بررسی امتداد ضربه وارده بر چرخ در اثر عبور از روی مانع صلب

حبیب محمدزاده[1]، اسعد مدرس مطلق[2]، عارف مردانی[2]، سید مهدی حسینی[1]
1- کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه ارومیه
2- استادیار و عضو هیئت علمی گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه ارومیه

(en.mohammadzadeh@gmail.com)

چکیده

ماشین‌ها و ادوات کشاورزی چرخ‌دار، در حین حرکت خود در مزرعه دستخوش نیروهای آنی و ناگهانی ناشی از ناهمواری ها و موانع با هندسه های متفاوت، می‌شوند. این نیروها به نوبه خود سهم زیادی در مقدار مقاومت غلتشی و ضربه وارده بر چرخ دارند. لذا نیاز به بررسی مقدار ضربه وارده بر چرخ جهت ارائه طرحی کارآمد و جلوگیری از شکست اکسل امری ضروری می‌باشد. در این تحقیق سعی بر آن است که مقدار بیشینه ضربه دینامیکی وارده بر اکسل چرخ در عبور از روی موانع صلب، محاسبه شده و در طراحی ا کسل با ضریب اطمینان قابل قبولی مدنظر قرار گیرد . در این تحقیق از چرخ خطی کار جاندیر جهت انجام آزمایشات در محیط انباره خاک و استفاده از آزمونگر تک چرخ استفاده شده است . همچنین در این مقاله چند پارامتر از سری پارامترهای تاثیر گذار در حرکت چرخ نظیر بار استاتیکی روی تایر، سرعت پیشروی و فشار باد تایر مورد توجه قرار گرفته‌اند. نتایج بدست آمده نشان می دهد که محدوده زاویه شکست در حدود (-33^{o}) تا (31^{o}) نسبت به امتداد عمودی گذرنده از مرکز چرخ بدست آمده است . با توجه به نتایج بدست آمده، توزیع مقادیر هر زاویه تقریبا نسبت به خط قائم چرخ متقارن بوده و غالب مقادیر شکست در نزدیکی‌های این خط بدست آمده است.

کلمات کلیدی: انباره خاک، چرخ، زاویه شکست، ضربه دینامیکی، مانع

مقدمه

امروزه رویکرد غالبی که در کشورهای توسعه یافته در رابطه با کشاورزی و نهاده های آن مد نظر قرار گرفته است، کشاورزی پایدار و کنار گذاشتن نگاه ماشین محور و افزایش تولید به هر قیمت می‌باشد. از این رو، بهتر کردن روش‌های روبرویی با خاک و اصلاح ابزارهای مربوط به آن، مستلزم انجام آزمون های مورد اعتمادی است که در شرایط واقعی خاک و ابزار صورت گرفته باشند و این مهم با توجه به پیچیدگی و تنوع متغیرهای حاکم بر تقابل خاک و ماشین، دشوار می‌نماید. بر همین اساس، ایجاد شرایط کنترل شده آزمون های مذکور در محیط‌های از پیش آماده شده نظیر سویل بین ها، راه حل مناسبی به نظر می رسد به گونه‌ای که بتوان با در دست داشتن یکنواختی مناسبی از کمیت هایی مانند رطوبت، وضعیت خاک، سرعت پیشروی ابزار و مواردی از این قبیل، تاثیر پارامترهای هدف را مورد مطالعه قرار داد.

مقاومت غلتشی، عامل ناخواسته‌ای است که به محض حرکت چرخ بر روی یک سطح به وجود می آید. این عامل در ارتباط مستقیم با چند و چون تغییر شکل های به وجود آمده در چرخ و سطح زیرین آن است و بر همین اساس، در شرایط حرکت بر روی سطح خاک، از پیچیدگی بیشتری برخوردار می باشد. کاهش هر چه بیشتر مقاومت غلتشی در فرایند طراحی و به کارگیری چرخ ها همواره مد نظر بوده و این پارامتر، در مدل ها و مطالعات مختلف انجام شده

پیرامون تقابل چرخ و خاک، همواره دخیل بوده است . از طرفی مقاومت غلتشی ماشین های مزرعه بطور مستقیم روی مصرف سوخت منبع تولید نیروی آنها تاثیرگذار می باشد. بنابراین بررسی عملکرد ادوات چرخ دار روی خاک، یک مساله مهم در مهندسی کشاورزی می باشد. از طرف دیگر مزارع کشاورزی به دلیل وجود ناهمواری های متعدد، چرخ را دچار نیروهای دینامیکی ناگهانی می نماید. این ناهمواری ها با ارتفاع های مختلف وجود دارند . لذا اطلاع از این نیروها و اعمال آنها در محاسبات طراحی چرخ و اکسل منجر به مدیریت بهتر تقابل چرخ و سطح خواهد گردید.

یکی از مهم ترین بحث های موجود در زمینه ماشین های خاج از جاده، بررسی نیروهایی است که به چرخ وارد می‌شود. برای داشتن یک طرح خوب و کارآمد، یک طراح باید قبل از هر امری نیروهای وارد بر چرخ را پیش بینی نمایند. طراحان ماشین و چرخ تمایل دارند تا حد امکان مقاومت غلتشی چرخ را جهت کاهش تلفات انرژی و همچنین مصرف سوخت به حداقل مقدار ممکن برسانند (Plackett, 1985). آنالیز بار دینامیکی یک خودروی در حال حرکت از اهمیت خاصی در بحث و بررسی اثرات متقابل چرخ و خاک برخوردار است . برای دستیابی به کارایی بهینه یک ماشین خارج از جاده، اط لاع از نحوه تقابل خاک و چرخ و همچنین اثرات متقابل آنها بر روی هم امری ضروری است. حرکت چرخ از روی موانع سر راه خود نسبت به حرکت در روی سطوح هموار کاملا متمایز است و از این‌رو باید به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گیرد. واکنش چرخ با مانع و همچنین محاسبه مقاوم ت وارد شده از طرف مانع از چندین جنبه قابل بررسی است، نظیر فشارهای مختلف باد تایر، بارهای عمودی و سرعت های مختلف چرخ، جنس و هندسه مختلف مانع و یا چرخ.

در گذشته تحقیقاتی بر روی اثر مانع بر ماشین های کشنده انجام شده است. بکر (Bekker, 1956) بصورت تئوری توانایی عبور یک خودروی دو اکسله از روی مانع را بررسی کرد و در این بررسی تایر و سیستم تعلیق را بصورت صلب در نظر گرفته است . متغیرهای این تحقیق، ارتفاع مانع، قطر چرخ و ضریب دگرچسبی خاک بوده اند. بکر با فرض عدم ایجاد محدودیت برای گشتاور چرخ به این نتیجه رسید که خودرو ی در نظر گرفته شده می تواند از روی بزرگترین مانع نیز عبور کند . جیندرا (Jindra, 1966) مطالعه بکر را برای یک خودروی چهار چرخ محرک گسترش داد که در این تحقیق، چرخ بصورت جسم صلب در نظر گرفته شده است. در ادامه کار بکر، جانوسی و ایلر (Janosi and Eilers, 1968) فقط به بررسی هندسه چرخ و مانع پرداخته‌اند. بدلیل پیچیدگی فرآیند، هیچکدام از پژوهش‌های به انجام رسیده نتوانسته اند مدل منحصر و معتبری را برای آن ارائه کنند . با وجود اینکه تایرهایی با فشار باد کم در ماشین‌های خارج از جاده بصورت گسترده استفاده می‌شود و مخصوصاً در هنگام عبور از روی موانع دارای مزیت می باشند اما تحقیقات صورت گرفته نتوانستند اثرات فشارهای پایین باد تایر را با در نظر گرفتن چرخ انعطاف پذیر بررسی کنند. بنابراین گسترش مطالعات ذکر شده در مورد تایرهایی با فشار باد پایین امری ضروری می‌نماید.

مک آلیستار (McAllister, 1983) کاهش مقاومت غلتشی در تایرهای استفاده شده در دنباله بندهای مزرعه ای را مورد مطالعه قرار داده است . در این مطالعه ضریب مقاومت غلتشی برای چرخ ادوات و تریلی اندازه گیری شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که کاهش فشار باد تایر، کاهش بار، افزایش سا یز چرخ و استفاده از تایرهای رادیال سبب کاهش ضریب مقاومت غلتشی می‌شود.

عبور چرخ از روی یک مانع علاوه بر پارامترهای مربوط به مانع و چرخ به فشار به وجود آمده در زیر چرخ هم وابسته است. اثرات فشار باد تایر بر روی فشار تماسی خاک و مقاومت غلتشی برای تراکتورهای کش اورزی توسط وان و همکاران (Van et al., 2008) مورد بررسی قرار گرفته است. فشار تماسی خاک در خط مرکزی چرخ جلو و گوشه‌های چرخ عقب برای یک تراکتور دو چرخ محرک و بر روی خاک شنی و با چهار ترکیب بار چرخ و فشار

تماسی اندازه‌گیری شده است. همچنین بطور هم‌زمان مقاومت غلتشی چرخ نیز اندازه گیری شده است. نتایج بدست آمده نشان می دهد که وقتی مقاومت غلتشی 25 درصد کاهش می یابد، با کاهش فشار باد تایر، فشار تماسی بین تایر و خاک به ترتیب 19 و 17 درصد برای چرخ جلو و عقب کاهش می یابد. کارهای مشابهی توسط اسچونینگ و همکاران (Schjønninga et al., 2008)، محسنی منش و وارد (Mohsenimanesh and Ward, 2010) و وان و همکاران (Van et al., 2008) انجام شده است.

علیرغم اینکه پشت سر نهادن ناهمواری ها در سطوح خاکی توسط ماشین های خارج از جاده رایج و اجتناب ناپذیر است لیکن بدلیل پیچیدگی دینامیک حاکم بر این فرایند، چندان به آن پرداخته نشده است و انجام پژوهش های بیشتری را مطالبه می کند. هدف اصلی این تحقیق اندازه گیری میزان مقاومت غلتشی تایر ، ضربه دینامیکی وارد بر آن و زاویه‌ی اعمال ضربه دینامیکی بر چرخ در مسیر صلب می باشد. زیرا به دلیل ناهمگونی بافت خاک بررسی اثر متقابل چند پارامتر بر روی یکدیگر امری مشکل می‌باشد.

مواد و روشها

آزمایش‌ها با آزمونگر تک چرخ در محیط سویل بین در محل آزمایشگاه های گروه مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه ارومیه به انجام رسید. هدف از این آزمایش‌ها بررسی اثرات فشار باد تایر، ارتفاع‌های مختلف مانع، سطوح مختلف سرعت پیشروی چرخ و سطوح متفاوت بار استاتیکی وارده بر چرخ ، بر روی مقاومت، راستا و ضربه وارده بر چرخ از طرف مانع می باشد. برای انجام آزمایشات و به منظور تامین شرایط کنترل شده تر، از یک سویل بین با طول مفید 23 متر و عرض دو متر و توان موتور محرک 30 اسب بخار با امکان تامین سرعت های مختلف جهت حرکت حامل سویل بین استفاده شد. سویل بین با یک آزمونگر تک چرخ چهار بازویی موازی که در هر کدام از آنها یک لودسل S شکل با ظرفیت 200 کیلوگرم تعبیه شده است، مجهز شد. بدلیل اینکه کل نیروی افقی وارده بر چرخ عبارت است از مجموع نیروهای واکنشی ناشی چهار بازوی آزمونگر، بنابراین در هر لحظه باید داده مربوط به هر بازو ثبت گردد. از اینرو برای داده برداری، از یک سامانه اینترفیس و دیتالاگر که داده های گردآوری شده را به یک کامپیوتر لپ تاپ منتقل می کند، استفاده شد. در نهایت داده های مربوط به هر لودسل با فرکانس 40-30 هرتز ثبت گردید.

تایر مورد استفاده در این تحقیق، یک تایر متحرک کشاورزی مورد استفاده در یک خطی کار جاندیر می باشد (9.5L-14, 6 ply, Good year). بر اساس بیان مک‌میلان (Mcmillan, 2002) برای یک چرخ متحرک، مقاومت غلتشی یا نیروی افقی کلی وارده بر چرخ مهمترین پارامتر مجهول می باشد. به همین منظور در این مطالعه سعی شد تا این پارامتر برای این نوع چرخ مورد بررسی قرار گیرد . آزمایشات با در نظر گرفتن چهار سطح برای کلیه پارامترهای مورد بررسی (فشار باد تایر، سرعت پیشروی، ارتفاع مانع و بار استاتیکی روی چرخ) طرح ریزی شد.

سطوح فشار فوق به منظور بررسی رفتار تایر در چهار حالت کم باد (فشار نسبی صفر)، پر باد (فشار باد ماکزیمم و نزدیک شدن تایر به حالت صلب) و دو سطح بطور مساوی مابین این دو مقدار انتخاب شد . جهت اطمینان از ایجاد حالت پر باد، تایر تا حد ماکزیمم خود باد زده شد . برای تامین سرعت پیشروی چرخ از اینورتر و موتور الکتریکی استفاده شد. موانع به شکل مستطیلی و به ابعاد 30×30 در جلوی چرخ طراحی شده و از پروفیل‌های فلزی 2×2 سانتی‌متری و همچنین تسمه های فلزی 5 میلی‌متری ساخته و تعبیه شد. به منظور تثبیت موانع در کانال خاک سویل بین و همچنین در مقابل چرخ، از میله‌های 40 سانتی‌متری به تعداد 6 عدد در طرفین مانع استفاده شد . تصویر (1) شکل مانع بکار برده شده و همچنین پین‌های اتصال مانع به خاک سویل بین را نشان می‌دهد.

متعادل کردن نیروهای وارده بر چرخ مستلزم یکنواختی و تراز بودن شکل و ارتفاع مانع نسبت به چرخ می باشد. به همین منظور با استفاده از یک تراز، وضعیت قرار گیری مانع تراز شد . شکل (2) چگونگی انجام این کار را نشان می‌دهد.

شکل 1. شکل مانع بکار برده شده

شکل 2. نحوه قرار گیری مانع در مقابل چرخ و میله‌های اتصال مانع در داخل کانال خاک

بار عمودی استاتیکی وارد بر چرخ در چهار سطح 50، 100، 200 و 300 کیلوگرم در نظر گرفته شده است . بارهای استاتیکی از طریق پیچ قدرت بر روی چرخ اعمال شد. نکته قابل ذکر این است که بارها بصورت استاتیکی و قبل از شروع حرکت چرخ بر روی آن اعمال شد . علاوه بر این بارهای اعمالی، وزن کل چرخ و ضمائم مربوط به آن را نیز باید به این مقادیر اضافه کرد که این مقدار برابر با 212/5 کیلوگرم می‌باشد. در حین حرکت چرخ تغییرات نیروی عمودی وارد بر آن با استفاده از یک لودسل عمودی اندازه‌گیری شد.

کلیه آزمایشات بر روی یک سطح صلب به طول 3 متر انجام گرفت، بطوریکه مانع در قسمت میانی این سطح تعبیه شده بود. داده برداری 1/5 متر قبل از رسیدن به مانع آغاز و بعد از عبور از روی مانع و طی مسیر 1/5 متری بر روی سطح مذکور داده برداری متوقف شد.

نتایج و بحث

در این مقاله اثرات چهار پارامتر سرعت پیشروی، فشار باد تایر، بار عمودی روی تایر و ارتفاع مانع در مقابل چرخ، بر روی راستا و مقدار ضربه وارد بر چرخ مورد بررسی قرار گرفته است . هر کدام از این پارامترها در چهار سطح و سه تکرار مورد آزمایش قرار گرفته اند. بطوریکه سطوح سرعت پیشروی 0/25، 0/5، 0/75 و 1 متر بر ثانیه، فشار باد تایر 100، 220، 340 و 460 کیلوپاسکال، بار عمودی روی تایر 50، 100، 200 و 300 کیلوگرم (هر کدام از

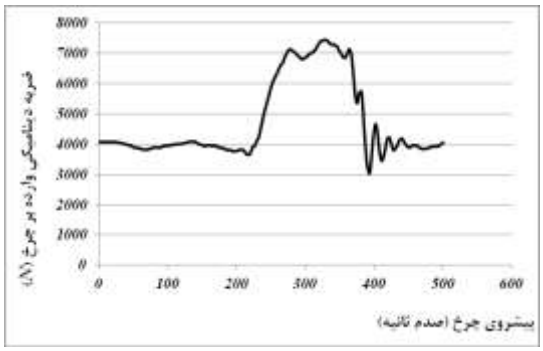
مقادیر بار عمودی به اضافه 212/5 کیلوگرم بار مربوط به جرم چرخ و متعلقات آن می شود) سطوح ارتفاع مانع هم برابر 1، 2، 4 و 5 سانتی‌متری در نظر گرفته شده است.
نمودارهای بدست آمده برای ضربه افقی و عمودی در شکل 3 نشان داده شده است. بر اساس این نمودارها میزان تغییرات ضربه در سطح مسطح نسبت به مانع کاملا مشهود می‌باشد. نتایج این تحقیق برای ضربات محاسبه شده با نتایج تحقیقات گیپسر[1] (2005) و آکانده[2] و همکاران (2011) همخوانی دارد.

شکل 3. نمودار تغییرات ضربه عمودی (الف) و ضربه افقی (ب) وارده بر چرخ در مسیر حرکت

ضربه دینامیکی وارد بر چرخ برآیند دو ضربه افقی و عمودی می باشد. این ضربه از مجذور مجموع مربعات دو ضربه افقی و عمودی بدست می‌آید. رابطه (1) نحوه محاسبه ضربه عمودی را نشان می‌دهد.

$$D^2 = \sqrt{(R^2 + F^2)} \qquad \text{رابطه (1)}$$

در رابطه (1) D ضربه دینامیکی، R ضربه افقی و F ضربه عمودی وارده بر چرخ با واحدهای یکسان می باشند. بدلیل اینکه مقدار ضربه افقی در مقایسه با ضربه عمودی وارده بر چرخ خ یلی کمتر می باشد، لذا مقدار ضربه دینامیکی وارده تابع ضربه عمودی خواهد بود و در نتیجه شکل نمودارهای مربوط به ضربه دینامیکی همانند ضربه عمودی خواهد بود. شکل 4 نمونه‌ای از نمودارهای بار دینامیکی را نشان می دهد.



شکل 4. تغییرات ضربه دینامیکی وارده بر چرخ در حین عبور از روی مانع

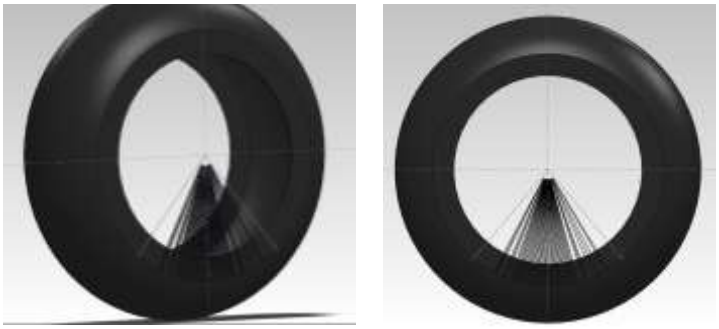
[1] Gipser, 2005

[2] Akande et al., 2011

برای اینکه چگونگی اعمال ضربه کلی وارده بر چرخ و به تبع آن شاسی یک ماشین روشن گردد باید راستای اثر این نیرو مشخص گردد. به همین منظور شاخص درنظر گرفته شده برای نشان دادن راستای نیروی ضربه کل، زاویه مابین راستای ضربه دینامیکی با محور اف قی می باشد. در نتیجه می توان با استفاده از مقادیر دو ضربه افقی و عمودی، زاویه ضربه کلی را محاسبه نمود. رابطه (2) نحوه محاسبه زاویه ضربه دینامیکی کل را نشان می‌دهد.

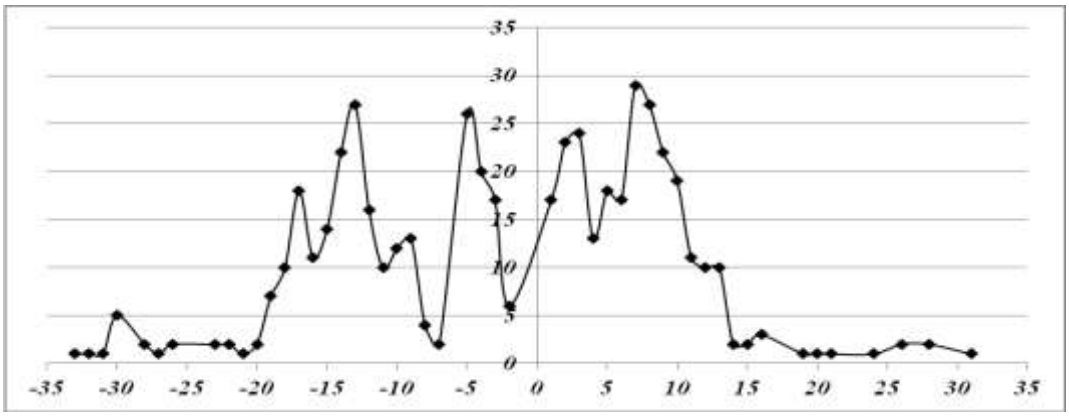
$$\varphi = \tan^{-1}(\frac{R}{F}) \qquad \text{رابطه (2)}$$

در رابطه (2)، φ زاویه ضربه دینامیکی کل، R ضربه افقی و F ضربه عمودی وارده بر چرخ می‌باشند. با توجه به اینکه در هر آزمایش در حدود 500 زاویه بدست آمده است، لذا از این تعداد فقط مقادیر بیشینه و کمینه استخراج و مدنظر گرفته شده است. شکل 5 محدوده زاویه اعمال بار دینامیکی کل به چرخ را از دو جهت نشان می‌دهد.



شکل 5. محدوده اعمال زاویه ضربه دینامیکی بر اکسل چرخ

با توجه به نتایج بدست آمده محدوده زاویه اعمال بار دینامیکی کل از (33-) درجه تا (31) درجه می‌باشد. فراوانی زاویه اعمال بار دینامیکی در نمودار شکل 6 نشان داده شده است . همانطور که از شکل پیداست راستای ضربه دینامیکی کل نسبت به خط عمود بر اکسل چرخ دارای توزیع نسبتا متقارن می باشد.



شکل 6. فراوانی زاویه اعمال بیشینه ضربه دینامیکی

با توجه به نتایج بدست آمده می توان بیان داشت که طراحان چرخ و خودرو باید با توجه به شرایط کاری هر خودرو و چرخ مربوط به آن، ملاحظات طراحی لازم در گذار از موا نع احتمالی را مد نظر قرار دهند تا از بروز سوانح احتمالی جلوگیری شود.

منابع

Akande F.B., Ahmad D., Fashina A. B. (2011), *Modelling the motion resistance of a pneumatic bicycle wheel* in tillage, Agricultural productivity and environmental sustainability conference.

Bekker, M.G. (1956), Theory of land locomotion University of Michigan press, Ann Arbor: p. 522.

Gipser M. (2005), ADAMS/FTire-A tire model for ride & durability simulations.

Janosi, Z.J. and J. A Eilers. (1968), *Analysis of the basic curve of obstacle negotiation, Journal of* Terramecanics, **5**(3): 29-42.

Jindra, F. (1966), *Obstacle performance of articulated wheeled vehicles, Journal of* Terramecanics, **3(2)**: 39-56.

Macmillan R. H. (2002), The mechanics of tractor-implement performance (theory and worked examples), Printed by University of Melbourne.

Mcallister, M., (1983), *Reduction in the rolling resistance of tyres for trailed agricultural machinery*, Journal of Agricultural Engineering Research, **28**: 127-137.

Mohsenimanesh, A. and Sh. M. Ward. (2010), Estimation of a three-dimensional tyre footprint using dynamic soil–tyre contact pressures, Journal of Terramechanics, 47: 415–421.

Plackett, C.W. (1985), *A Review of Force Prediction Methods for Off-road Wheels, Journal of* Agricultural Engineering Research, **31**: 1-29.

Schjønninga, P., Lamande M., Frede A. Tøgersenb, Arvidssonc J., Keller Th. (2008), Modelling effects of tyre inflation pressure on *the stress distribution near the soil–tyre interface, Journal of* Biosystems Engineering, **99**: 119– 133.

Van, N. N., Matsuo T., Inaba S., Koumoto T. (2008), *Experimental analysis of vertical soil reaction and soil stress distribution under off-road tires, Journal of Terramechanics,* 45: 25-44.

Van, N. N., Matsuo T., Koumoto T., Inaba SH. (2008), *Effects of tire inflation pressure on soil contact pressure and rolling resistance of farm tractors*, Bull. Fac. Agr., Saga Univ, (93): 101-108.