ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران (کرج)
۲۴ و ۲۵ شهریور ۱۳۸۹

اندازگیری دیجیتالی و ارزیابی تاثیر فشار باد تایر و بار عمودی روی چرخ در حالت دینامیک بر مقاومت غلتشی چرخ در شرایط انباره خاک(سویل بین)

مسعود قریب خانی[۱]، سید کاظم شهیدی[۲]، عارف مردانی[۲]
دانشجوی کارشناسی ارشد و عضو هیئت علمی دانشگاه ارومیه

چکیده

مطالعه و تحقیق هرچه بیشتر بر روی چرخ و تایر و ارتقاء ویژگیهای کیفی آن و ارائه راهکارهایی در زمینه بهینه‌سازی و بهبود کاربری آن همواره مورد توجه محققان بوده است که یکی از پارامترهای مهم در این رابطه مطالعه در مورد مقاومت غلتشی و عوامل موثر بر آن می‌باشد. شرایط و پارامترهای متفاوتی بر میزان مقاومت غلتشی یک تایر موثرند که در این تحقیق به بررسی تاثیر فشار باد داخل تایر و بار عمودی وارده بر آن، بر اندازه سطح تماس تایر با خاک، فشار تماسی اعمالی به خاک از طرف تایر و مقاومت غلتشی تایر در فشارهای باد متفاوت در دستگاه سویل بین و با استفاده از لودسل و دیتالاگر و ثبت دیجیتالی داده‌ها پرداخته شده است. بررسی ها حاکی از تاثیر مستقیم فشار باد داخل تایر بر اندازه سطح تماس تایر و سطح، فشاری اعمال شده بر واحد سطح خاک و مقاومت غلتشی میان تایر و خاک بوده است. همچنین میان بار عمودی روی چرخ و اندازه مقاومت غلتشی و اندازه سطح تماس تایر و خاک ارتباط مستقیم و معنی داری مشاهده شده است.

واژه‌های کلیدی: سطح تماس تایر، بار عمودی روی چرخ، فشار باد تایر، مقاومت غلتشی چرخ و سویل بین

مقدمه:

لاستیکها یکی از اجزائ مهم تراکتورها و ماشینهای کشاورزی به حساب می‌آیند. لاستیکهائی که در ادوات کشاورزی و تراکتورها مورد استفاده قرار می‌گیرند باید قادر به انتقال توان مناسب به خاک بوده، چسبندگی کافی به راه داشته، قادر به تحمل بار وسیله و ضمائم آن در قبال فشار کم به زمین بوده، ارتعاشات وارده از مسیر حرکت را به خوبی در خود

جذب کرده، نیروی زمین گیرایی مناسبی تولید کرده و فرمانگیری و تعادل مناسبی به دستگاه بدهند و در نهایت هنگام کار در اراضی مختلف در مقابل سائیدگی از خود مقاومت نشان دهند. در این بین، اندازه سطح تماس خاک و لاستیک یک فاکتور بسیار مهم می‌باشد که باید همواره مورد توجه قرار گیرد چون بر پارامترهای متعددی تاثیرگذار است. یکی از مهمترین اثرات سطح تماس چرخ و خاک در رابطه با تولید کشش است که غالبا با زیادتر شدن سطح تماس چرخ با خاک افزایش می‌یابد. مقاومت غلتشی بین چرخ و خاک یکی دیگر از پارامترهای مرتبط با چرخ است که عاملی بسیار تاثیر گذار بر راندمان توانی و میزان توان باقی مانده برای مصرف در سایر بخشهای کاری دستگاه و همچنین میزان مصرف سوخت ماشین می باشد. یکی دیگر از اثرات چرخ عبارت است از میزان تراکم خاک که به خودی خود عاملی محدود کننده در استفاده از ماشینهای کشاورزی می‌باشد.

در ارتباط با مقاومت غلتشی اساساً هر تمهیدی که باعث کاهش تغییر شکل و کرنش در اثر اعمال نیرو به تایر شود در کاهش پسماند حرارتی یا به عبارتی مقاومت غلتشی آن موثر است. افزایش فشار باد تایر یکی از راههای کاهش انرژی کرنشی است چرا که این حالت باعث سفت تر شدن بیشتر تایر و افزایش مقاومت آن در برابر تغییر شکل در اثر اعمال نیرو می گردد. افزایش فشار باد تایر یک راه موثر و شاید ساده ترین راه کاهش مقاومت غلتشی باشد اما بایدتوجه نمود که افزایش فشار باد تایر تنها در مورد وسائط نقلیه‌ای موثر است که بر روی زمین سخت(آسفالت) حرکت می‌نمایند زیرا در ماشینهای کشاورزی که بر روی زمینهای نرم(خاک) حرکت می‌کنند این امر احتمالا باعث نفوذ بیشتر تایر به داخل خاک شده و چه بسا تاثیری معکوس بر مقاومت غلتشی تایر داشته باشد. از طرف دیگر کاهش نسبت مقطع (نسبت ارتفاع به عرض مقطع تایرH/W) که بصورت درصد بیان می شود در بیشتر موارد می‌تواند باعث سفت‌تر شدن تایر و بنابراین کاهش پسماند حرارتی گردد ولی این روش در مورد تایرهای مورد استفاده در ادوات کشاورزی کاربرد چندانی ندارد. کاهش وزن تایر نیز یکی از موثرترین راههای کاهش مقاومت غلتشی می باشد. شاید بهترین راه کم کردن مقاومت غلتشی کاستن از وزن آن باشد. اما باید توجه نمود که طول عمر تایر نباید فدای این امر گردد و استفاده از آمیزه‌ای با کیفیت بالا می تواند کارساز باشد. یکی دیگر از عوامل موثر بر روی کاهش مقاومت غلتشی چرخ، عامل ساختار می باشد. نوع مواد به کار رفته در ساخت تایر از این حیث که ماهیت پسماند حرارتی کمتری داشته باشند مورد توجه می‌باشد. فرآیند تهیه مواد اولیه و آمیزه ها نیز از جمله پارامترهای مهم در این زمینه است هر چه پلیمر به کار رفته در تهیه مواد تایر وزن مولکولی بیشتر و توزیع وزن مولکولی باریکتری داشته باشد ماهیت اتلاف انرژی آن کمتر و بنابراین مناسب‌تر است.

در رابطه با حرکت چرخ بر روی خاکهای کشاورزی نمی‌توان به کم کردن مقاومت غلتشی به هر قیمتی تن داد چرا که پدیده ای مانند تراکم خاک نیز عامل بسیار مهمی است که باید در تصمیمات مربوط به مشخصات چرخ درنظر گرفته شود. میزان تراکم خاک به جنس خاک، رطوبت خاک و میزان نیروی فشاری که به واحد سطح خاک وارد می‌شود (فشار تماسی اعمالی از طرف تایر به خاک) بستگی دارد. فشار باد تایر تعیین کننده سختی تایر می‌باشد، که دارای تاثیر مشخصی بر سطح تماس تایر و توضیع فشار بر سطح تماس می‌باشد. تنظیم فشار باد داخل تایر به عنوان وسیله‌ای برای کاهش تراکم خاک و بهبود کارایی کششی تراکتورهای کشاورزی می‌باشد. اخیرا مسئله تاثیر فشار باد تایر بر فشار تماسی با خاک و همچنین فشار زیر تایر مانند کارایی کششی، بخصوص در مورد تایرهای رادیال، توسط محققان بسیاری مورد توجه قرار گرفته است. مشخص شده است که کارایی بهینه برای یک چرخ محرک بوسیله تنظیم فشار باد داخل تایر با توجه به وضعیت خاکی که چرخ در حال حرکت بر روی آن است، قابل دستیابی می‌باشد. تایرهایی که دارای فشار باد کمی هستند نیز مزایایی دارند که از آن جمله می‌توان به کاهش فشار تماسی میان تایر و سطح خاک، افزایش کارائی تایر، کاهش فشردگی خاک زیر چرخ و ایجاد حالت رانندگی روانتر اشاره کرد. از این رو، فشار باد مناسب برای یک تایر در بار مشخص اعمالی به آن در دفترچه راهنمای مخصوص آن تایر مشخص شده است که نشان دهنده حداقل فشار باد قابل قبول در مقابل بار می‌باشد. که این باعث حداقل شدن تنش و فشردگی خاک و حداکثر شدن بازده کششی می‌شود.

در صورتیکه فشار تایر در کار مزرعه ای کاهش یابد، اثر آن اینست که سطح وسیع تری از تماس پوشش با سطح زمین ایجاد می شود چراکه تایر پهن شده است. سطح بیشتر و تعداد بیشتری از شانه‌های آجی هم در تماس با سطح مزرعه ایجاد می‌شود که این مورد منجر به کشش مضاعف می‌شود. اما فشار بسیار کم می‌تواند موجب آسیب زدن به تایر شود. فشار را نباید آنقدر کاهش داد که دیوار تایر را در حال حرکت تراکتور بصورت موجدار مشاهده کرد. این موجدار شدن، پوشش تایر را خرد می‌کند که در زمان بسیار کوتاهی اتفاق می‌افتد. همچنین این خطر هم وجود دارد که تایر بدور طوقه بلغزد و والف را از تیوب بیرون بکشد. موقعیکه از تراکتور برای کار در جاده استفاده می‌شود، نگران درگیری چرخ آن نیستیم زیرا سطوح جاده معمولاً مناسب است و درگیری مشکل بحساب نمی‌آید. البته باید فرسودگی تایر را مدنظر قرار داد، زیرا قیمت این تایر ها زیاد است لذا باید فشار را بیشتر نمود. شاید یکی از بیشترین کمکهایی که به درگیری چرخ می‌شود وزن اضافه‌ای باشد که بصورت وزنه های فلزی یا آب به چرخ اعمال می‌شود.

شکل سطح تماس یک چرخ با سطح زیرین با توجه به انحنای چرخ و انعطاف ناشی از بار روی چرخ و فشار باد درونی چرخ از پیچیدگی خاصی برخوردار است و از این رو مدل‌های متعددی برای تخمین این پارامتر متناسب با

شرایط چرخ و سطح توسط محققین ارائه شده است. ساده‌ترین مدل‌ها با فرض دایره یا بیضی بودن سطح تماس از معادلات ریاضی مربوط به این منحنی‌ها برای تخمین سطح تماس استفاده کرده است. این مدل‌ها با توجه به ساده سازی‌های در نظر گرفته شده از دقت بالایی برخوردار نبوده و از اینرو در برخی مدل‌های اصلاح شده بعدی ضرائبی جهت تصحیح معادلات سطح تماس درنظر گرفته شده است. مدل‌های کامل‌تری که در پژوهش‌های بعدی ارائه گردید با در نظر گرفتن متغیرهای بیشتر سعی در تخمین دقیق‌تر سطح تماس داشته است که از جمله این پارامترها می توان به نشست چرخ، نشست خاک، بار روی چرخ، فشار باد تایر و مشخصه‌های مربوط به خاک اشاره نمود.

برای اندازگیری مقاومت غلتشی نیز می توان از فرمول‌ها و مدلهای مختلفی که در این رابطه وجود دارند استفاده نمود که معروفترین آنها مدل ویسمر و لوس می‌باشد که در این مدل برای محاسبه مقاومت غلتشی از پارامترهای وزن روی چرخ و عدد چرخ استفاده شده است که به صورت مقابل تعریف می‌شود.

$$F_R = W \cdot \left(0.04 + \frac{1.2}{C_N} \right) \qquad C_N = \frac{CI \cdot b \cdot d}{W}$$

که در آن C_N عدد چرخ و وابسته به شاخص پنترومتری خاک، عرض چرخ و قطر آن می‌باشد و F_R اندازه مقاومت غلتشی می‌باشد.

البته مدل‌های دیگری نیز در ادامه ارائه شده که در راستای بهبود و دقیقتر شدن مدل‌های قبلی می‌باشد که به عنوان مثال می‌توان به مدل مک‌لوران اشاره نمود که به صورت مقابل می‌باشد:

$$F_R = W \cdot \left(0.017 + \frac{0.453}{N_{Ci}} \right)$$

$$N_{CI} = \frac{CI \cdot b \cdot d}{W} \cdot \sqrt{\frac{\delta}{h}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{b}{2 \cdot d}}$$

مواد و روش‌ها :

در تحقیق حاضر با استفاده از روشی عملی و با استفاده از دستگاه سویل‌بین به اندازگیری اندازه سطح تماس تایر با سطح صلب، فشار تماسی میان تایر و سطح صلب و همچنین مقاومت غلتشی میان تایر و خاک در حالت دینامیک تحت تاثیر بارهای عمودی و فشارهای باد متفاوت تایر پرداخته شده است. در آزمایشات به عمل آمده، از یک تایر حمل و نقل با مارک گودیر (Goodyear) با مشخصات 9.5l 14 استفاده شده است.

روش اندازگیری سطح تماس بدین ترتیب بوده که ۵ فشار متفاوت باد تایر و ۵ بار عمودی متفاوت به تایر اعمال شده، که در شکل جدول (۱) آمده است.

جدول ۱: پارامترها و سطوح درنظر گرفته برای آنها در آزمایشات انجام شده

فشار باد تایر (Kpa)	٦٨/٩٧	١٠٣/٤٥	١٣٧/٩٤	١٧٢/٤٣	٢٠٦/٩٢
بار عمودی روی چرخ (KN)	٠/٩٨	١/٩٦	٢/٩٤	٣/٩٢	٤/٩١

در ابتدا به بررسی تاثیر دو عامل بار عمودی روی چرخ و فشار باد داخل تایر بر روی سطح تماس تایر و خاک و همچنین تاثیر آنها بر فشار متوسط تماسی اعمالی از طرف تایر به سطح خاک پرداخته شده است. برای انجام آزمایشات از سویلی که در گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه ارومیه طراحی و ساخته شده استفاده شده است. روش نمونه برداری بدین صورت بوده که ابتدا مقواهائی با ابعاد مشخص و متشابه تهیه شده و یک صفحه صلب داخل سویل بین نسب شده است. که بعد از تنظیم نمودن باد داخل تایر به میزانهای مورد نظر، چرخ بر روی مقوایی که روی سطح صلب می‌باشد قرار گرفته و نیروی مشخصی به آن از طریق پیچ نیرو اعمال می‌شود(شکل ۱) میزان نیروی عمودی اعمالی به چرخ از طریق لودسل و نمایشگر به صورت دیجیتالی مشخص می‌شود.

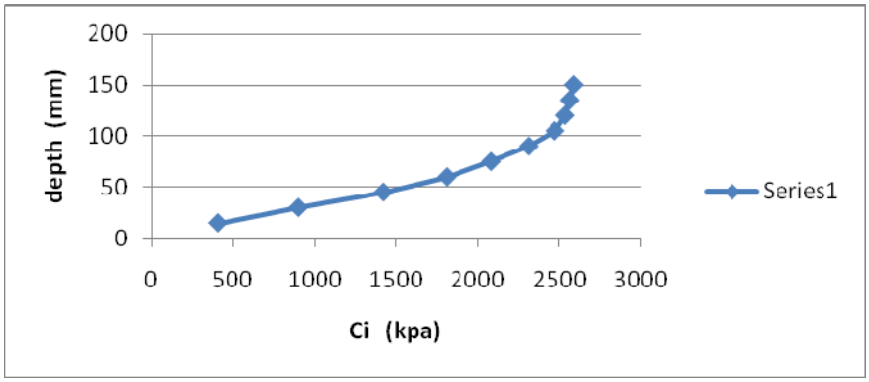
شکل ۱: نحوه ایجاد پروفیل سطح تماس چرخ بر روی کاغذ قرار گرفته بر روی سطح سخت

پس از قرارگیری تایر روی سطح مقوا اطراف سطح تماس با اسپری رنگ به دقت رنگ‌آمیزی می‌شود. بدیهی است که قسمتهایی از کاغذ که زیر تایر قرار گرفته است سفید و رنگ نشده باقی خواهند ماند. بنابراین مساحت این سطوح نمایشگر مساحت تماسی تایر با زمین می‌باشد (شکل ۲).

شکل ۲: یکی از پروفیل های ایجاد شده بر روی سطح کاغذ

در مرحله دوم آزمایشات با اعمال بارهای ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ٤۰۰ و ۵۰۰ کیلوگرم و فشارهای باد تایر ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و۲۵ پوند بر اینچ مربع معادل ۳٤/٤۸، ٦۸/۹۷، ۱۰۳/٤۵، ۱۳۷/۹٤، ۱۷۲/٤۳ کیلوپاسکال و حرکت تایر با سرعت ثابت ۲/۲۷ کیلومتر بر ساعت در داخل سویل بین به انجام رسید. آزمونگر تک چرخ مورد استفاده از نوع چهار بازویی موازی است که در هر یک از بازوهای افقی آن از یک لودسل S شکل با ظرفیت ۲۰۰ کیلوگرم استفاده شده است. با توجه به اینکه مقاومت به وجود آمده در برابر چرخ در قالب مجموع نیروها در هر چهار لودسل ظاهر می شود، از این رو بایستی در هر لحظه بتوان علاوه بر برداشت و ثبت داده در هر بازو، مجموع نیروی هر چهار بازو را هم بدست آورد. به همین منظور از یک سامانه جمع آوری و ثبت داده‌ها استفاده شده است که عبارت است از یک مجموعه نمایشگرهای نیرو و یک اینترفیس که داده های خروجی لودسل ها را به یک کامپیوتر منتقل می‌کند، مقدار مقاومت غلتشی تایر در حین حرکت با استفاده از لودسلها و دیتالاگر موجود روی دستگاه بدست آمد. دیتالاگر موجود قادر به ثبت ۲۰ دیتا در ثانیه بوده و مدت انجام هر تست نیز به میزان ۱۰ ثانیه بوده است. خاک موجود در داخل انباره خاک که آزمایشات روی آن به انجام رسید از نوع لوم رسی می‌باشد که میزان C_i خاک نیز در عمق‌های مختلف بوسیله یک پنترومتر دستی با مارک ریمیک (Remick) با قابلیت ثبت و نگهداری داده‌ها، در نقاط مختلف مسیر حرکت ثبت شد که شکل (۳) نشان دهنده روند تغییرات آن بر حسب عمق می‌باشد.

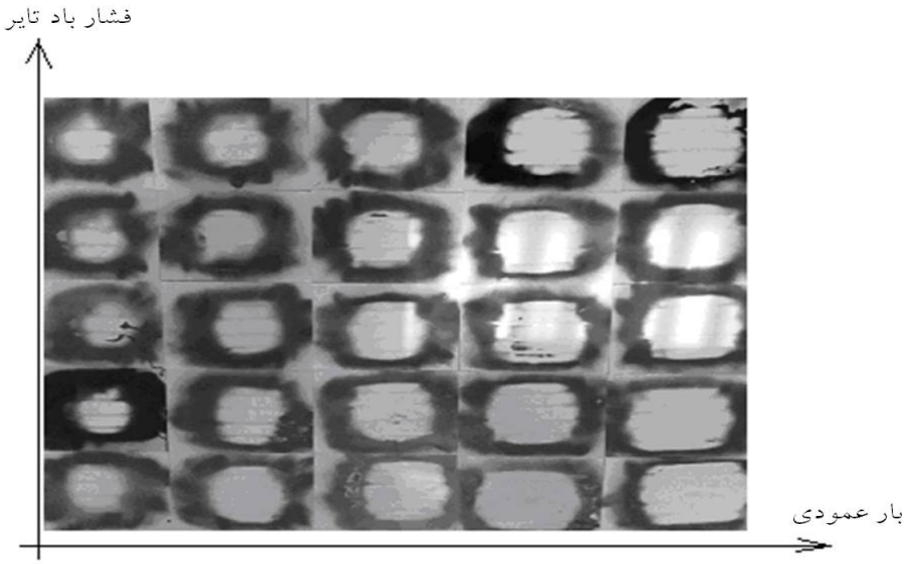
شکل۳ :روند تغییرات مقاومت نفوذی خاک در عمقهای مختلف



شکل ٤ تصویری از آزمونگر تک چرخ سویل بین مورد استفاده در این آزمایشات را نمایش داده است.

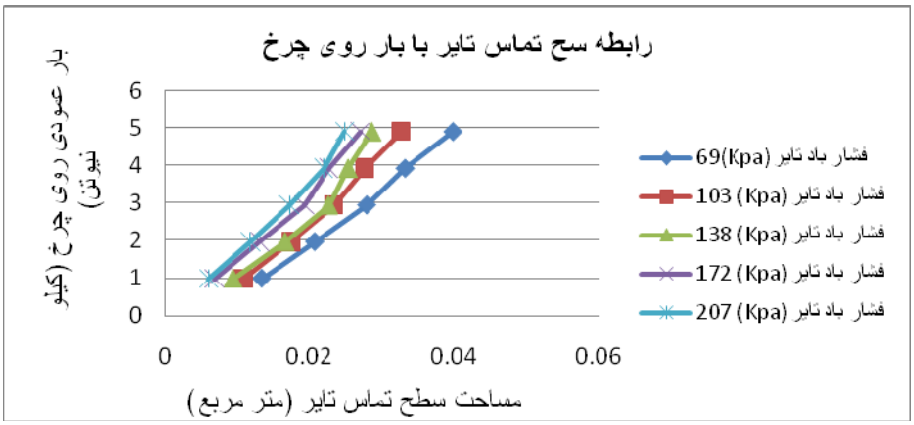
نتایج و بحث:

اندازه سطح تماس که در هر مرحله به‌دست آمده است برای هر یک از سطوح مختلف بار عمودی و فشار باد تایر مشخص شده است. شکل ٥ که با کنار هم قرار دادن نمونه‌های به دست آمده، روند تغییرات شماتیک سطح تماس چرخ را طی تغییرات بار و فشار باد تایر به نمایش در آورده است.

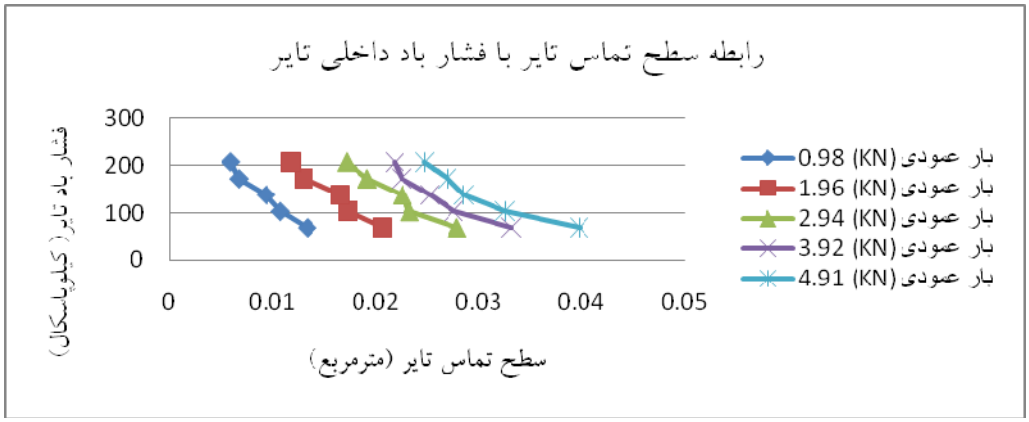


شکل ۵: روند تغییرات شماتیک سطح تماس چرخ با کنار هم قرار دادن نمونه‌های به دست آمده

شکل ٦ تغییرات سطح تماس چرخ را در اثر افزایش بار روی چرخ نشان داده است. بر اساس این نتایج افزایش سطح تماس ناشی از افزایش بار در تمامی سطوح فشار باد تایر مشاهده می شود که این افزایش در فشار باد کمتر، روند افزایشی بیشتری را نشان داده است. همین تغییرات در شکل ۷ هم به گونه دیگری نمایش داده شده است. در این شکل، کاهش سطح تماس چرخ همزمان با افزایش فشار باد تایر مشاهده می شود و این روند در تمامی سطوح بار روی چرخ تکرار شده است.

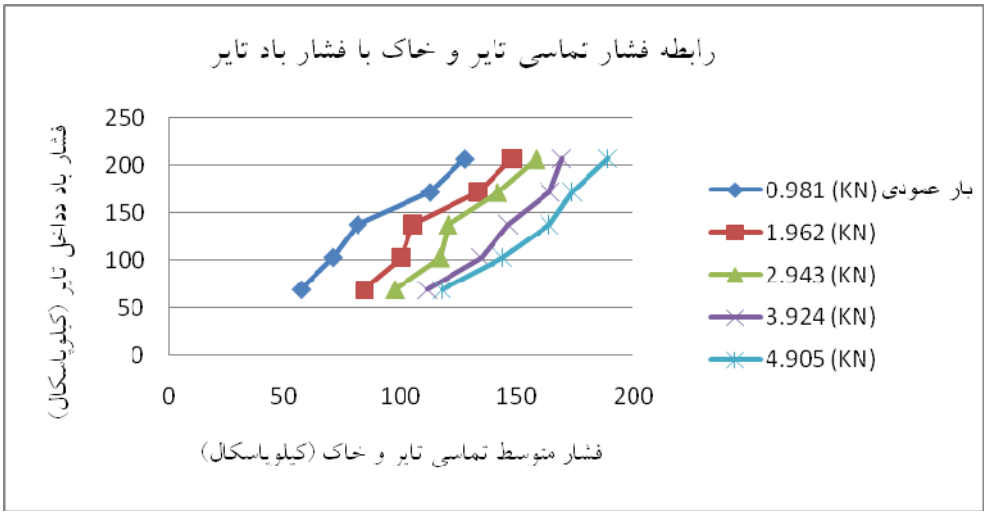


شکل ٦: تغییرات سطح تماس چرخ را در اثر افزایش بار

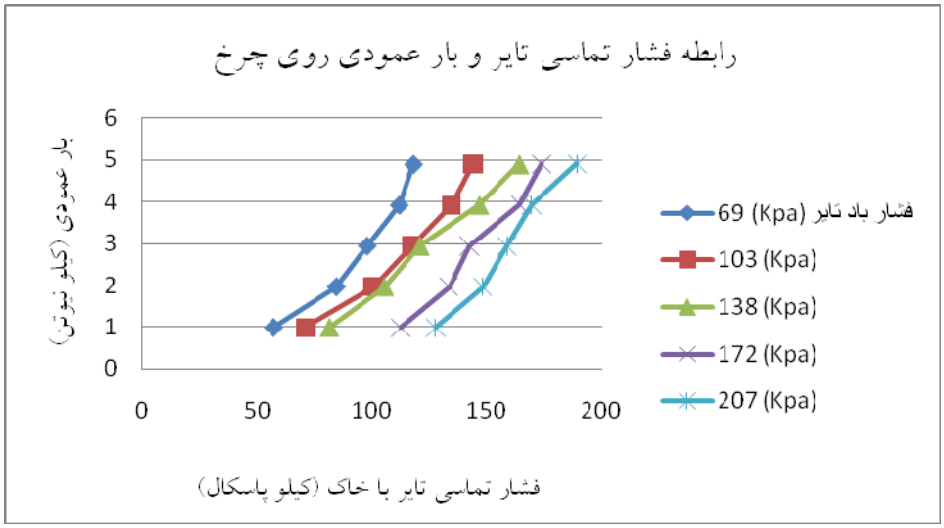


شکل۷: تغییرات سطح تماس چرخ را در اثر کاهش فشار باد تایر

تغییر سطح تماس چرخ باعث تغییر فشار متوسط بین چرخ و سطح زیرین خواهد شد. با فرض ثابت بودن این فشار در تمامی ناحیه سطح تماس می توان تغییرات فشار متوسط در سطح تماس را هم در بارهای مختلف به دست آورد. شکل های ۸ و ۹ رابطه مستقیم بین بار عمودی و فشار باد تایر با فشار متوسط زیر چرخ را تایید کرده است.



شکل ۸: تغییرات فشار متوسط زیر چرخ در برابر تغییرات فشار باد تایر در بارهای مختلف

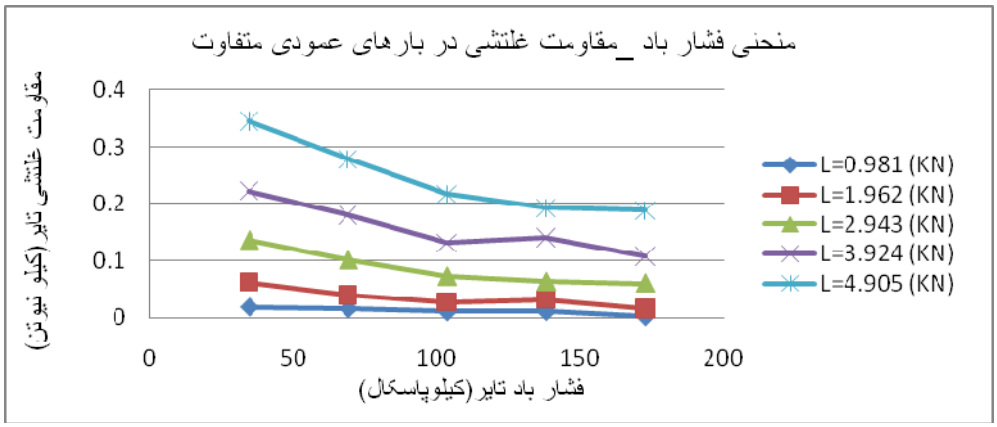


شکل۹: تغییرات فشار متوسط زیر چرخ در برابر تغییرات بار عمودی در فشارهای مختلف باد تایر

در قسمت دوم این تحقیق پس از جمع آوری اعداد بدست آمده از دیتالاگر و تحلیل آنها و مقایسه نتایج با مدلهای موجود، نتایج زیر بدست آمد. با توجه به شکل (۱۰) که نشان دهنده رابطه میان بار عمودی روی تایر و مقاومت غلتشی چرخ می‌باشد مشخص شد که با افزایش بار عمودی روی چرخ میزان مقاومت غلتشی چرخ افزایش می‌یابد که این افزایش در تمام بارهای متفاوت اعمالی دارای روندی مشابه است.با توجه به شیب نمودارها می‌توان نتیجه گرفت که تاثیر بار عمودی بر اندازه مقاومت غلتشی در فشارهای پائین باد تایر، بیشتر از تاثیر آن در فشارهای بالا باد تایر می‌باشد.

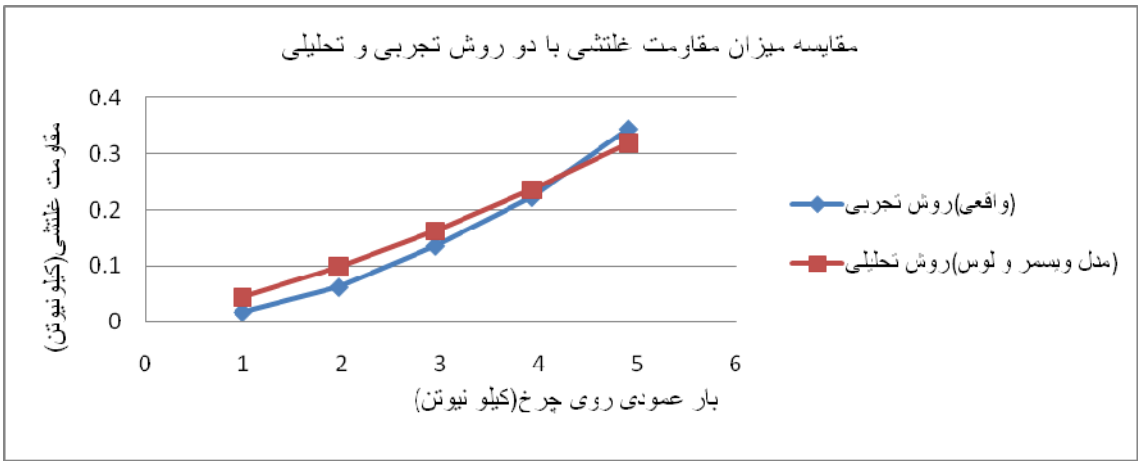
شکل۱۰: رابطه بار عمودی روی تایر و مقاومت غلتشی چرخ

شکل(۱۱) که بیان کننده رابطه میان تغییرات فشار باد داخل تایر و مقاومت غلتشی چرخ در بارهای عمودی متفاوت است، نشان می‌دهد که با افزایش فشار باد تایر از ۳٤/٤۸ تا ۱۰۳/٤٦ کیلوپاسکال، در تمامی بارهای عمودی اعمالی به تایر، میزان مقاومت غلتشی کاهش می‌یابد، اما با افزایش فشار باد تایر از این مقدار نمی‌توان رابطه معنی‌داری میان فشار باد تایر و میزان مقاومت غلتشی چرخ در خاک مورد آزمایش مشاهده نمود.



شکل ۱۱: رابطه میان تغییرات فشار باد داخل تایر و مقاومت غلتشی چرخ در بارهای عمودی متفاوت

با مقایسه مقادیر بدست آمده برای اندازه مقاومت غلتشی چرخ با استفاده از مدل ویسمر و لوس (شکل ۱۲) و مقادیر محاسبه شده از روش تجربی در یکی از فشارهای مورد استفاده به عنوان نمونه، تطابق بالای اعداد بدست آمده از دو روش تحلیلی و عملی دارد قابل مشاهده است.



شکل ۱۲: مقایسه مقاومت غلتشی چرخ با استفاده از دو روش عملی و تحلیلی

نتیجه‌گیری و پیشنهادات:

با توجه به نمودارهای بدست آمده مشخص شد که هرچه بار عمودی روی تایر افزایش یابد، میزان مقاومت غلتشی چرخ متحرک نیز افزایش خواهد یافت. اما این افزایش مقاومت غلتشی علاوه بر عامل بار روی تایر تابع پارامتر دیگری به نام فشار باد داخل تایر نیز می‌باشد یعنی میزان فشار باد داخل تایر نیز خود عاملی موثر بر اندازه مقاومت غلتشی چرخ است. بدین ترتیب که تاثیر افزایش بار عمودی بر افزایش مقاومت غلتشی چرخ در تایری که دارای باد کمتری می‌باشد بیشتر از تایری است که دارای باد تایر بیشتری می‌باشد که البته این روند در فشارهای باد پائینتر محسوستر بوده و با افزایش بیشتر فشار باد تایر تاثیر عامل فشار کمرنگتر می‌شود که می‌توان تاثیر هر دوی این پارامترها(فشار باد داخل تایر و بار عمودی روی چرخ) را در اندازه سطح تماس تایر و خاک به طور ملموسی مشاهده نمود. همچنین نتایج مقایسه میزان مقاومت غلتشی تایر با دو روش عملی و تئوری(استفاده از مدل ویسمر و لوس) حاکی از تطابق بالای نتایج با یکدیگر می‌باشد. در ادامه به منظور بررسی هرچه دقیقتر این عوامل پیشنهاد می‌شود تاثیر پارامترهای یاد شده در بافتهای خاک متفاوت و با Ci های متفاوت و با استفاده از تایرهای متنوع مورد بررسی قرار گیرد و همچنین به بررسی امکان سنجی روشی جهت اندازگیری اندازه سطح تماس تایر در حالت دینامیک و بر روی زمین غیر صلب پرداخته شود.

منابع:

1- Bekker, M. G. 1961. Off-the-Road Locomotion. Ann Arbor, Mich.: University of Michigan Press.

2-Clark, R, L., and G. Van de linde. 1993. A rapid automatic tractor ballast system. Trans. ASAE 36(5):1261-1266.

3- Garman, K. & Aydin C. 2002. Load and velocity effects on tire. In Proc. International conference on Agriculture Engineering, 29-30.

4- Komandi, G.1999.An evaluation of the concept of rolling resistance .Journal of Terramechanics 36(1999)159-166.

5- Mohsenimanesh, A.2008. Stress analysis of a multi-laminated tractor tire using non-linear 3d finite element analysis.

6-Mohsenimanesh, A. 2009 .Modeling of pneumatic tractor tyre interaction with multi-layered soil .IAgrE.

7- Muro, T.1997.coparison of the traffic performance of a two axle four wheel drive (4wd), rear drive (RWD) , and front wheel drive (FWD) vehicle on loose sandy sloped terrain .J. Terramechanics 6(4):31-38.

8- Osetinsky, A. & Shmulevich , I.2004 .Traction performance simulation of a pushed/pulled driven wheel. ASAE, ISSN 0001-2351.

9- Saarilahti, M. 2002. Modeling of the wheel and tyre. University of Helsinki, Department of forest resource management.

10- Szymaniak, G. Effects of reduced inflation pressure and ride velocity on soil surface deformation. The technical university Lublin, Poland.

11-Schwanghart, H. 1990. measurement of contact are, contact pressure and compaction under tires in soft soil. Proc.10th ISTVS Conf, kobe Aug 20-24, 1990. I193-204

12-Schmid, I. c. 1995. Interaction of the vehicle and terrain result from 10 years research at IKK. Journal of Terramechanics 32(1):3-27.