۶	۰/۰۳۶۳	ns۵/۸۲
۱۴	تعداد ضربات وارده×رطوبت× عمق کار	۶	۰/۰۱۷۵	ns۲/۸۱
۱۵	خطا	۱۲	۰/۰۰۶۲	
۱۶	کل	۷۱		

** بیان‌گر اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

ns نشان دهنده فاقد اختلاف معنی‌دار است.

۴-منابع

درویش پسند، ز.، صیاد، غ.ع.، شریعتی، م. و منصوری، ی.. (۱۳۹۲). اثر تردد ماشین آلات کشاورزی بر ویژگیهای متوسط و درشت هدایت کننده آب در خاک با استفاده از نفوذسنج صفحهای .*نشریه پژوهشهای آب و خاک، ۲۰(۵)*، ۲۲۰-۲۰۷.

Alakukku, L., (1996). Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. I. Short-term effects on the properties of clay and organic soils.. *Soil and Tillage Research*, 37, 211–222.

Cameron, D. A., (2002). Soil Compaction A Review of its Origin and Characteristics. *Ministry of Agriculture*, Issue 613.

Godwin, R. J., (2007). A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. *Soil Tillage Research*, 97, 331-340.

Green, T.R. Ahuja, L.R. and Benjamin, J.G, (2003). Advances and challenges in redicting agricultural management effects on soil hydraulic properties. *Geoderma*, 116, 3–27.

Gunn, J.T., tramontini, V.N., (1955). Oscillation of tillage implements. *Agriculture enginnering*, 36, 725-729.

Kepner, R. A., Bainer, R. , Barger, E. L., (1978). *Principles of Farm Machinery. 3rd Ed.* s.l.:The AVI Publishing Co., Inc..

McKenzie, R. H., (2010). Agricultural Soil Compaction: Causes and Management.. *Agriculture Research Division.*, 510(1).

Onwualu, A. P., Watts , K. C., (1998). Draught and vertical forces obtained from dynamic soil cutting by plane tillage tools. *Soil and Tillage Research*, 48, 239-253.

Owen, G. T., (1989). Force-depth relationships in a pedogenetically compacted clay loam soil. *Applied Enginnering in Agriculture*, 5(2), 185-191.

Radford, B.J., Bridge, B.J., Davis, R.J., Mcgarry, D., Pillai, U.P., Rickman, J.F., Walsh, P.A.,Yule, D.F, (2000). Changes in the properties of a vertisol and responses of wheat after compaction with harvester traffic. *Soil Till,Res*, 54, 155–170.

Sakai, K., Hata , S. I., Takaj , M., Nambu , S., (1993). Design parameters of four shank vibrating subsoiler. *Transactions of the ASAE*, 36(1), 23-26.

Sillon, J.F. Richard, G.,Cousin, I., (2003). Tillage and traffic effects on soil hydraulic properties and evaporation.. *Geoderma*, 116, 29–46.

Simth, L. A. , Williford, J. R. R., (1988). Power requirements of conventional,triplex, and parabolic subsoilers. *Transactions of the ASAE*, 31, 1685–1688.

Soil Science Society of America, (1996). *Glossary of Soil Science*, WI, USA.: Madison.

Summers, J. D., . Khalilian, A, . Batchelder ,D. G, (1986). Draft relationships for primary tillage in Oklahama soils. *Trans. of the ASAE*, 29(1), 37-39.

Tarawally, M.A., Medina, H., Frometa, M.E. , Itza, C.A, (2004). Field compaction at different soil-water status: effects on pore size distribution and soil water characteristics of a Rhodic Ferrasol in Western Cuba. *Soil Till, Res*, 76, 95–103.

Terzaghi, K., Peck, R. B., (1948). Soil mechanics in engineering practice. New York : JOHN WILEY & SONS, Inc..