

## بررسی تجربی سطح تماس تایر با استفاده از تکنیک پردازش تصویر

امین شرفخانی	دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه ارومیه
عارف مردانی	دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه ارومیه
آرش محبی	استادیار گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه ارومیه
سجاد درفش پور	دانش آموخته دکتری گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه ارومیه

چکیده:

هدف از این تحقیق معرفی روش جدیدی برای اندازه گیری سطح تماس تایر در شرایط دینامیکی بود. اصول این روش مبتنی بر حرکت یک تایر بر روی سطح شیشه ای بود که روی آن مایع ریخته شده بود. تصویربرداری از زیر تایر صورت گرفت و پس از انجام مراحل قبل از پردازش، آستانه گذاری و پس از پردازش در نرم افزار MATLAB، منطقه مربوط به سطح تماس تایر اندازه گیری شد. تجزیه و تحلیل انجام شده نشان داد که نوع منطقه تماس دارای نظم معینی است. با حرکت دادن چرخ، یک منطقه تماس یکسان از نظر کمی و شکلی ایجاد شد. پارامترهای متغیر مورد استفاده در این تحقیق سرعت پیشروی و بار چرخ بود.

تعداد ۶ تایر با نسبت مقطع یکسان و عرض و قطر رینگ متفاوت بر روی آزمونگر تک چرخ نصب و آزمون‌ها به انجام رسیده است. نتایج حاکی از تفاوت سطح تماس دینامیکی نسبت به سطح تماس استاتیکی در همه شرایط بار و سرعت پیشروی بود. افزایش سرعت پیشروی منجر به کاهش سطح تماس گردیده است. با افزایش عرض تایر، مقدار سطح تماس تایر افزایش یافت و نیز تغییرات سطح تماس نسبت به عرض تایر تقریباً به صورت خطی دیده می‌شود. طول تماس استاتیک تایر با سطح زمین، در همه ترکیب‌های تیماری آزمایش شده، بیشتر از طول تماس حالت دینامیک بوده است. با افزایش بار، مقدار فشار تماسی کاهش یافته و تغییرات فشار تماسی نسبت به بار تقریباً مستقل از مقدار سرعت پیشروی دیده شده است.

**واژگان کلیدی:** تایر، سطح تماس، سطح تماس دینامیک، آزمونگر تک چرخ، انباره خاک.

### مقدمه

الگوهای سطح تماس تایر وسیله نقلیه بر روی زمین و توزیع فشار متناظر با تغییرات بار وسیله نقلیه می‌تواند نشانگر کیفیت تایر و حالت سایش باشد. همچنین، اندازه‌گیری الگوی سطح تماس تایر می‌تواند برای طراحی و ارزیابی عاج تایر و نیز ارزیابی

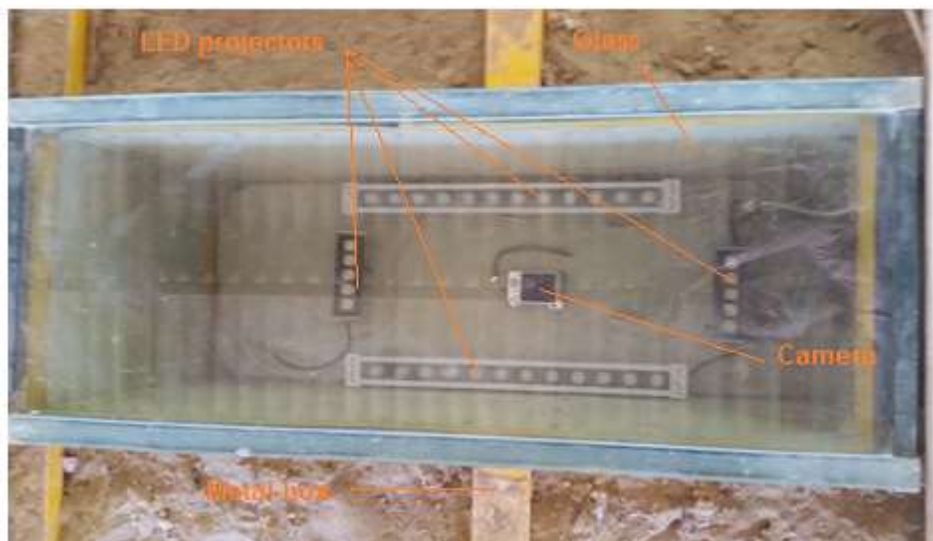
تعلیق وسیله نقلیه مفید باشد. اندازه‌گیری این سطح تماس می‌تواند در تخمین مقاومت غلتشی که در اتلاف انرژی موثر است نیز سودمند باشد. هنگامی که مواد تایر به صورت مداوم طی غلتش تایر تغییر شکل می‌دهند، اتلاف به دلیل رفتار ویسکوالاستیک مواد تایر رخ می‌دهد. (گرچنگو، ۱۹۹۵). علیرغم مشکلات زیاد، محققان سعی در درک رفتار سطح تماس به دلیل رابطه آشکار بین سطح تماس تایر و سایر خصوصیات تایر مانند کشش، راحتی سواری و سایش لاستیک دارند. به طور کلی روش‌های اندازه‌گیری سطح تماس تایر عبارتند از روش کاغذ حرارتی، روش سطح تماس رنگی، روش سطح رنگی، روش صفحه شیشه‌ای، روش برداشت و پردازش تصاویر دیجیتال و روش سنسور پیزو. روش تصویر دیجیتال (DIC) یک روش تجزیه و تحلیل تصویر، مبتنی بر تصاویر دیجیتالی است که می‌تواند کانتور و تغییر مکان یک جسم تحت بار را در سه بعد تعیین کند که اغلب برای اندازه‌گیری تغییر شکل‌ها، کرنش‌ها و جریان‌های نوری استفاده می‌شود. اجرا و استفاده از این نرم افزار نسبتاً آسان است. از دوربین‌ها برای ثبت مکان‌های خاص استفاده می‌شود و موقعیت مکان نسبت به مکان‌های دیگر ثبت می‌شود. سپس مفهوم همبستگی متقابل از شیفتهای اندازه‌گیری در مجموعه داده‌ها استفاده می‌شود. اندازه‌گیری سطح تماس تایر با سطح به روش‌های مختلفی توسط محققین به انجام رسیده است. در ساده‌ترین روش‌ها با پاشیدن رنگ در اطراف تایر و سپس با جابجا کردن تایر سطح تماس ایجاد شده بر روی خاک اندازه‌گیری می‌گردد (Taghavifar and Mardani, 2013). تقوی‌فر و مردانی در مطالعه دیگری به بررسی سطح تماس چرخ و خاک به عنوان پارامتر مهم و تاثیرگذار بر تنش‌های به وجود آمده در خاک پرداخته‌اند. اندازه‌گیری سطح تماس چرخ و خاک در این تحقیق با استفاده از تکنیک پردازش تصویر و روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی به انجام رسیده است (Taghavifar and Mardani 2014). درفش پور و همکاران با استفاده از تصویربرداری از زیر تایر و پردازش تصاویر به تعیین سطح تماس چرخ‌های آجدار پرداخته‌اند (Derafshpour et al. 2019)

## مواد و روشها

در این تحقیق، از تعداد ۶ تایر استاندارد با مشخصات نشان داده شده در جدول ۳-۱ استفاده شده است که همگی دارای نسبت مقطع یکسان بوده و قطر و پهنای تایرها متغیر در نظر گرفته شده است. همه تایرها از نوع رادیال بوده و نسبت مقطع آنها ۶۰ است و تنها عرض و قطر تایر به عنوان متغیر در نظر گرفته شده است. سه سطح بار ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر روی تایرها اعمال شده است. سرعت پیشروی در سه سطح ۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است.

طی تحقیق حاضر، برای ثبت داده‌های مربوط به سطح تماس چرخ از یک باکس فلزی استفاده شده است که در داخل کانال خاک سویل بین و در مسیر حرکت چرخ ثابت شده است. این باکس توسط یک صفحه شیشه‌ای با ضخامت ۲۰ میلی‌متر و ابعاد ۱۳۰\*۵۰ سانتیمتر پوشانده شده است. عمق باکس ۴۰ سانتیمتر است. یک دوربین دیجیتالی برای عکس برداری و فیلمبرداری از

فرایند حرکت چرخ از روی شیشه و باکس در کف آن قرار گرفته است. به منظور تامین نور کافی در هنگام تصویربرداری از لامپ های LED در چهار طرف دوربین استفاده شده است که در هنگام داده برداری نور را به سمت بالا و در سطح درگیری چرخ و سطح شیشه ای پروجکت می نمایند.



شکل ۱ باکس شیشه ای و بخش های پروجکت نور و تصویربرداری

سطح روی شیشه با استفاده از یک مایع سفید (ترکیب نشاسته و آب) با ضخامت ۳ میلیمتر پوشانده می گردد. با عبور چرخ از روی لایه مایع و تماس با شیشه، تصویر برداری از داخل باکس انجام شده و این تصویر، ترکیبی از یک زمینه سفید رنگ و بخش های تیره ای است که ناحیه درگیری چرخ و سطح شیشه را نشان می دهد.



شکل ۳ یک فریم از فیلم ذخیره شده نمونه ای از آزمایشها

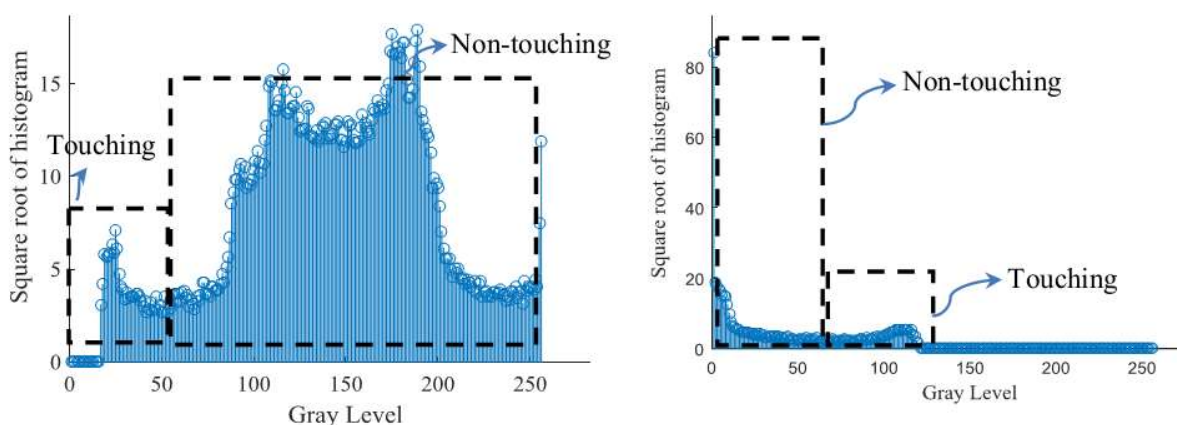


شکل ۲ ریختن مایع بر روی سطح شیشه

پس از آماده شدن سطح شیشه و آغاز تصویربرداری توسط دوربین داخل محفظه، چرخ با سرعت پیشروی و بار معین از روی شیشه عبور می‌کند. با گذشتن چرخ از روی شیشه فیلم برداری قطع شده و دوربین برای کنترل ضبط فیلم و انتقال به کامپیوتر از محفظه خارج می‌گردد. شکل ۳-۱۲ یک فریم از فیلم ذخیره شده نمونه‌ای از آزمایش‌ها را نشان داده است. در محدوده تماس تایر با سطح شیشه‌ای، مایع کنار زده شده و سطح تماس در قالب یک منحنی بسته با رنگ تیره نمایان است.

برای تشخیص نواحی تماس تایر از مناطق دیگر، تصویر با استفاده از روش آستانه Otsu به مناطق تماسی و غیر تماسی تقسیم شد. این یک الگوریتم بدون نظارت است که آستانه‌های بهینه را بر اساس هیستوگرام تصویر انتخاب می‌کند. یافتن یک آستانه بهینه، که پیکسل‌ها را به طور دقیق در کلاس‌های تماسی و غیرتماسی تقسیم بندی کند، از اهمیت بالاسس برخوردار است. عوامل مختلفی از جمله بازتاب نور، روشنایی ناهموار و آلودگی مایع منجر به افزایش خطا می‌شود. برای کاهش تنوع شدت پیکسل‌های غیر تماسی، یک تصویر تفاوت تعریف شد به طوری که در آن پیکسل‌های لمس شده و دست نخورده به خوبی از هم جدا شده‌اند.

استفاده از روش Otsu در این روش مشکلاتی دارد چرا که پیکسل‌ها را به پیکسل‌های تماسی و غیر تماسی تقسیم می‌کند، بدون اینکه در نظر داشته باشد پیکسل‌های لمس کننده‌ای وجود دارد یا نه. این روش در فریم‌هایی که پیکسل‌های تماسی و غیر تماسی وجود دارند، به خوبی کار می‌کند. با این حال، برخورد با فریم‌هایی که پیکسل‌های تماسی در آنها وجود ندارد (وقتی تایر روی شیشه قرار نگیرد)، نمی‌تواند به درستی همه پیکسل‌ها را طبقه بندی کند. شکل ۴ نتایج را برای یک نمونه فیلم نشان می‌دهد که در آن همه پیکسل‌ها لمس نمی‌شوند و همچنین نتیجه تقسیم بندی آن با استفاده از روش Otsu است.



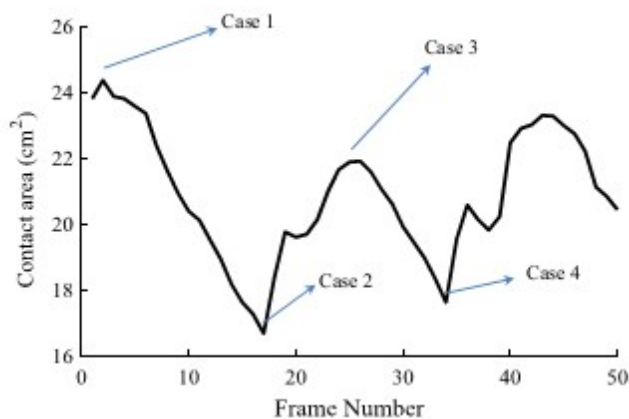
شکل ۴ تشخیص ناحیه تماسی و غیر تماسی در پردازش تصویر سطح تماس

برای اندازه گیری ناحیه تماس ، تصویر تقسیم شده اسکن شده و تعداد پیکسل های لمس کننده شمارش می شود. هر پیکسل متناسب با مقدار مشخصی از منطقه است که به صورت تجربی تعیین شده است. عرض شیشه متناسب با ۴۸۰ پیکسل ۵۰ سانتی متر است.

## نتایج و بحث

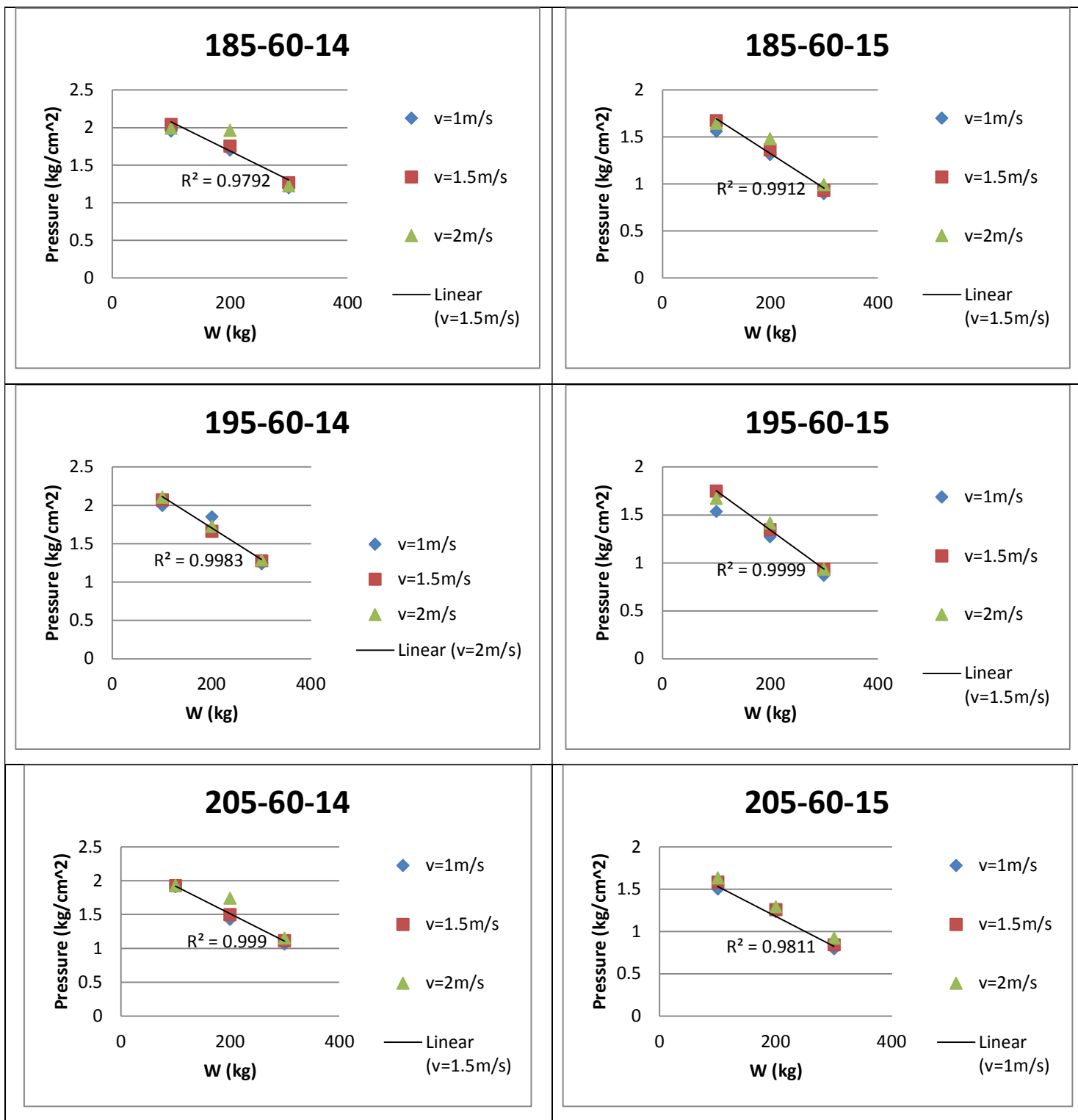
در این مطالعه به بررسی اثر دو پارامتر سرعت پیشروی و بار روی چرخ بر مقدار سطح تماس و طول تماس تایر با سطح سخت برای تعداد شش تایر با مشخصات استاندارد ۸۵-۶۰-۱۴، ۹۵-۶۰-۱۴، ۲۰۵-۶۰-۱۴، ۸۵-۶۰-۱۵، ۹۵-۶۰-۱۵ و ۲۰۵-۶۰-۱۵ پرداخته شده است.

شکل ۵ تغییر منطقه تماس را در قابهای مختلف در یک شرایط دینامیکی نشان می دهد. این نمودار از جنبه های مختلف قابل بررسی است. اولین نتیجه این است که منطقه تماس تقریباً یک عملکرد دوره ای جابجایی است. از آنجا که بسیاری از مطالعات اخیر در تعیین سطح تماس تایر در شرایط استاتیک متمرکز بوده است ، موردی برای مقایسه نتیجه بدست آمده وجود ندارد.



شکل ۵ سطح تماس دینامیکی تایر

بررسی این نتایج حاکی از نقطه نظرانی به شرح موارد زیر است که بیشترین تاثیرپذیری فشار تماسی تایر از جانب بار روی تایر بوده است و با افزایش بار، مقدار فشار تماسی با شیب نسبتاً تندی کاهش یافته است. این موضوع در شرایطی اتفاق افتاده است که با توجه به اینکه طبق نتایج بخش های قبلی، افزایش بار موجب افزایش سطح تماس تایر نیز می گردد. به عبارتی فشار تماسی که به صورت نسبت بار به سطح تماس تعریف شده است با افزایش بار، همزمان افزایش پارامترهای صورت و کاهش مخرج کسر را تجربه می کند و از این رو به صورت دوسویه باعث کاهش فشار تماسی شده است.



شکل ۶ تاثیر بار بر فشار تماسی تایر در سطوح مختلف سرعت پیشروی

## خلاصه و نتیجه گیری

در این تحقیق به مطالعه‌ی تاثیر بار و سرعت پیشروی بر مشخصات سطح تماس تایرهایی با هندسه متفاوت طی آزمایش‌های تجربی با استفاده از آزمونگر تک چرخ موجود در آزمایشگاه ترامکانیک گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه ارومیه پرداخته شده است. در این تحقیق، یک سیستم جدید برای اندازه‌گیری پویا این معیار ارائه شده است. یک جعبه فلزی با سطح شیشه استفاده می‌شود و یک مایع سفید روی شیشه ریخته می‌شود. یک دوربین دیجیتال نیز در زیر جعبه قرار داده شده است که با عبور لاستیک از روی آن، یک فیلم ضبط می‌کند. فریم‌های ویدئو با استفاده از تکنیک‌های مناسب قبل از پردازش، آستانه‌گذاری و پس از پردازش، به مناطق "لمس" و "غیر لمس" تقسیم می‌شوند. منطقه مناطق لمس به طور خودکار اندازه‌گیری می‌شود. آزمایشات نشان داد که سیستم پیشنهادی ابزاری دقیق برای اندازه‌گیری بلادرنگ منطقه تماس پویا است.

نتایج به دست آمده از آزمایش‌های تجربی حاکی از آن بوده است که با افزایش سرعت پیشروی چرخ، مقدار سطح تماس تایر تقریباً به صورت خطی کاهش یافته است و این روند در تایرهای قطر ۱۴ و ۱۵ مشاهده می‌شود و البته این روند در تایرهای سه گانه با قطر رینگ ۱۵ اینچ بیشتر صادق بوده است. در همه ترکیب‌های تیماری آزمایش شده، مقدار سطح تماس استاتیک تایر با سطح زیرین، بیشتر از سطح تماس حالت دینامیک بوده است و همچنین مقدار سطح تماس استاتیکی از روند خطی تغییرات سطح تماس - سرعت پیروی نمی‌کند به عبارت دیگر روابط سطح تماس - سرعت برای سطوح سرعت پیشروی کمتر از ۱ متر بر ثانیه نمی‌تواند همچنان روندی خطی داشته باشد.

## منابع

1. S. Derafshpour, A. Mardani, M. Valizadeh, Evolutionary algorithms application for improving the tire rolling resistance based on Wismer-Luth model, *Neural Computing and Applications*, (2019) 1-11.
2. Godbole, R., Alcock, R. & Hettiaratchi, D. 1993. The prediction of tractive performance on soil surfaces. *Journal of Terramechanics* 30(6):443-459.
3. Hallonborg, U. 1996. Super ellipse as tyre-ground contact area. *Journal of Terramechanics* 33(3):125-132.
4. Komandi, G. 1990. Establishment of soil-mechanical parameters which determine traction on deforming soil. *Journal of Terramechanics* 27(2):115-124.
5. Lyasko, M., I. 1994. The determination of deflection and contact characteristics of a pneumatic tire on a rigid surface. *Journal of Terramechanics* 31(4):239-242.

6. Maclaurin, E. B. 1997. Proposed revisions to MMP based on the tractive performance trials with single pneumatic tyres and a modular track system. DERA/LS/TR970122/1. DERA, Chertsey, UK.
7. Schwanghart, H. 1990. Measurement of contact area, contact pressure and compaction under tires in soft soil. Proc. 10th ISTVS Conf, Kobe Aug 20-24, 1990. I:193-204
8. Sharma, A. K. & Pandey, K. P. 1996. A review on contact area measurement of pneumatic tyre on rigid and deformable surfaces. *Journal of Terramechanics* 33(5):253-264.
9. H. Taghavifar, A. Mardani, 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 (2013) 4038-4044.
10. Taghavifar, H., and A. Mardani. 2017. *Off-road Vehicle Dynamics-Analysis Modeling and Optimization*. Switzerland: Springer International Publishing.
11. Upadhyaya, S. K. & Wulfsohn, D. 1990. Relationship between tyre deflection characteristics and 2-D tyre contact area. *Transaction of the ASAE* 33(1):25-30.
12. Ziani, F. & Biarez (1990). Pressure sinkage relationship for tyres on very loose sand. *Journal of Terramechanics* 27(3):167-177.

**Abstract:**

The aim of this research was to introduce a new method for contact area measurement in dynamic conditions. The principal of this approach were based on moving a tire over a glass surface that had been poured liquid on it. After pre-processing, thresholding, and post-processing operations in the MATLAB software, the area related to the lug parts was measured. The extracted analysis indicated that the contact area variation has a periodic discipline. By moving the wheel, an identical contact area was created quantitatively and formally. The variable parameters used in this research were inflation pressure and wheel load. In the constant inflation pressure, wheel load could not increase the average contact pressure significantly. As a result, most of the incremental load was spent on the deformation of the tire. However, it is suggested that the other parameters of tire type and forward velocity could be investigated further, in order to study their effects on the contact area.