بررسی اثر محتوای رطوبت خاک بر عملکرد کششی تراکتور

مرید گوران اوریمی[1]، علیرضا کیهانی[2]، رضا علیمردانی[2]

1و 2- به ترتیب فارغ التحصیل کارشناسی ارشد و استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران

آدرس پست الکترونیکی مکاتبه کننده: morid.gouran@gmail.com

چکیده

یکی از مهمترین مباحث مربوط به مفاهیم عملکردی تراکتور، کشش تراکتور و میزان لغزش چرخ محرک آن است که تأثیر بسیار زیادی در میزان عملکرد، مصرف انرژی و ظرفیت کاری تراکتور دارد. از آن جا که رطوبت خاک بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک و در نتیجه بر نیروی کششی و لغزش اثرگذار است، در این تحقیق به بررسی اثر رطوبت بر عملکرد کششی تراکتور در شرایط مزرعه ای پرداختیم. آزمایش‌ها با استفاده از یک دستگاه تراکتور چهار چرخ محرک و یک دیسک آفست کشیدنی برای اعمال نیروی کششی در سه عمق 10، 15 و 20 سانتیمتر، در چهار سطح رطوبت خاک با میانگین های 8/13، 10/44، 13/46 و 18/18 درصد و در هر رطوبت با گاز ثابت تراکتور و 4 دنده مختلف در خاک لومی رسی مزرعه تحقیقاتی گروه مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه تهران در پاییز 1390 صورت پذیرفت. با استفاده از داده‌های به دست آمده مشخص گردید تأثیر رطوبت بر میزان عملکرد کششی تراکتور معنی دار است. همین طور رفتار لغزش نسبت به سرعت-ها و نیروهای کششی متفاوت در هر محتوای رطوبت خاک مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت . و در نهایت با استفاده از داده-های به دست آمده از آزمایش ها و برازش چند متغیره خطی در نرم افزار MATLAB مدلی برای پیش بینی لغزش در تراکتور با استفاده از متغیرهای مستقل رطوبت خاک، نیروی کششی و سرعت، با ضریب تعیین 0/824 به دست آمد.

کلمات کلیدی: سرعت تراکتور، لغزش، محتوای رطوبت خاک، مکانیک عملکرد تراکتور، نیروی کششی.

مقدمه

بسیاری از عملیات های مربوط به کشاورزی با استفاده از تراکتور انجام می شود. از تراکتورها برای تأمین نیروی کششی ادوات و همین طور حمل و نقل استفاده می گردد. در چند دهه‌ی اخیر اندازه‌ی تراکتورها به طور پیوسته افزایش یافته است [Wulfsohn et al., 1988]. بیشتر ادوات کشاورزی با خاک در تماس هستند و برای انجام کار خود به انرژی کششی نیاز دارند . این انرژی به مقدار بسیار زیادی به میزان رطوبت خاک وابسته است . این انرژی توسط تراکتورهای مزرعه تأمین می شود و با توجه به مهم بودن نقش تراکتورها در تأمین این انرژی و به تبع آن مصرف انرژی خود تراکتورها، بررسی و دست یابی به راه‌کارهای بهینه شدن مصرف انرژی از بحث های روز دنیاست. با توجه به این موضوع نخستین عاملی که در مورد کارایی تراکتور اندازه گیری می‌شود توانایی تراکتور در کشیدن انواع مختلف ادوات در میزان لغزش مطلوب می باشد [Barger, 1979]. تولید کشش مالبندی توسط چرخی که روی سطح زمین به حرکت در آمده است، به یک حرکت نسبی در سطح تماس چرخ با زمین می انجامد . این امر، موجب کاهش حرکت پیشروی چرخ‌ها نسبت به مقدار ایده آل آن‌ها می‌گردد و به طور معمول با عنوان لغزش چرخ یا لغزش شناخته می شود. در اندازه گیری‌های مربوط به پیش بینی عملکرد تراکتور، لغزش به تنهایی مهمترین پارامتر وابسته به حساب می آید [کیهانی و طباطبایی فر، 1385]. خصوصیات کششی یک خودروی چرخ دار

بسیار وابسته به اثرگذاری متقابل چرخ و زمین است . در نتیجه ضروری است که این کنش و واکن ش با دید دستیابی به بهترین استفاده ممکن از چرخ تحت شرایط داده شده مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد [Zebrowski, 2010]. خصوصیات خاک مزرعه یکی از مهم ترین عامل های مربوط به عملیات مزرعه و به تبع آن عملکرد تراکتورهاست [Koolen, 1987] . الولید و همکاران (2006) مطالعه‌ای را برای بررسی دقت معادلات ویسمر- لوییس و بریکسیوس در پیش بینی نسبت کشش خالص تایرهای آج بلند کشاورزی انجام دادند . آن‌ها در مجموع 126 آزمایش را با استفاده از یک دستگاه آزمون کشش تایر در فشارهای مختلف باد تایر و لغزش صفر تا 40 درصد و شرایط متفاوت دیگر انجام دادند. آن‌ها مدل لگاریتمی را مناسب تر از مدل غیر خطی ویسمر- لوییس برای پیش‌بینی نسبت گشتاوری تایر یافتند و در نهایت با استفاده از آزمایش‌ها، دو مدل را برای پیش‌بینی ضریب کشش خالص ارایه دادند [Elwaleed et al., 2006]. ساهو و راهمان (2008) با استفاده از داده‌های تجربی به دست آمده از مطالعات منتشر شده برای یک نوع تراکتور و چند نوع ادوات اقدام به طراحی یک سامانه تصمیم یا ر برای تطبیق پیش بینی عملکرد مزرعه ای سامانه های ادوات تراکتور کردند [Sahu & Raheman, 2008]. همین طور الحامد و الجنوبی (2001) یک برنامه بر ای پیش بینی عملکرد تراکتور نوشتند، این برنامه یک محیط کاربری متصل به پایگاه های داده از قبیل خصوصیات تراکتورها، اطلاعات تایرها، و ضرایب معادله کشش فراهم می کند که عملکرد یک تراکتور را پیش بینی می نماید [Al-Hamed & Al-Janobi, 2001]. کومار و پاندی (2009) نیز یک برنامه برای پیش بینی میزان کشش و عملکرد مزرعه ای تراکتورهای دو چرخ محرک در نرم افزار Visual Basic نوشتند که با استفاده از پایگاه داده ی خود و برخی از اطلاعات که از کاربر می گیرد می‌تواند میزان عملکرد مزرعه‌ای تراکتور و عامل‌های مربوط به آن را پیش‌بینی کند[Kumar & Pandey, 2009] .

نادری بلداجی و همکاران (1387) به بررسی معادلات بار دینامیکی و انتخاب معادله مناسب با اندازه گیری لغزش چرخ تراکتور پرداختند. آن‌ها به منظور انتخاب بهترین معادله جهت پیش بینی بار دینامیکی از معادله پیش بینی لغزش چرخ محرک توسط ASAE که یکی از عامل‌های موثر بر آن بار دینامیکی می باشد، استفاده کردند و مقادیر لغزش اندازه گیری شده را با مقادیر پیش بینی شده توسط چهار معادله ارایه شده به وسیله محققین پیشین را مقایسه کردند و بهترین معادله را انتخاب کردند [نادری بلداجی و همکاران، 1387]. گوران و کیهانی (1389) اقدام به مدلسازی یک رابطه خطی بین لغزش، سرعت تراکتور و محتوای رطوبت خاک نمودند . داده‌های آن‌ها در یک مزرعه تحقیقاتی و در پنج سطح رطوبتی بین 2/06 تا 18/06 درصد و 5 میانگین سرعت مختلف ثبت شدند و در نتایج خود رفتار لغزش را نسبت به سرعت در رط وبت‌های مختلف، متفاوت یافتند [گوران و کیهانی، 1389]. حاجی احمد و همکاران (1389) اقدام به استخراج مدلی بهینه برای پیش بینی مقاومت کششی ابزار خاک ورز بر اساس محتوای رطوبت خاک و جرم مخصوص ظاهری خاک نمود و این مدل را با آزمون فرم های مختلف معادله - های ریاضی، از جمله توابع چندجمله ای، لگاریتمی، نمایی، سینوسی و ... از طریق آنالیز رگرسیون دو متغیره صورت داد [حاجی احمد و همکاران، 1389]. از آن جا که پارامترهای لغزش و کشش از مهم ترین عامل های عملکردی تراکتور می‌باشند، با توجه به رطوبت خاک و سرعت تراکتور کمیت‌های مفیدی را جهت برنامه ریزی در زمینه مکانیزاسیون مزارع و مدیریت عملیات های مزرعه در اختیار می‌گذارند. در این پژوهش سعی بر آن شده است تا در شرایط ثابت مزرعه ای (بافت، ساختمان خاک و ...) با تغییر در رطوبت خاک، سرعت و نیروی کششی به بررسی رفتار هر یک از آن ها پرداخته شود تا بستری مناسب جهت تهیه مدل هایی برای تخمین دقیق آن ها فراهم آید. تعیین میزان لغزش و نیروی کششی به صورت دقیق نیاز به تجهیزات و مهارت دارد که در صورت تهیه مدل، کافی است برای تخمین دقیق آن ها به عنوان متغیر وابسته، به تعیین مقدار متغیرهای مستقل مدل مربوط ه پرداخت که بسیار ساده تر است.

مواد و روشها

آزمایش‌های مزرعه ای در زمین آزمایشی گروه مهندسی ماشین های کشاورزی دانشگاه تهران صورت پذیرفت . مساحت کل این زمین به طور تقریبی 1200 متر مربع است . قسمتی از این زمین که برای تحصیل داده های آزمایش‌ها انتخاب گردید و اندازه گیری ها در آن بخش انجام گرفت، مساحتی معادل 400 متر مربع (20×20) داشت و از بقیه زمین برای دور زدن تراکتور و وسیله خاک ورز، رسیدن تراکتور به سرعت ثابت، انجام تنظیمات، نشانه گذاری و بستن وسیله خاک ورز به تراکتور استفاده شد . بافت خاک زمین مورد آزمایش بلفتی لومی رسی با 28 درصد رس و 42 درصد سیلت و 30 درصد شن بود که از ترکیب دو روش الک و هیدرومتری به دست آمد و همین طور دارای 3 درصد ماده آلی بر طبق گزارش آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران بود. ظرفیت مزرعه خاک 13/02 درصد نسبت وزنی، حد انقباض 14/19 درصد، حد روانی 28/61 درصد نسبت وزنی و فاقد حد خمیری بودن از دیگر خصوصیات این خاک بوده است. همچنین رطوبت اپتیمم خاک 20/79 درصد نسبت وزنی بود و ضریب همچسبی آن برابر با 100/2 کیلوپاسکال و زاویه اصطکاک داخلی 5/89 درجه بود.

زمین بستر آزمایش پیش از انجام آزمایش ها به وسیله شخم و دیسک خاک ورزی شد و به این ترتیب تمامی آزمایش‌ها در شرایط خاک شخم خورده (به عنوان خاک سست) انجام گرفت. با توجه به منابع این بستر آزمایش سبب می شود داده های میزان لغزش که یکی از مهم ترین پارامترهای این تحقیق است از پراک ندگی بیشتری برخوردار شوند و روند تغییرات آن ها در نتایج بهتر نمود یابد. خاک ورزی انجام شده برای شخم تا عمق تقریباً 30 سانتی متر و برای دیسک تا عمق تقریباً 20 سانتی متر صورت پذیرفت . زمین بستر آزمایش دارای مقداری قلوه سنگ بود که به طور حتم نتایج آزمایش را تا حدی تحت تأثیر قرار داده است . برای دستیابی به رطوبت های مختلف از آبیاری زمین استفاده نگردید و با توجه به پیش بینی های هواشناسی و وضعیت آب و هوا و دما اقدام به انجام آزمایش‌ها شد، تا زمین رطوبتی یکنواخت داشته باشد . درصد وزنی رطوبت خاک بر پایه خاک خشک تعیین شد. برای تعیین سرعت تراکتور و لغزش فاصله 20 متر بر روی زمین نشانه گذاری گردید و داده های آزمایش در این فاصله اندازه‌گیری و ثبت شد و برای رسیدن به شرایط پایا 6 متر قبل و بعد از این مسافت آزاد گذاشته شد.

برای انجام آزمایش ها از یک تراکتور ITMCO 285 4WD استفاده گردید. تایر چرخ عقب مورد استفاده در آزمایش‌های انجام شده یک تایر بایاس (اریب) 12 لایه با اندازه 18.4/15-30 بود که تعداد 21 عدد آج داشت. با توجه به تعداد آج تایر فاصله زاویه‌ای دو آج متوالی برابر با 17/14 درجه است.

برای اعمال نیروی کششی در آزمایش ها از یک دیسک آفست کشیدنی مدل International 3-4 استفاده گردید. دیسک آفست مورد استفاده دارای دو گروه هشت تایی شامل دیسک های 60 سانتی متری کروی با لبه صاف بود که زاویه یک گروه با خط عمود بر مسیر حرکت 15+ درجه و زاویه گروه دیگر 15- درجه بود. با استفاده از بالا و پایین آوردن چرخ های دیسک سه عمق مختلف 10، 15 و 20 سانتی متری برای کار دیسک اعمال گردید تا سه نیروی کششی مختلف تأمین گردد.

برای اندازه گیری نیروی کششی از یک لودسل S شکل با ظرفیت 2000 کیلوگرم نیرو استفاده گردید که ولتاژ خروجی بسیار پایین آن با استفاده از یک مدار تقویت کننده عملیاتی تقویت شد و در نهایت به یک برد الکترونیکی سامانه تحصیل داده وارد گردید . این سامانه تحصیل داده با استفاده از یک کابل USB با کامپیوتر ارتباط برقرار می‌کند و اطلاعات ولتاژی آنالوگ را می تواند نمایش داده، ثبت و کنترل کند . لازم به ذکر است که تمامی بخش -

های گفته شده واسنجی گردیدند . نرم‌افزاری تحت زبان برنامه نویسی Visual C# 2010 برای تحصیل داده ها نوشته شد و از یک پایگاه داده طراحی شده در پایگاه داده Microsoft Access مرتبط با این برنامه برای ذخیره داده‌ها استفاده گردید. برای اندازه گیری لغزش تراکتور از فیلمبرداری از چرخ محرک استفاده شد که تعداد آج های رد شده در فیلم، میزان دور چرخ محرک عقب را با دقت 17/14 درجه اندازه گیری می‌کند. سرعت حرکت تراکتور با توجه به زمان مسافت طی شده مشخص محاسبه می‌گردد.

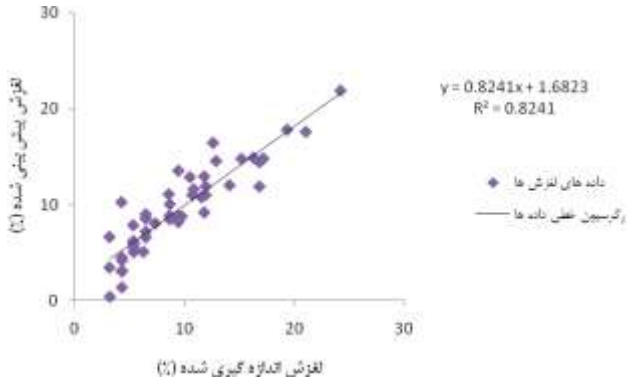
نتایج و بحث

رطوبت‌های به دست آمده برابر بود با 8/13، 10/44، 13/46 و 18/18 درصد بر پایه خاک خشک که آزمایش - های مربوط به حرکت تراکتور در زمین در این رطوبت‌ها صورت پذیرفت.

با استفاده از داده های به دست آمده مدل ساده و خطی نشان داده شده در معادله 1 برای بیان رابطه بین لغزش و نیروی کششی، رطوبت خاک و سرعت با ضریب تعیین 0/824 ارایه گردید:

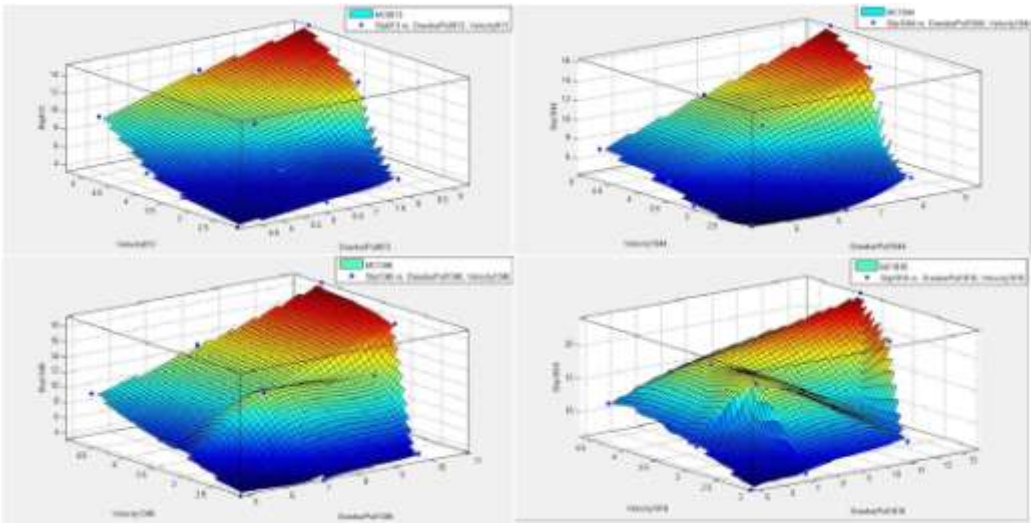
$$S = -13/1703 + 1/4117D + 0/3793W + 2/2882V \qquad (1)$$

که در آن S و W به ترتیب درصد لغزش و محتوای رطوبت خاک، V سرعت بر حسب کیلومتر بر ساعت، D نیروی کشش مالبندی بر حسب کیلو نیوتن هستند . مدل ارایه شده این حقیقت را بیان می کند که در مقیاس های گفته شده با توجه به دامنه تغییرات حدود 3/5 کیلومتر بر ساعت برای سرعت، 10 کیلو نیوتن برای نیروی کششی و 10 درصد برای رطوبت، تغییرات کشش بیشترین تأثیر را در تغییر لغزش دارد و پس از آن سرعت و رطوبت در جایگاه‌های بعدی قرار می گیرند. در ضمن ضرایب همه پارامترهای مستقل مثبت هستند و با افزایش هر یک از پارامترها، لغزش نیز افزایش پیدا می کند. با استفاده از مدل ارایه شده اقدام به پیش بینی لغزش با توجه به داده - های موجود شده است و در انتها میزان خطا (قدر مطلق فاصله مقادیر به دست آمده لغزش و مقادیر پیش بینی شده لغزش) به دست آمد . بیشینه خطا در مدل ارایه شده برابر با 5/974 و کمینه آن 0/028 است؛ میانگین مقدار خطاها 1/599 و انحراف از معیار آن‌ها برابر با 1/369 می‌باشد. شکل 1 مقادیر پیش بینی شده لغزش را در مقابل مقادیر اندازه گیری شده لغزش نشان می‌دهد.



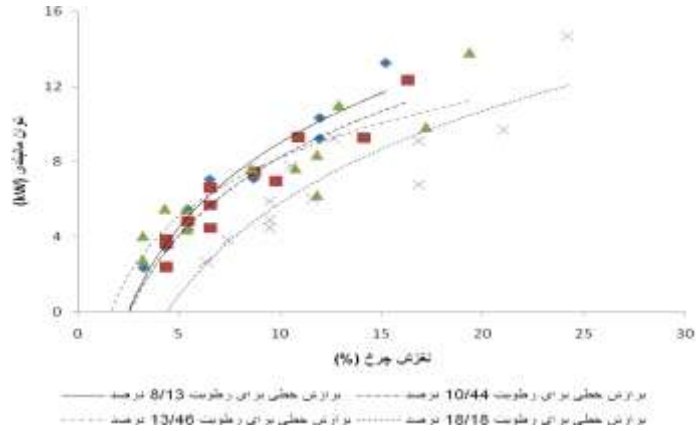
شکل 1. نمودار برازش مقادیر لغزش پیش بینی شده در مقابل لغزش اندازه گیری شده

همانطور که از نمودار مشخص است داده ها در دامنه لغزش بین 5 تا 15 درصد از تراکم بیشتری برخوردار هستند و بیشتر داده‌های به دست آمده از آزمایش در این دامنه لغزش قرار دارند.
نمودارهای حاصل از مدل سازی میان لغزش، سرعت و نیروی کششی در رطوبت های به ترتیب افزایش رطوبت از چپ به راست و از بالا تا پایین در شکل 2 آمده است.



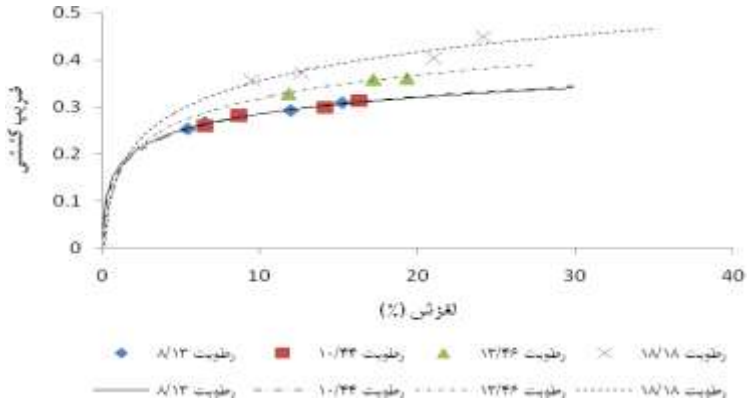
شکل 2. نمودار سه بعدی لغزش در برابر سرعت و نیروی کششی در رطوبت های مختلف

با توجه به مدلسازی در تیمارهای رطوبتی و ضرایب، مشاه ده گردید که هرچه رطوبت بالاتر می‌رود مدل‌ها دارای ضریب تعیین کمتری هستند و نیز میانگین جذر مربعات خطا بیشتر می شود. پراکندگی داده‌های اندازه گیری شده نیز زیاد می شود. همچنین با توجه به مدل ها اثر سرعت در دو رطوبت بالا بر روی مدل بیشتر از اثر آن در دو رطوبت پایین است. همین طور ضریب نیروی کششی تا رطوبت 13/46 درصد خاک روندی افزایشی دارد اما در رطوبت 18/18 درصد در حدود 0/24 (15 درصد) کاهش می یابد. با توجه به این نتایج به طور کلی می توان بیان کرد که با افزایش رطوبت لغزش بیشتر می شود و این موضوع می تواند به این علت باشد که با افزایش رطوبت میزان فشردگی خاک بیشتر می گردد و همین طور ذرات خاک بهتر بر روی هم می لغزند و چرخ محرک بکسوات بیشتری می کند زیرا خاک آن برای فشرده شدن به نیروی کمتری نیاز دارد . همچنین با بالا رفتن رطوبت نیروی کششی ابزار خاک ورز نیز بیشتر شده است و نیروی بیشتری برای برش خاک استفاده شده است . با توجه به این دو موضوع در کنار یکدیگر با بالاتر رفتن رطوبت از رطوبت 13 درصد این اثر فشردگی خاک بیشتر نمود پیدا می کند.
شکل 3 مقایسه مقدارهای مختلف توان مالبندی در مقابل لغزش را در رطوبت‌های مختلف نشان می‌دهد.
با توجه به نمودار با افزایش رطوبت برای رسیدن به یک توان مالبندی خاص می بایست لغزش بیشتری داشت و این امر موجب مصرف سوخت نیز می گردد. این افزایش لغزش در رطوبت 18/18 درصد بیشتر دیده می شود. افزایش لغزش سرعت را در دنده ثابت کم می کند و و این کاهش سرعت به خاطر افزایش رطوبت اثر بیتشری از افزایش نیرویی بر اثر رطوبت داشته و توان مالبندی در لغزش ثابت در مالبند کمتر بوده و می تواند به دلیل افزایش نیروی برشی خاک در رطوبت های بالا بلشد و بخشی از توان می‌بایست سبب غلبه بر این نیرو بشود که به صورت لغزش خودش را نشان داده است.



شکل 3. نمودار توان مالبندی- لغزش در هر تیمار رطوبتی

. شکل 4 مقادیر ضریب کششی را در مقابل لغزش در رطوبت های مختلف نشان می دهد.



شکل 4. نمودار ضریب کششی- لغزش در هر تیمار رطوبتی

با افزایش رطوبت مقادیر ضریب کششی در لغزش یکسان بیشتر می شوند، این امر می تواند به این علت باشد که با نزدیک شدن به رطوبت اپتیمم فشردگی خاک ساده تر اتفاق می افتد و هنگامی که فشردگی خاک بیشتر شود هنگام برش آن به نیروی بیشتری نیاز است و بنابراین نیرو در مالبند افزایش می یابد و ضریب کشش زیاد می‌شود. افزایش معنادار لغزش با افزا یش هر سه متغیر مستقل ، افزایش دامنه لغزش در رطوبت های بالاتر ، افزایش ضریب کشش در لغزش یکسان با زیاد شدن رطوبت و افزایش توان در مالبند در لغزش یکسان با کاهش رطوبت به طور کلی نتایجی هستند که از این تحقیق گرفته شده است.

قدردانی

بدین وسیله از زحمات و همکاری های صمیمانه مدیریت محترم گروه مهندسی ماشین های کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران کمال تشکر و سپاسگزاری به عمل می‌آید.

منابع

حاجی احمد، ع.، طباطبایی فر، س. ا.، جوادی، ا.، کیهانی، ع.، و لبافی، ر. (1389). استخراج مدلی بهینه برای پیش بینی مقاومت کششی ابزار خاکورز بر اساس محتوای رطوبت و جرم مخصوص ظاهری خاک . ششمین کنگره ملی مهندسی ماشینهای کشاورزی و مکانیزاسیون. کرج.

کیهانی، ع. و طباطبایی فر، س. ا. (1385). مکانیک عملکرد تراکتور و ادوات خاک ورزی . تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

گوران، م. و کیهانی، ع. (1389). بررسی اثر سرعت تراکتور و مقدار رطوبت خاک بر میزان لغزش چرخ محرک تراکتور. ششمین کنگره ملی مهندسی ماشینهای کشاورزی و مکانیزاسیون. کرج.

نادری بلداجی، م.، علیمردانی، ر.، عباس زاده، ر.، و احمدی، ح. (1387). بررسی معادلات بار دینامیکی و انتخاب معادله مناسب با اندازه گیری لغزش چرخ تراکتور . پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون. مشهد.

Al-Hamed, S. A., & Al-Janobi, A. A. (2001). A program for predicting tractor performance in Visual C++. Computers and Electronics in Agriculture , 31 (2), 137-149.

Barger, E. L. (1979). Tractor and their power units. (J. B. Liljedahl, Ed.) New York: John Wiley & Sons, Inc.

Elwaleed, A. K., Yahya, A., Zohadie, M., & Ahmad, D. (2006). Net traction ratio prediction for high-lug agricultural tyre. Journal of Terramechanics , 43 (2), 119-139.

Koolen, A. J. (1987). Deformation and compaction of elemental soil volumes and effects on mechanical properties. Soil and Tillage Research , 10 (1), 5-19.

Kumar, R., & Pandey, K. P. (2009). A program in Visual Basic for predicting haulage and field performance of 2WD tractors. Computers and Electronics in Agriculture , 67 (1-2), 18-26.

Sahu, R. K., & Raheman, H. (2008). A decision support system on matching and field performance prediction of tractor-implement system. Computers and Electronics in Agriculture , 60 (1), 76-86.

Wulfsohn, D., Upadhyaya, S. K., & Chancellor, W. J. (1988). Tractive characteristics of radial ply and bias ply tyres in California soil. Journal of Terramechanics , 25 (2), 111-134.

Zebrowski, J. (2010). Traction efficiency of a wheeled tractor in construction operations. Automation in Construction , 19 (2), 100-108.