

بکارگیری آزمونگر تک چرخ در انباره خاک برای بررسی فشار تماسی بین چرخ و خاک

علی خرمی فر^۱، مجید دولتی^{۲*}، عارف مردانی^۳، علیرضا علامه^۴

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی و دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت

۲- * استادیار، دانشکده فنی و منابع طبیعی تویسرکان، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۳- دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۴- هیات علمی موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت

* ایمیل نویسنده مسئول: m.dowlati@basu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۷

چکیده

اکثریت تراکتورهای کشاورزی مجهز به چرخ های لاستیکی هستند و به جز تسهیل در تردد، نقش موثری در کارکردهای گوناگون آنها ایفا می کنند. چرخ های تراکتورها ارتباط مستقیم با خاک داشته و عوامل مختلفی بر تعامل آنها و در نهایت عملکرد تراکتور تاثیرگذار بوده که بر حفظ تراکم خاک و کاهش سوخت و انرژی مصرفی موثر می باشد. این پژوهش در انباره خاک و با استفاده از آزمونگر تک چرخ به منظور بررسی اثر فشار باد تایر (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلو پاسکال) و بار عمودی روی تایر (۱۸۱۴/۸۵، ۲۲۰۷/۲۵، ۲۵۹۹/۶۵، ۲۹۹۲/۰۵ و ۳۳۸۴/۴۵ کیلو نیوتن) در دو نوع خاک رسی و ماسه ای بر روی فشار تماسی بین چرخ با خاک در سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش فشار باد تایر و بار عمودی روی چرخ محرک، فشار تماسی بین چرخ و خاک به صورت معنی داری (در سطح یک درصد) افزایش می یابد. همچنین روند افزایش فشار تماسی در خاک ماسه ای به صورت خطی ولی در خاک رسی بصورت غیر خطی بود.

کلمات کلیدی

"خاک"، "تایر"، "تراکتور"، "بار عمودی"، "فشار تماسی"

۱- مقدمه

سوخت را ۵۷۵ میلیون لیتر برآورد کردند که بخشی از آن ناشی از تماس نامناسب چرخ با خاک است. ب) تاثیر منفی در میزان رشد و تولید محصول: فشردگی خاک می تواند تا میزان ۱۰ درصد عملکرد محصولات را کاهش داده و از طریق تخریب ساختمان خاک و کاهش جریان آب در داخل خاک منجر به کاهش کیفیت خاک گردد. (Hakansson and Medvedev, 1995) نشان دادند که عملکرد محصول در اولین سال بعد از عبور تراکتور و تراکم خاک حدود ۱۴ درصد کاهش یافت. فشار تماسی یک تایر بادی بر روی سطح سخت بستگی به ساختمان تایر و فشار باد تایر دارد (Karafiath and Nowatzki, 1978). Steiner (1979) گزارش کرد که فشار تماسی بین چرخ و خاک با فشار باد تایر و وزن روی چرخ در تایرهای رادیال و تایرهای لایه متقابل رابطه خطی دارد. Bolling (1985) روی برخی تراکتورهای مزرعه ای قدیمی مطالعه کرد و رابطه ای را برای فشار تماسی پیشنهاد نمود. Komandi (1990) نیز رابطه ای را برای سطح تماس تایرهای ادوات کشاورزی ارائه کرد که عوامل وزن، فشار باد تایر، قطر و عرض تایر در آن دخیل بودند. Ziesak and Matthies (2001) در مورد ارتباط فشار تماسی و سطح تماس تایرهای ماشین های جنگلداری مدل هایی ارائه کردند که عوامل دیگری نیز همچون درجه لایه و ارتفاع دیواره تایر را در نظر گرفته بودند. Taghavifar and Mardani (2014) با استفاده از روش پردازش تصویر روابطی را برای سطح تماس چرخ و خاک و همچنین فشار تماسی بین چرخ و خاک ارائه داده و گزارش کردند که سطح تماس با وزن روی چرخ رابطه ای بصورت معادله درجه دو و با فشار باد تایر رابطه خطی معکوس دارد. همچنین آنها گزارش کردند که فشار تماسی با وزن و فشار باد تایر رابطه خطی دارد. Gharibkhani et al., (2011) به بررسی تاثیر دو عامل بار

چرخ یکی از اجزای ساده و مهم تراکتور است زیرا هم باید وزن ماشین را تحمل کند و نیز برقرار کننده ارتباط آن با زمین باشد. فشار باد تایر، سختی تایر را تعیین می کند که اثر معنی داری روی سطح تماس تایر با زمین و توزیع فشار روی سطح تماس دارد. تنظیم فشار باد داخل تایر به عنوان امکانی برای کاهش تراکم خاک و بهبود کارایی کششی تراکتورهای کشاورزی می باشد (Inaba and Hiroma, 2016). شکل سطح تماس یک چرخ با زمین با توجه به انحنای چرخ و اعطاف ناشی از بار روی چرخ و فشار باد درونی چرخ از پیچیدگی خاصی برخوردار است و از این رو مدل های متعددی برای تخمین این پارامتر متناسب با شرایط چرخ و سطح توسط محققین ارائه شده است (Shmulevich and Osetinsky, 2003; Hiroma et al., 2003). این مدل ها با توجه به ساده سازی های در نظر گرفته شده از دقت بالایی برخوردار نبوده و از این رو در برخی مدل های اصلاح شده بعدی، ضریبی برای تصحیح معادلات سطح تماس در نظر گرفته شده است. مدل های کامل تری که در پژوهش های بعدی ارائه گردید با در نظر گرفتن متغیرهای بیشتر سعی در تخمین دقیق تر سطح تماس داشته است که از جمله این پارامترها می توان به نشست چرخ، نشست خاک، بار روی چرخ، فشار باد تایر و مشخصه های مربوط به خاک اشاره نمود (Xia, 2011; Bekakos et al., 2016; Derafshpour and Mardani, 2016; Yamashita et al., 2018). بررسی سطح تماس چرخ با خاک از دو لحاظ حائز اهمیت است: الف) اتلاف انرژی: سطح مشترک خاک و تایر ۵۵-۲۰ درصد تلفات قدرت تراکتور را به خود اختصاص می دهد و عاملی است که طی کاربرد ادوات کششی در مصرف سوخت نیز موثر است. (Gill and Vanden Burg, 1968) اتلاف سالانه

چرخ، (d) الکتروموتور اعمال بار دینامیکی، (e) تسطیح کننده سطح خاک، (f) اهرم موقعیت تسطیح کننده، (g) لودسل اندازه گیری نیروی کشش، (h) جعبه دنده چرخ محرک، (i) ذخیره کننده اطلاعات، (j) نمایشگرهای دیجیتال، (k) جعبه دنده اعمال بار دینامیکی، (l) تلسکوپ ممانع انحراف جانبی، (m) بارهای استاتیکی، (n) چرخ زنجیر سر شفت، (o) سیستم اندازه گیری اثر رد تایر، (p) قاب چرخ، (q) بادامک اعمال بار دینامیکی.

مجموعه آزمونگر تک چرخ دارای حامل چرخ بر روی انباره خاک است. تایر در یک شاسی U شکل قرار داده می شود و شاسی به وسیله چهار بازوی افقی و اتصال تلسکوپ به بازوی بالایی حامل چرخ متصل می گردد. تایر با استفاده از یک شفت به شاسی متصل شده و مجهز به پین برشی می باشد. پیکربندی مجموعه به گونه ای طراحی شده که کشش و فشار بین حامل چرخ و شاسی از طریق بازوهای افقی متعادل می گردد و نیروهای خمشی جانبی که منجر به انحراف جانبی تایر می شوند توسط بازوی تلسکوپ عمودی جذب شوند. بدین ترتیب، تایر تنها تحت کنترل بارهای عمودی بوده و در راستای مسیرش حرکت می کند. هر بازو دارای اتصالاتی در دو انتها می باشد تا بتوان لودسل های S شکل را نصب نمود. این لودسل ها دارای نمایشگرهایی برای نشان دادن نیروی اعمالی و تنظیمات و نیز کالیبراسیون هستند. تمام حرکت های حامل چرخ از قبیل حرکت رو به جلو و عقب و نیز سرعت رو به جلو به وسیله دستگاه معکوس کننده (ic5, LG Industrial Systems Co., Ltd, Korea) متصل به الکتروموتور حامل چرخ کنترل می شود. سامانه ثبت داده ها قادر است تا کلیه داده ها را دریافت کرده و همزمان آن ها را در نمایشگر دیجیتالی به تصویر کشیده و ذخیره نماید.

• تایر

یک تایر کشاورزی معمولی (8.25-16, Barez Co., Iran) با مشخصات زیر در آزمایش ها به خدمت گرفته شد: مشخصات گل تایر HLFS، عرض رینگ ۱۷۵ mm، قطر خارجی ۸۴۰ mm، عرض مقطع ۲۲۰ mm.

• خاک

دو خاک مورد استفاده در این تحقیق، خاک های موجود در کانال انباره خاک واقع در گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی می باشد (ماسه و خاک رس) و خاک رس از نوع لومی رسی بود که دارای ۱۳/۸٪ شن، ۷۹/۳۱٪ ماسه بوده و ۶/۸۹٪ از خاک مورد آزمایش، از الک نمری ۲۰۰ که اندازه ی سوراخ های آن حدود ۰/۰۷۵ میلی متر است، عبور کرده بود.

• روش انجام آزمایش

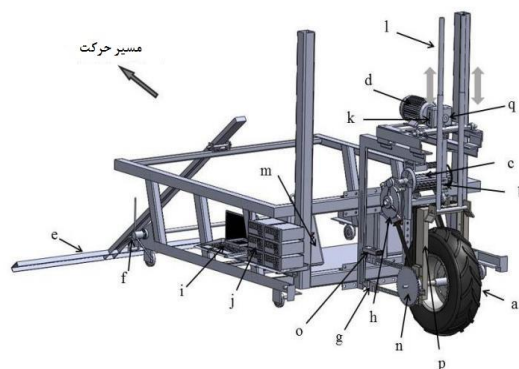
آزمایش ها پس از آماده سازی انباره خاک و مجموعه آزمونگر تک چرخ اجرا شدند. پیش از هر آزمایش، خاک درون کانال به طور کامل توسط هرس دندان میخی تا عمق ۲۰ cm بهم زده می شد. سپس به کمک یک الوار چوبی نصب شده به حامل چرخ، سطح خاک به خوبی تسطیح می گردید. با استقرار مجموعه آزمونگر در مسیر، بار دینامیکی از طریق یک پیچ قدرت اعمال گردید. بارهای دینامیکی وارد بر چرخ در پنج سطح ۱۸۵/۱۸۱۴، ۲۲۰۷/۲۵، ۲۵۹۹/۶۵، ۲۹۹۲/۰۵ و ۳۳۸۴/۴۵ کیلونیوتن در نظر گرفته شدند. مقدار بار وارده بوسیله لودسل اندازه گیری و روی نمایشگر خوانده شده و در نهایت ذخیره می گردید. فشار باد تایر در سه سطح ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوپاسکال توسط کمپرسور از

عمودی روی چرخ و فشار باد داخل تایر بر روی سطح تماس تایر و خاک سخت و همچنین تاثیر آنها بر فشار متوسط تماسی اعمالی از طرف تایر به سطح خاک در انباره خاک پرداختند. نتایج آنها نشان داد که با افزایش بار عمودی و کاهش فشار باد تایر، سطح تماس چرخ و خاک افزایش یافت و همچنین با افزایش فشار باد تایر و بار عمودی، فشار تماسی بین چرخ و خاک زیاد گردید. در تحقیقی دیگر اثرات بار عمودی روی چرخ، فشار باد تایر و رطوبت خاک بر روی سطح تماس، فشار تماسی، فشردگی و هدایت الکتریکی خاک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که فشار تماسی با بار عمودی روی چرخ، فشار باد تایر و رطوبت خاک رابطه مستقیم داشت (Farhadi et al., 2019). به طور کلی هدف از اجرای این تحقیق بررسی فشار تماسی چرخ با خاک متاثر از فشار باد تایر و نیز بار عمودی روی چرخ بر روی دو نوع خاک رسی و ماسه ای بود.

۲- روش انجام تحقیق

• انباره خاک و آزمونگر تک چرخ

آزمون های چرخ و خاک به طور عمده در شرایط کنترل شده انجام گردیده و معمولاً در قالب آزمونگرهای تک چرخ در محیط انباره های خاک اجرا می شوند. در این محیط ها امکان کنترل بیشتری بر روی متغیرهای چرخ و خاک وجود دارد. انباره خاک مورد استفاده در این تحقیق از نوع ثابت بود که در گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه ارومیه قرار دارد. این انباره به طول ۲۲ m، عرض ۲ m و ارتفاع ۱ m به صورت یک سازه فلزی بر روی سطح زمین قرار گرفته و محیط خاک کاملاً جدا از سطح زمین و در قالب یک کانال خاک طراحی شده است. انباره مذکور از دو نوع ورق فلزی به ضخامت ۴ mm برای دیواره ها و ۶ mm برای کف ساخته شده و خاک تا ارتفاع ۸۴۰ mm در آن ریخته شد. با توجه به ابعاد تایر، عرض کانال طوری انتخاب شد تا تاثیر دیواره های کانال بر آزمایش ها به حداقل برسد. علاوه بر کانال خاک، انباره مذکور شامل قسمت های دیگری نظیر حامل یا کشنده ابزار، تجهیزات آماده سازی خاک، سامانه رانش چرخ، ابزارهای اندازه گیری و سامانه کنترل بود. در شکل ۱ طرحواره ای از مجموعه آزمونگر چرخ نشان داده شده است. خاک های مورد استفاده در انباره عبارت بودند از رسی و ماسه ای که خاک رسی شامل ۴۴ درصد رس، ۲۲ درصد سیلت و ۳۴ درصد شن و خاک ماسه ای شامل ۹۰ درصد سیلت و ۱۰ درصد سایر مواد بود. قبل از انجام آزمون ها و داده برداری، خاک داخل انباره به خوبی نرم و تسطیح می گردید.



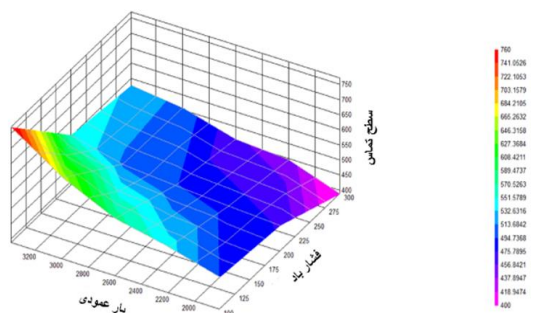
شکل ۱- طرحواره آزمونگر چرخ و قسمت های مختلف آن، (a) چرخ محرک، (b) لودسل اندازه گیری بار عمودی، (c) الکتروموتور محرک

خاک و تایر بررسی شدند. جدول ۱ تجزیه واریانس داده های آزمایش بدست آمده از آزمون ها را نشان می دهد. نتایج نشان داد که اثرات ساده نوع خاک، فشار باد تایر و بار عمودی روی چرخ بر سطح تماس تایر با خاک در سطح ۱٪ معنی دار بودند. در مورد فشار تماسی بین تایر و خاک، به جز اثر ساده نوع خاک که در سطح ۵٪ معنی دار شد بقیه اثرات ساده در سطح ۱٪ معنی دار بودند. به علاوه، اثرات متقابل دوگانه و سه گانه نیز بر روی سطح تماس و فشار تماسی بین تایر و خاک در سطح ۱٪ معنی دار شدند.

میانگین مربعات		درجه آزادی	منبع تغییر
فشار تماسی	سطح تماس		
۵/۰۰۶*	۱۶۵۶**	۱	خاک
۹۸۳/۱۰۷**	۱۱۳۳۸۰**	۲	فشار باد
۷۶۲/۸۴۳**	۶۵۰۷۴**	۴	بار عمودی
۳۶/۰۹۰**	۶۲۵۶**	۲	خاک × فشار باد
۲۷/۷۲۵**	۳۴۰۳**	۴	خاک × بار عمودی
۱۷/۷۴۱**	۲۳۵۵**	۸	فشار باد × بار عمودی
۱۶/۵۱۳**	۳۰۲۸**	۸	خاک × فشار باد × بار عمودی
۰/۰۹۱	۷۲	۶۰	خطا
		۸۹	کل

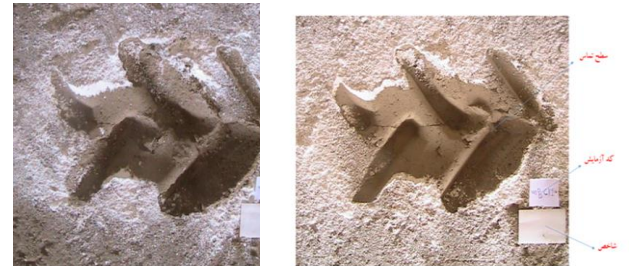
*: معنی دار در سطح ۵٪، **: معنی دار در سطح ۱٪

شکل های ۴ و ۵ نشان دهنده روند تغییرات سطح تماس تایر با خاک هستند. همان طور که مشاهده می شود میزان سطح تماس با افزایش بار عمودی روی چرخ افزایش یافته و با ازدیاد فشار باد تایر کمتر شده است.

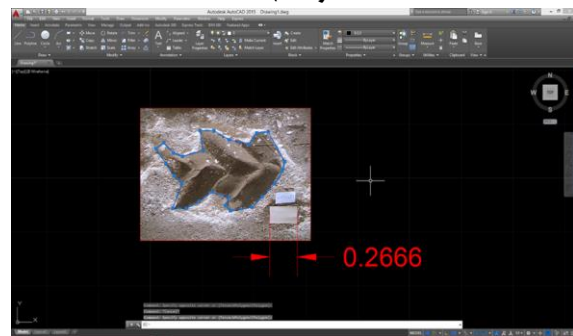


شکل ۴- تغییرات سطح تماس در خاک رسی

نوع ۶۰۰ لیتری، فشار ۸ بار و قدرت ۵/۵ اسب بخار اعمال شد. فشار باد به وسیله فشار سنج بوردن گیج اندازه گیری و کنترل می شد. پس از استقرار فشار روی خاک (تحت فشار باد و بار معین)، مقداری پودر گچ در اطراف آن پاشیده می شد. سپس تایر از روی خاک بلند شده و از فاصله ثابت از اثر چرخ بر روی خاک با دوربین دیجیتالی تصویربرداری گردید. تمام تصاویر با استفاده از نرم افزار AutoCAD 2015 (Autodesk, Inc., USA) پردازش شده تا مقدار عددی سطح تماس محاسبه شود. در شکل ۲ نمونه های از اثر چرخ در دو خاک مورد آزمایش نمایش داده شده و در شکل ۳ نیز نمایی از محیط نرم افزار اتوکد را مشاهده می کنید.



شکل ۲- سطح تماس نایر با خاک رس (سمت چپ) و ماسه ای (سمت راست)



شکل ۳- محیط نرم افزار اتوکد برای محاسبه مساحت

برای تعیین فشار تماسی بین تایر و خاک از رابطه زیر استفاده شد (رابطه ۱):

$$P = W/A \quad (1)$$

که در آن:

P = فشار تماسی (kPa)

W = بار عمودی روی چرخ (kN)

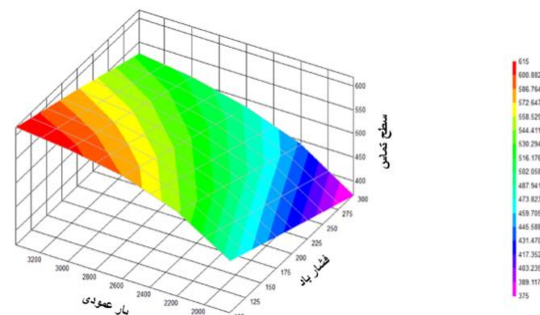
A = سطح تماس بین چرخ و خاک (m^2)

آزمایش ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شدند. متغیرهای مستقل عبارت بودند از: نوع خاک (در دو سطح رسی و ماسه ای)، بار عمودی (در پنج سطح ۱۸۱۴/۸۵، ۲۳۰۷/۲۵، ۲۵۹۹/۶۵، ۲۹۹۲/۰۵ و ۳۳۸۴/۴۵ کیلو نیوتن) و فشار باد تایر (در سه سطح ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلو پاسکال). متغیرهای وابسته نیز عبارت بودند از: سطح تماس بین چرخ و خاک و فشار تماسی بین آن ها. تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 (SAS Institute, USA) و برای مقایسه میانگین ها نیز از آزمون چند دامنه ای دانکن استفاده گردید.

۳- نتایج

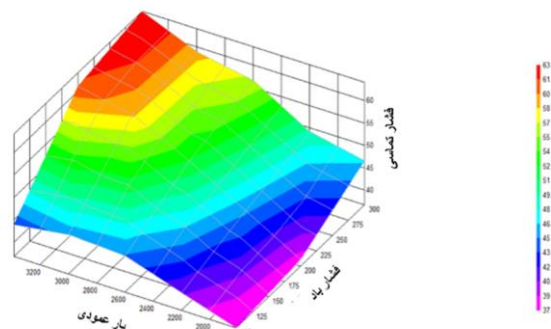
در این تحقیق اثرات عوامل فشار باد تایر و بار عمودی روی چرخ در دو بستر خاک رسی و ماسه ای بر روی سطح تماس و فشار تماسی بین

(1978) Nowatzki و همچنین (1985) Bolling از لحاظ نحوه افزایش شباهت نداشت. بدین معنی که در خاک رسی افزایش فشار تماسی به هیچ وجه خطی نبود حال آنکه در نتایج بیان شده توسط آنها، تغییرات فشار تماسی خطی بود. برای توجیه این امر می توان اینگونه بیان کرد که روابط تجربی ارائه شده برای خاک های سخت صادق نیستند. به عبارت دیگر، آزمایشات مربوطه برای ارائه مدل روی خاک رس یا خاک های دیگر انجام نشده بود. البته مدل های این محققان نقص هایی هم داشتند. از جمله اینکه فقط تاثیر فشار باد تایر در نظر گرفته شده بود و از تاثیر سایر عوامل به خصوص نیروی وزن چشم پوشی شده بود. در رابطه با مدل های تجربی که توسط (1979) Steiner ارائه شد باید گفت که در آنها سه اثر فشار باد تایر، بار عمودی روی چرخ و قطر تایر برای محاسبه فشار تماسی در نظر گرفته شده بود. یافته های این تحقیق با نتایج وی مطابقت داشتند یعنی با افزایش فشار باد تایر و افزایش وزن روی چرخ، فشار تماسی بین چرخ و خاک رسی افزایش می یافت. در عین حال باید یادآور شد که فقط از لحاظ تاثیر وزن روی چرخ و فشار باد تایر بر روی فشار تماسی با هم تطابق داشتند. اما از لحاظ نحوه تغییر، مدل های (1979) Steiner این گونه نشان دادند که فشار تماسی با تغییرات وزن روی چرخ و فشار باد تایر کاملاً به صورت خطی تغییر کرده است. در رابطه با تطابق نتایج این تحقیق در خاک رسی با یافته های (1979) Steiner مشاهده شد که فقط در فشار باد تایر ۲۰۰ کیلوپاسکال آن هم تا بارگذاری ۳۰۰۰ کیلونیوتن همخوانی وجود داشت و در فشار های بالاتر یا پایین تر، تغییرات فشار تماسی خطی نبود. حتی مشاهده شد که در فشار باد تایر ۱۰۰ کیلوپاسکال و در بارگذاری بالای ۳۰۰۰ کیلونیوتن، با افزایش بار عمودی روی چرخ و فشار باد تایر، فشار تماسی کاهش پیدا کرد. علت آن بود که در این حالت سطح تماس بزرگتری بین چرخ و خاک بوجود آمده و در واقع مخرج کسر رابطه (۱) بزرگ تر شد که این افزایش مخرج کسر (سطح تماس) موجب کاهش فشار تماسی گردید. مدلی که توسط (2014) Taghavifar and Mardani برای محاسبه فشار تماسی با معلوم بودن فشار باد تایر و بار عمودی به وسیله روش پردازش تصویر ارائه شد با نتایج آزمایش ها در خاک رس در این تحقیق، مطابقت نداشت. بدین معنی که در خاک رسی، فشار تماسی با افزایش فشار باد تایر و بار عمودی، بصورت غیر خطی (معادله درجه دو و حتی معادله درجه سه در فشار باد ۳۰۰ کیلوپاسکال) افزایش پیدا کرد. دلیل این عدم تطابق می تواند ناشی از تفاوت بین تیمارهای دو آزمایش باشد. آزمایش های آنها در بازه کوچکتری از فشار باد تایر و بار عمودی روی چرخ انجام شده بود. نتایج به دست آمده در این تحقیق برای خاک ماسه ای با یافته های (2011) Gharibkhani *et al.*، همخوانی داشت، اما تفاوت هایی هم مشاهده شد. به عنوان مثال، نتایج این تحقیق نشان داد که در خاک ماسه ای با افزایش فشار باد تایر و بار عمودی روی چرخ، فشار تماسی به صورت خطی افزایش یافت که مغایر با یافته های آنها بود. چنین به نظر می رسد که این اختلاف به خاطر متفاوت بودن خاک مورد آزمایش و همچنین نحوه محاسبه سطح تماس و فشار تماسی بود. آنها برای محاسبه سطح تماس از اسپری استفاده کرده بودند که این امر باعث بروز خطای بیشتری در محاسبات می شود. علت آن است که هنگام استفاده از

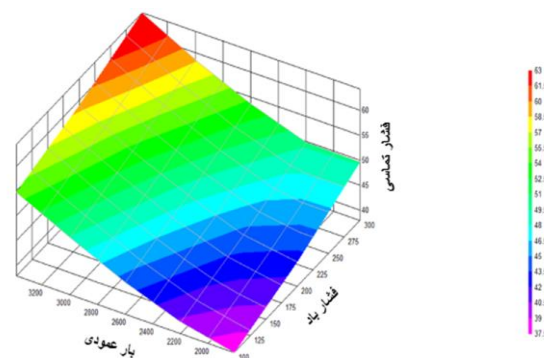


شکل ۵- تغییرات سطح تماس در خاک ماسه ای

در شکل های ۶ و ۷ نیز روند تغییرات فشار تماسی بین تایر و خاک به تصویر در آمده اند. آن طور که مشخص است فشار تماسی بین تایر و خاک با افزایش بار عمودی روی چرخ و همچنین فشار باد تایر افزایش یافته است.



شکل ۶- تغییرات فشار تماسی در خاک رسی



شکل ۷- تغییرات فشار تماسی در خاک ماسه ای

با توجه به نتایج به دست آمده برای خاک رسی می توان اظهار داشت که این نتایج با نتایج ارائه شده توسط Karafiath and

تماسی بین چرخ و خاک با افزایش بار عمودی روی چرخ و فشار باد تایر به صورت خطی افزایش یافت.

۴- نتیجه گیری

براساس یافته های این تحقیق مشخص شد که با افزایش فشار باد تایر در بارگذاری های مختلف روی چرخ، فشار تماسی بین چرخ و خاک افزایش پیدا کرد. تغییرات فشار تماسی برحسب تغییرات فشار باد تایر در خاک ماسه ای و در بارگذاری های $2207/25$ و $2599/65$ کیلونیوتن در خاک رسی به صورت خطی بود. اما در خاک رسی در بارهای بالای $2599/65$ و پایین $2207/25$ کیلونیوتن، تغییرات فشار تماسی رفتار خطی از خود نشان نداد. همچنین، به طور مشابه، سطح تماس چرخ با خاک تحت تاثیر عوامل یاد شده تغییر می کرد اما بصورت معکوس. سطح تماس در خاک ماسه ای با فشار باد تایر رابطه خطی معکوس داشت و نیز در خاک رس، به غیر از بارهای ذکر شده، همین رابطه خطی معکوس را دارا بود. به طور کلی می توان بیان کرد که با تغییر فشار باد تایر و بار عمودی روی چرخ، تغییرات سطح تماس و فشار تماسی در خاک ماسه ای تقریباً خطی بود و در خاک رسی فقط در بعضی شرایط خطی بود. به نظر می رسد چون خاک ماسه ای ترکیب بافتی یکنواخت تری داشت، این رابطه خطی بوجود آمد ولی چون خاک رسی دارای ترکیب یکنواخت تری نبود، رابطه خطی بوجود نیامد.

اسپری، خاک زیر چرخ توسط باد اسپری جابجا شده و باعث تغییر شکل سطح تماس چرخ می گردد.

با توجه به نتایج به دست آمده برای خاک ماسه ای می توان چنین اظهار داشت که این نتایج با یافته های Karafiath and Nowatzki (1978) و همچنین Bolling (1985) از لحاظ نحوه افزایش شباهت داشت. فشار تماسی بین چرخ و خاک با افزایش فشار باد تایر تقریباً به صورت خطی افزایش یافت. نتایج این تحقیق در خاک ماسه ای با یافته های Steiner (1979) مطابقت داشتند. در مدل ارایه شده توسط وی، سه اثر فشار باد تایر، بار عمودی روی چرخ و قطر تایر برای محاسبه فشار تماسی در نظر گرفته شده بود. با افزایش فشار باد تایر و افزایش وزن روی چرخ، فشار تماسی بین تایر و خاک به صورت خطی افزایش یافت. البته در بارگذاری های بالای 2200 کیلونیوتن این وضعیت حاکم بود و در بارگذاری کمتر از 2200 کیلونیوتن، تغییرات فشار تماسی خطی نبود. علت این امر را می توان اینگونه تشریح کرد که با افزایش بار روی چرخ (تا 2200 کیلونیوتن)، سطح تماس هم به همان نسبت افزایش یافته، در نتیجه تغییری در فشار تماسی به وجود نمی آمد. همچنین یافته های Taghavifar and Mardani (2014) در مورد محاسبه فشار تماسی با معلوم بودن فشار باد تایر و بار عمودی روی چرخ به روش پردازش تصویر، مطابقت زیادی با نتایج این تحقیق در خاک ماسه ای داشت. فشار

منابع

- Bekakos, C., Papazafeiropoulos, G., O'Boy, D. and Prins, J. 2016. Pneumatic tyres interacting with deformable terrains. Journal of Physics: Conference Series, 744 012213, DOI: 10.1088/1742-6596/744/1/012213.
- Bolling, I. H. 1985. How to predict soil compaction from agricultural tires. Journal of terramechanics. 22(4): 105-119.
- Derafshpour, S. and Mardani, A. 2016. A review on Terramechanics physics based models for tire-terrain interaction. Proceedings of the 10th National Congress on Biosystems Engineering and Mechanization. Aug. 2-3. Mashad, Iran, 1-10. (In Farsi).
- Farhadi, P., Golmohammadi, A., Sharifi-Malvajerdi, A. and Shahgholi, G. 2019. Prediction of Contact Pressure and Soil Penetration Resistance by Measuring Tyre Contact Area and Soil Apparent Electrical Conductivity. Agricultural Mechanization and Systems Research, 20(72): 19-36. (In Farsi).
- Gharibkhani, M. Mohammadzadeh, H. Mardani, A. Feizolahzadeh, M. and Jafari, H. 2011. Evaluating of the effect of tire inflation pressure and tire velocity on the force of obstacle climbing. In: Proceedings of First National Agriculture Congress, Ankara, Turkey.
- Gill, W. R. and Vanden Burg, G. E. 1968. Soil Dynamics in Tillage and Traction. In Agricultural Handbook No. 316, ARS, USDA 511.
- Hakansson, I. and Medvedev, V. 1995. Protection of soils from mechanical overloading by establishing limits for stresses caused by heavy vehicles. Soil and Tillage Research. 35(1): 85-97.
- Hiroma, T., Oikawa, T. S. and Ota Y. 2003. Analysis of the tractive performance of a wheel using three dimensional finite element method -Effect of the width of a wheel on tractive performance. J JSAM, 65(6): 62-70.
- Inaba, S. and Hiroma, T. 2016. Analysis of tractive performance of agricultural tractor tire using finite element method. Engineering in Agriculture, Environment and Food. 8(2): 72-78.
- Karafiath, L. L. and Nowatzki, E. A. 1978. Soil mechanics for off-road vehicle engineering, Trans Tech Publications Aedermannsdorf, Switzerland.
- Komandi, G. 1990. Establishment of soil-mechanical parameters which determine traction on deforming soil. Journal of terramechanics. 27(2): 115-124.
- Lyasko, M. 2010. LSA model for sinkage predictions. Journal of terramechanics. 47(1): 1-19.
- Lyasko, M. 2010. Multi-pass effect on off-road vehicle tractive performance. Journal of terramechanics. 47(5): 275-294.
- Shmulevich, I. and Osetinsky, A. 2003. Traction performance of a pushed/pulled drive wheel. J Terramechanics. 40 (1): 33-50.

- Steiner, M. 1979. Analyse, Synthese und Berechnungsmethoden der Triebkraft-Schlupf-Kurve von Luftreifen auf nachgiebigen Boden. M.E.G. Technische Universität München, Lehrstuhl für Landmaschinen. No 33.
- Taghavifar, H. and Mardani, A. 2013. Potential of functional image processing technique for the measurements of contact area and contact pressure of a radial ply tire in a soil bin testing facility. *Measurement*. 46(10): 4038-4044.
- Taghavifar, H. and Mardani, A. 2014. Fuzzy logic system based prediction effort: A case study on the effects of tire parameters on contact area and contact pressure. *Applied Soft Computing*. 14: 390-396.
- Xia, K. 2011. Finite element modeling of tire/terrain interaction: application to predicting soil compaction and tire mobility. *J Terramechanics*, 48(2): 113-123.
- Yamashita, H., Jayakumar, P., Alsaleh, M. I. and Sugiama, H. 2018. Physics-Based Deformable Tire-Soil Interaction Model for Off-Road Mobility Simulation and Experimental Validation. *Journal of Computational and Nonlinear Dynamics*, 13(2): 021002. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.4037994>.
- Ziesak, M. and Matthies, D. 2001. Untersuchen zur last-und innendruckabhängigen Aufstandsfläche von Forstspezialreifen. KWF, Forsttechnische Informationen, FTI. 9(10): 104-110.

Using a single wheel tester in the soilbin to syudy the contact pressure between wheel and soil

Ali Khorramifar¹, Majid Dowlati^{*2}, Aref Mardani Korani³, Alireza Allameh⁴

1- PhD candidate, Department of Agricultural Sciences & Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran and Msc graduate, University of Jiroft, Jiroft, Iran

*2- Assistant Professor, Department of Food science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

3- Associate Professor, Department of Agricultural Sciences, Urmia University, Urmia, Iran

4- Faculty member, Department of Agricultural Engineering, Rice Research Institute, Rasht, Iran

*Email address: m.dowlati@basu.ac.ir

Abstract

Introduction

The wheel is one of the simple and important components of the tractor because it must bear the weight of the car and also communicate the car with the ground. The tire pressure determines the tire stiffness, which has a significant effect on the tire contact surface and ground pressure distribution. Adjusting the air pressure inside the tire as a possibility to reduce soil compaction and improve the tensile efficiency of agricultural tractors. The shape of the contact surface of a wheel with the ground has a certain complexity due to the curvature of the wheel and the flexibility caused by the load on the wheel and the internal wind pressure of the wheel. Hence, several models have been proposed by researchers to estimate this parameter in accordance with wheel and surface conditions. Checking the contact surface of the wheel with the soil is important in two ways: Energy loss and Negative impact on product growth and production.

Methodology

Wheel and soil tests are mainly performed under controlled conditions and are usually performed in the form of single-wheel testers in the soil storage environment. In these environments, it is possible to have more control over the wheel and soil variables. A typical agricultural tire (Barez Co., Iran, 8.25-16) with the following specifications was used in the experiments: HLFS flower tire specifications, rim width 175 mm, outer diameter 840 mm and cross section width 220 mm. Two soils were used in this study: sand which was clay loam clay with 13.8% sand, 79.31% sand and 6.89% of the tested soil, from a sieve score of 200 which is the size of Its holes, about 0.075 mm, had passed. The experiments were performed after preparing the soil storage and the single-wheel tester set. Prior to each experiment, the soil inside the canal was completely shaken by nail pruning to a depth of 20 cm. Then, with the help of a timber installed to the wheel carrier, the soil surface was leveled well. By placing the tester set on the track, a dynamic load was applied through a power screw. Dynamic loads on the wheel were considered 1814.85, 2207.25, 2599.65, 290.05 and 3384.45 kN at five levels. The amount of load is measured by the load cell and read on the screen and finally stored. The tire pressure was applied at three levels of 100, 200 and 300 kPa by a 600 liter compressor, 8 bar pressure and 5.5 hp. Wind pressure was measured and controlled by a Borden Gauge sphygmomanometer. After placing the tire on the ground (under a certain wind pressure and load), some gypsum powder was sprayed around it. The tire was then lifted off the ground and photographed from a fixed distance by the wheel on the ground with a digital camera. All images are processed using AutoCAD 2015 software (Autodesk, Inc., USA) to calculate the numerical value of the contact area (figures 2, 3). Equation 1 was used to determine the contact pressure between the tire and the soil. The experiments were performed factorially in a completely randomized design with three replications. Independent variables were: soil type (in two levels of clay and sand), vertical load (in five levels of 1814.85, 2207.25, 2599.65, 295.05, and 3384.45 kN) and tire pressure (in three levels of 100, 200 and 300 kPa). The dependent variables were: the contact surface between the wheel and soil and the contact pressure between them. Data were analyzed using SAS 9.1 software (SAS Institute, USA) and Duncan's multiple range test was used to compare the means.

Conclusion

In this study, the effects of tire pressure and vertical load on the wheel in two clay and sand substrates on the contact surface and contact pressure between soil and tire were investigated. Table 1 shows the

analysis of variance of the test data obtained from the tests. The results showed that the simple effects of soil type, tire pressure and vertical load on the wheel on the tire contact surface with soil were significant at 1% level. Regarding the contact pressure between the tire and the soil, except for the simple effect of soil type which was significant at the 5% level, the other simple effects were significant at the 1% level. In addition, dual and triple interactions were also significant on the contact surface and contact pressure between the tire and the soil at the 1% level. Figures 4 and 5 show the trend of changes in the tire contact surface with the soil. As can be seen, the contact surface area increases with increasing vertical load on the wheel and decreases with increasing tire pressure. Figures 6 and 7 also show the trend of contact pressure changes between the tire and the ground. As it is known, the contact pressure between the tire and the ground has increased with increasing vertical load on the wheel as well as the tire pressure. Based on the findings of this study, it was found that with increasing tire pressure at different loads on the wheel, the contact pressure between the wheel and the soil increased. The changes in contact pressure were linear in terms of changes in tire pressure in sandy soil and at loads of 2207.257 and 2599.6599 kN in clay soil. However, in clay at loads above 2599.65 and below 2207.225, contact pressure changes did not show linear behavior. Also, similarly, the contact surface of the wheel with the soil changed under the influence of these factors, but in reverse. The contact surface in sandy soil had an inverse linear relationship between tire pressure and in clay, except for the mentioned loads, it had the same inverse linear relationship. In at all, it can be stated that with the change of tire pressure and vertical load on the wheel, changes in contact surface and contact pressure in sandy soil were almost linear and in clay soil were only linear in some conditions. It seems that because sandy soil had a more uniform texture composition, this linear relationship occurred, but since clay soil didn't have a more uniform composition, a linear relationship did not occur.

Keywords

Soil; Tire; Tractor; Vertical load; Contact pressure