

اعتبار سنجی شبیه سازی اجزای محدود مقاومت غلتشی چرخ غیر محرک با آزمون های تجربی

نسا دیباگر^۱، عارف مردانی^۲، اسعد مدرس مطلق^۳، حجت جعفری^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ned_441@yahoo.com

۲. استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه

۳. دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه

۴. کارشناس ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه ارومیه

چکیده:

در این مطالعه به منظور شبیه سازی بر همکنش تایر- خاک از روش اجزای محدود و نرم افزار آباکوس/اکسپلیسیت استفاده شده است تا تاثیر تغییرات سرعت پیشروی، بار عمودی و فشار باد تایر روی مقاومت غلتشی آن مورد بررسی قرار گیرد. برای شبیه سازی خاک به عنوان ماده الاستو پلاستیک از مدل دراگر- پراگر و برای مدل کردن تایر به عنوان لاستیک تقریباً تراکم ناپذیر از مدل هایپر الاستیک کرنش محدود استفاده شده است. آزمون های تجربی نیز با استفاده از آزمونگر تک چرخ و انباره خاک در سه سطح از سرعت پیشروی و فشار باد تایر و در پنج سطح از بار عمودی انجام گرفته اند. مقایسه نتایج حاصل از هر دو روش حاکی از مطابقت خوب نتایج در سرعت ها، بارهای عمودی و فشار بادهای مختلف روی مقاومت غلتشی است. در هر دو آزمون با افزایش بار عمودی تایر میزان مقاومت غلتشی به طور معنی داری افزایش یافته است بطوری که ضریب همبستگی بین نتایج تجربی و عددی در کمترین و بیشترین بار عمودی به ترتیب برابر ۸۰ و ۷۸ درصد می باشد. تغییرات فشار باد تایر و مقاومت غلتشی در هر دو آزمون نسبت معکوسی با هم داشته و در آزمون های عددی شیب تغییرات مقاومت غلتشی در برابر فشار باد تایر نسبت به آزمون های تجربی کمتر است.

واژه های کلیدی: آباکوس، انباره خاک، المان محدود، برهمکنش تایر- خاک و مقاومت غلتشی.

مقدمه:

مواجهه با خاک از دیدگاه مدیریت خاک و تولید محصول، همیشه مورد توجه بسیار بوده و کوشش می شود که ابزارها و روش های تقابل با خاک، به گونه ای طراحی شوند که تا حد امکان از پیامدهای تخریبی خاک و نیز هدر رفت انرژی که خود در برگزیده محدودیت های اقتصادی و زیست محیطی می باشد، پیشگیری شود. بهتر کردن روش های روبرویی با خاک و اصلاح کیفیت 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 می نماید لذا شبیه سازی های عددی کلید تمام



بهینه سازی هایی است که با حذف آزمایش های مزرعه ای پر هزینه و کاهش زمان تحقیق مدل های مناسبی را ارائه می دهند. چرخ به عنوان یکی از عمده ترین عوامل درگیر با خاک، در شمار ابزارهایی است که علاوه بر محیط های مزرعه ای، در محیط های نرم افزاری هم قابل بررسی و شبیه سازی است بطوری که از دیر باز، علیرغم پیچیدگی رفتار خاک و هندسه تایر مدل کردن حرکت چرخ بر روی خاک مد نظر پژوهشگران بوده است. در توصیف ساده‌ی حرکت چرخ بر روی خاک می‌توان گفت که در اثر حرکت چرخ روی خاک، خاک فشرده گشته و ردی متناسب با ابعاد خود ایجاد می‌کند به طوری که عمق این رد متناسب با بار روی چرخ و وضعیت خاک است. از این رو حرکت چرخ بر روی خاک، نیازمند صرف انرژی نا خواسته ای است که صرف تغییر فرم خاک خواهد شد.

در راستای این مقدمه بولارینوا و همکارش با شبیه سازی دو بعدی تایر توسط نرم افزار المان محدود آباکوس در یک محیط گسسته مدل مناسبی به عنوان جایگزین تایر جهت انجام تست های مخربی چون ترکیدگی ارائه کردند. در این شبیه سازی خواص همگن ارتوتروپیک و غیرخطی برای مولفه های تایر در نظر گرفته شد. بولارینوا در آزمایش خود علاوه بر بررسی ارتباط خواص هندسی مولفه های بکار رفته در مدل تعدد لایه ها را نیز مورد مطالعه قرار داد (Bolarinwa and Olatunbosun, 2004). محسنی منش و همکاران با استفاده از نرم افزار انسیس و به روش عددی، مدل المان محدود غیرخطی از اثر متقابل یک تایر تراکتور با سطح خاک ارائه کردند. در این مطالعه با در نظر گرفتن ساختار هندسی و خواص ناهمسانگرد چند لایه ای تایر و خاک، نحوه توزیع فشار مماسی در بارهای عمودی و فشارهای باد مختلف با استفاده از تحلیل فشار استاتیکی غیر خطی بدست آمد و با نتایج حاصل از آزمون های تجربی مقایسه گردید. حداکثر فشار مماسی بین تایر - خاک در روش عددی بین ۳۲ تا ۵۳ درصد کمتر از مقدار بدست آمده در آزمون های تجربی و در شرایط مشابه بود (Mohsenimanesh *et al.*, 2009). همبلتون و درسچر رد تایر را به روش عددی و روی خاکی با یک ساختار ساده الاستیک - پلاستیک (شامل یک قسمت الاستیک خطی و یک قسمت کاملاً پلاستیک با شرایط تسلیم موهر-کولمب) مدل سازی کردند. در این تحقیق تایر به شکل استوانه ی صلب با چرخش و حرکت افقی مدل سازی شده و با تحلیلی کاملاً دینامیکی توسط نرم افزار آباکوس/اکسپلیسیت و به روش فرمول بندی لاگرانژین - اویلرین اثر پارامترهایی چون مقاومت خاک (رسی و شنی)، اتساع و هندسه تایر (تغییرات عرض نسبت به قطر) در رابطه بین نیروی بارگذاری چرخ مورد بررسی قرار گرفت (Hambleton and Dresher, 2009). کایمینگ با ارائه یک مدل توسط نرم افزار آباکوس برهم کنش متقابل چرخ و خاک را بطور عددی تحلیل کرد. وی با شبیه سازی تایر و خاک به عنوان دو مولفه تغییر شکل پذیر در مدل اصلی اثر تغییرات فشار باد تایر، سرعت زاویه ای چرخ و خواص اصطکاکی در سطح تماس تایر و خاک را روی این برهم کنش مورد مطالعه قرار داد. از جمله نتایج بدست آمده در این تحقیق تاثیر افزایش فشار باد تایر روی تغییر شکل هیپرالاستیکی تایر تحت بار ثابت است (Kaiming, 2010). لی شبیه سازی تقابل بین تایر بادی - برف را با مقاومت کم توسط نرم افزار آباکوس/اکسپلیسیت انجام داد. برای شبیه سازی المان محدود سه بعدی تایر و برف به ترتیب از مدل ماده ی



الاستیک، وپسکوالاستیک و هایپر الاستیک و مدل ماده دراگر- پراگر اصلاح شده استفاده گردید. وی رده کاملی از تنش های طولی و جانبی را برای سه بار عمودی مختلف مورد مطالعه قرار داد و با تحلیل نیروهای بین وجهی و فرورفتگی تماسی به درک جامعی از تقابل برف و جاده رسید. نتیجه گیری های لی حاکی از آن است که طول تماس با افزایش بار عمودی افزایش می یابد علاوه بر این با افزایش بار عمودی و زاویه لغزش، در همه شبیه سازی ها میزان فرورفتگی نیز افزایش یافت (Lee, 2011). ایکسیا از روش المان محدود برای شبیه سازی برهم کنش خاک-تایر و پیش بینی تراکم خاک و تحرک تایر استفاده کرد. برای مدل کردن خاک در نرم افزار آباکوس از مدل دراگر-پراگر (ماده الاستیک- پلاستیک) برای مدل کردن تایر بدون عاج از مدل هایپر الاستیک کرنش محدود (ماده الاستیک تقریباً تراکم ناپذیر) استفاده شده است. در این تحقیق اثرات فشار باد تایر، سرعت زاویه ای چرخ و نیز خواص اصطکاکی تایر- خاک بررسی شده است (Xia, 2011). هدف از این مطالعه دست یابی به الگوی مناسبی از شبیه سازی کامپیوتری برای غلتش تایر در خاکی با بافت رسی _ لومی است که عمده بافت خاک آذربایجان غربی را تشکیل می دهد.

مواد و روشها:

آزمایش های عملی تایر با استفاده از دستگاه آزمونگر تک چرخ و انباره خاک واقع در دانشگاه ارومیه انجام شد (شکل ۱).



شکل ۱- آزمونگر تک چرخ و انباره خاک مورد استفاده در آزمون های تجربی

شبیه سازی های عددی این تحقیق نیز با استفاده از بسته نرم افزار اجزای محدود کد آباکوس/اکسپلیسیت و با تحلیل های کاملاً دینامیکی انجام شده است. با استفاده از این نرم افزار می توان تغییر شکل های بزرگ را با تحلیل لاگرانژین- اویلرین مدل کرد. در آباکوس/اکسپلیسیت، شرط تسلیم موهر- کلمب توسط شرط تسلیم دراگر- پراگر تقریب زده شده است و مدل های توسعه یافته دراگر- پراگر برای مدل کردن مواد اصطکاکی (مواد گرانوله مانند خاک) توسعه یافته اند. برای این شبیه سازی، ابتدا مدل های خاک و قسمت های مختلف تایر بطور جداگانه طراحی شدند. خاک مورد استفاده این تحقیق، خاکی لومی _ رسی دارای ۱۳/۸٪ شن و ۷۹/۳۱٪ ماسه است که عمده بافت خاک منطقه آذربایجان غربی به شمار می رود و خصوصیات موهر _ کولمب آن از طریق آزمون برشی مستقیم بدست آمده اند. به منظور طراحی مدل تحقیق، خاک به صورت یک ماده تک لایه با ساختار الاستیک-پلاستیک



کامل در نظر گرفته شده است. پارامترهای مربوط به آن (دو پارامتر الاستیک: مدول یانگ E و ضریب پواسون ν : سه پارامتر پلاستیک: زاویه اصطکاک ϕ ، چسبندگی c، و زاویه فراج $\psi \leq \phi$) از طریق تست‌های فشار سه محوری (انجام شده در آزمایشگاه خاک دانشگاه ارومیه) روی نمونه‌های خاک گرفته شده از مزرعه اطراف دانشگاه ارومیه بدست آمده اند. در این آزمون ها، زاویه اصطکاک داخلی خاک ۳۱ درجه، ضریب چسبندگی خاک ۰.۰۰۳ کیلو گرم بر سانتی متر مربع، چگالی ۱۶۰۰ کیلو گرم بر متر مربع، وزن مخصوص تر ۱۶۲۰ و وزن مخصوص خشک خاک ۱۴۹۰ کیلو گرم بر متر مربع تعیین شد. در همه شبیه سازی ها پارامترهای الاستیک برابر $E/\gamma d = 1250$ و $\nu = 0.3$ در نظر گرفته شده اند که d قطر تایر می باشد. ابعاد پروفیل خاک به اندازه کافی بزرگ در نظر گرفته است تا تاثیری در نتایج و نشست تایر نداشته باشد.

تایر مورد استفاده نیز چرخ غیر محرک کشاورزی از نوع 9.5 L 14 با عرض ۲۶ سانتیمتر، قطر خارجی ۷۰ سانتیمتر با ساختار شعاعی (رادپال) و محصول کارخانه گودبیر می باشد. شبیه سازی مدل تایر نیز همانند خاک مستلزم تعیین مختصات هندسی و خواص فیزیکی اجزای مختلف بکاررفته در آن و اعمال آنها به نرم افزار است. از آنجایی که چشم پوشی از جزئیات طرح ترد به عنوان قسمتی از تایر که در تماس با خاک است اثرات بسیار جزئی روی برخی از تغییرات بزرگ از قبیل تغییر شکل و بارگذاری دینامیکی تایر دارد (Ghoreishy, 2009) به همین دلیل تایر شبیه سازی شده در این تحقیق کاملاً ساده سازی شده و شامل ترد، لاستیک چند لایه تقویت شده و رینگ است. برای طراحی ترد تایر خواص ماده هایپر الاستیک تراکم ناپذیر با ثابت های مونی ریولین در نظر گرفته شده است (Karaytuğ, 2009; Mohsenimanesh et al., 2009). برای طراحی لاستیک داخلی مدل تایر که خود متشکل از تسمه ها و کارکس می باشد خواص لاستیک چند لایه تقویت شده و برای طراحی رینگ خواص فلز صلب در نظر گرفته شده است. ابعاد مدل تایر کاملاً منطبق با ابعاد تایر واقعی است. با توجه به تقارن هندسی فقط نصف تایر بصورت یک جسم صلب شبیه سازی و تحلیل شده است تا زمان تحلیل به نصف کاهش یابد. یک نقطه مرجع در مرکز تایر تعریف شده تا همه شرایط مرزی و بارها روی تایر از طریق این نقطه وارد شوند. تلاش گردیده تا شرایط مرزی، بارگذاری و خواص مواد مطابق با شرایط واقعی وارد نرم افزار شود. برخی خواص اجزای فیزیکی بکارگرفته شده در شبیه سازی های این تحقیق در جداول ۱ تا ۵ آمده است.

جدول ۱- خواص فیزیکی اجزای ترد

ماده الاستیک	C10(KPa)	C01(MPa)
Rubber Material		
ترید	۸۰۶.۱	۱.۸۰۵
Tread		



جدول ۲- مدول یانگ برآورد شده برای اجزای تسمه و کارکس در راستای X و y

	تسمه		کارکس	
	Belt		Carcass	
	E_x	E_y	E_x	E_y
برآورد شده	۱۱۰.۶۸	۲۸.۹۱	۱۳.۹۸	۱۱۲۴
Estimated				

جدول ۳- خواص فیزیکی برآورد شده اجزای تسمه و کارکس

ماده	مدول یانگ طولی	مدول یانگ عرضی	درجه ناهمسانگردی
Material	Longitudinal Young's Modulus E_1	Transverse Young's Modulus E_2	Degree of anisotropy E_1/E_2
نایلون- لاستیک (کارکس)	۱۱۲۴	۱۳.۸	۸۰
Nylon-Rubber(Carcass)			
ریون- لاستیک (تسمه)	۱۷۴۵	۱۳.۸	۱۲۵
Rayon-Rubber(Belt)			

جدول ۴- زاویه کابل، مدول برشی و ضریب پواسون لایه کارکس

زاویه کابل ها	مدول برشی	ضریب پواسون	ضخامت لایه
Cord angle (°)	G_{xy}, G_{yz}, G_{xz} shear modulus (Mpa)	V_{xy}, V_{yz}, V_{xz} Poisson's ratio	Layer Thickness (mm)
۹۰	$G_{xy}=۳.۵۸$ $G_{yz}=۳.۲۳$ $G_{xz}=۳.۵۸$	$V_{xy}=۰.۰۰۵۳$ $V_{yz}=۰.۴۹$ $V_{xz}=۰.۰۰۵۳$	۱.۷

جدول ۵- خواص ماده لایه کارکس

	مدول یانگ	مدول یانگ	مدول یانگ
همسانگرد یا ناهمسانگرد	Principle Young's	Principle Young's	Principle Young's
Isotropic/Anisotropic	Modulus E_x	Modulus E_y	Modulus E_z
	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
ناهمسانگرد	۱۲۶۹	۱۶۰۶	۱۶۰۶
Anisotropic			

بحث و نتایج:

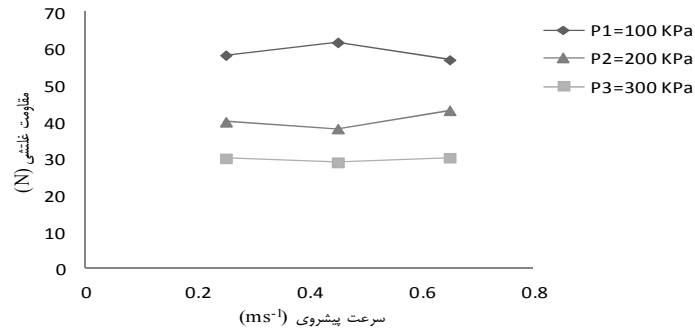
در این تحقیق آزمون های تجربی و عددی در سطوح متفاوتی از سرعت پیشروی، بار عمودی و فشار باد تایلر انجام گرفتند (جدول ۶). سپس به منظور اعتبارسنجی آزمون عددی، نتایج عددی با نتایج آزمون آزمایشگاهی برای تخمین مقاومت غلتشی مقایسه شدند. بررسی ها نشان داد که آزمون های انجام شده توسط نرم افزار آباکوس تطابق خوبی با نتایج حاصل از آزمون سویل داشتند.

جدول ۶- سطوح متفاوتی از سرعت، بار عمودی و فشار باد آزمایش شده در آزمون های عددی و تجربی

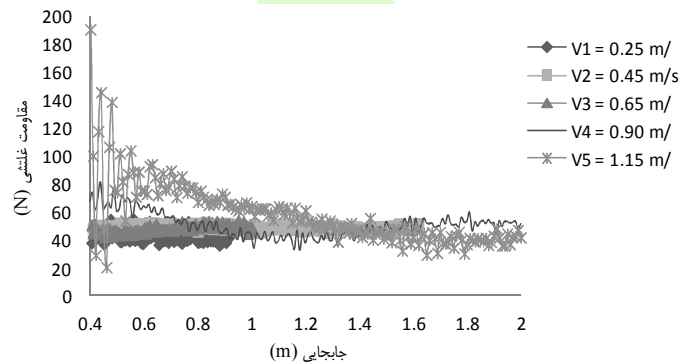
سرعت پیشروی					
Speed (ms^{-1})	$V_1=0.25$	$V_2=0.45$	$V_3=0.65$	$V_4=0.90$	$V_5=1.15$
بار عمودی					
Vertical load (N)	$W_1=1000$	$W_2=2000$	$W_3=3000$	$W_4=4000$	$W_5=5000$
فشار باد					
Inflation pressure (KPa)	$P_1=100$	$P_2=200$	$P_3=300$	-	-

مقایسه‌ی تاثیر سرعت پیشروی تایلر بر مقاومت غلتشی آن در آزمون های عددی و تجربی

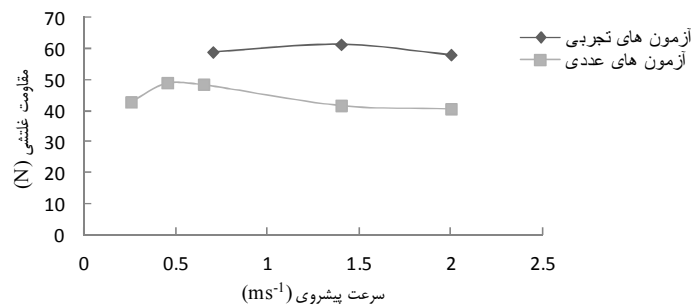
نتایج آزمون های عددی و تجربی در سرعت‌های مختلف پیشروی، فشار باد ۱۰۰ کیلو پاسکال و بار عمودی ۲۰۰۰ نیوتن مورد مقایسه قرار گرفته اند. آزمون های تجربی در سه سطح از سرعت ولی آزمون های عددی در پنج سطح از سرعت مورد تحلیل قرار گرفته اند تا بتوان چگونگی تغییرات را در محدوده بیشتر و با امکان اعتماد بیشتر به روند به دست آمده دنبال کرد. شکل ۴ مقایسه نتایج حاصل از هر دو آزمون را نشان می دهد.



شکل ۲- تاثیر سرعت پیشروی بر مقاومت غلتشی تایر در فشار بادهای مختلف و بار عمودی ۲۰۰۰ نیوتن در آزمون تجربی



شکل ۳- تغییرات مقاومت غلتشی در سرعت‌های مختلف، فشار باد ۱۰۰ کیلو پاسکال و بار عمودی ۲۰۰۰ نیوتن در آزمون عددی



شکل ۴- مقایسه نتایج آزمون‌های عددی و تجربی در سرعت‌های مختلف، فشار باد ۱۰۰ کیلو پاسکال و بار عمودی ۲۰۰۰ نیوتن

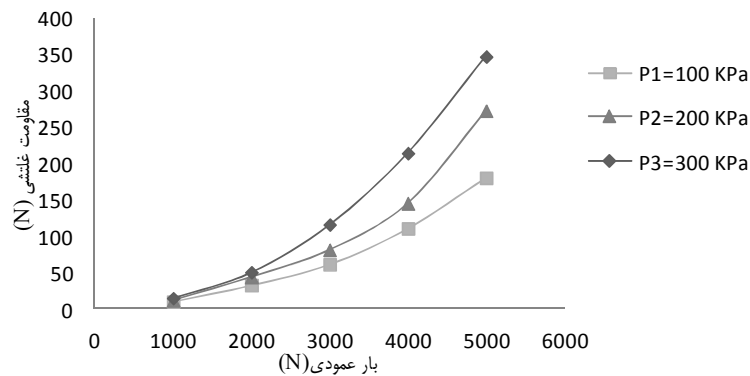
همان‌طور که در شکل‌های ۳ و ۲ مشاهده می‌شود با افزایش سرعت پیشروی روند خاصی برای تغییرات مقاومت غلتشی پیش‌بینی نشده است و تغییرات تقریباً یکنواخت می‌باشند. ژنت و والتر اثر تغییرات سرعت را روی ضریب مقاومت غلتشی برای تایرهای



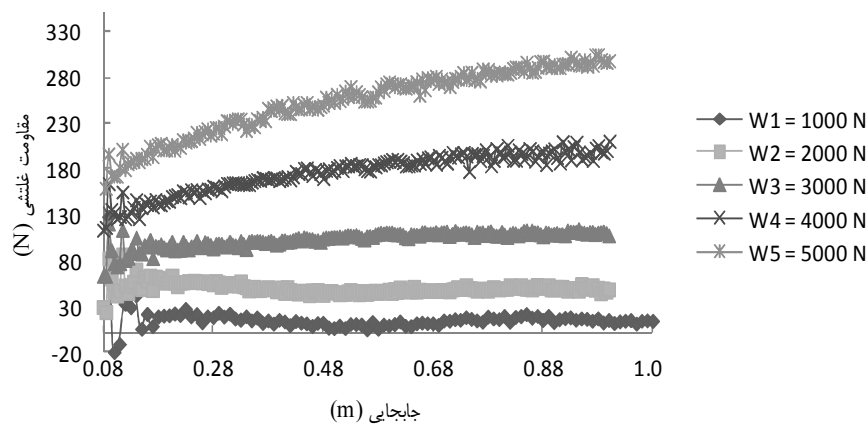
ماشین مسافرتی بررسی کردند. تغییرات ضریب مقاومت غلتشی از سرعت ۲۰ کیلومتر بر ساعت (۵/۵۵ متر بر ثانیه) تا ۸۰ کیلومتر بر ساعت (۲۲/۲۲ متر بر ثانیه) تقریباً یکنواخت بود ولی از سرعت ۸۰ کیلومتر بر ثانیه به بعد میزان ضریب مقاومت غلتشی روند افزایشی از خود نشان داد (Gent and Walter, 2006).

مقایسه‌ی تاثیر بار عمودی تاثیر بر مقاومت غلتشی تایر

نتایج آزمون‌های عددی و تجربی در بارهای عمودی متفاوت و فشار باد ۱۰۰ کیلو پاسکال و سرعت پیشروی ۰.۶۵ متر بر ثانیه مقایسه شدند. شکل ۷ مقایسه نتایج حاصل از هر دو آزمون را نشان می‌دهد.

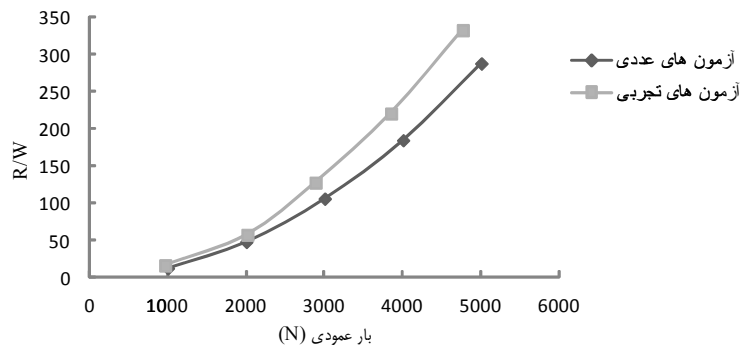


شکل ۵- تاثیر بار عمودی تایر بر مقاومت غلتشی در فشارهای باد مختلف و سرعت ۰.۶۵ متر بر ثانیه در آزمون تجربی



شکل ۶- تغییرات مقاومت غلتشی در بارهای عمودی مختلف، فشار باد ۱۰۰ کیلو پاسکال و سرعت ۰.۶۵ متر بر ثانیه در آزمون

عددی

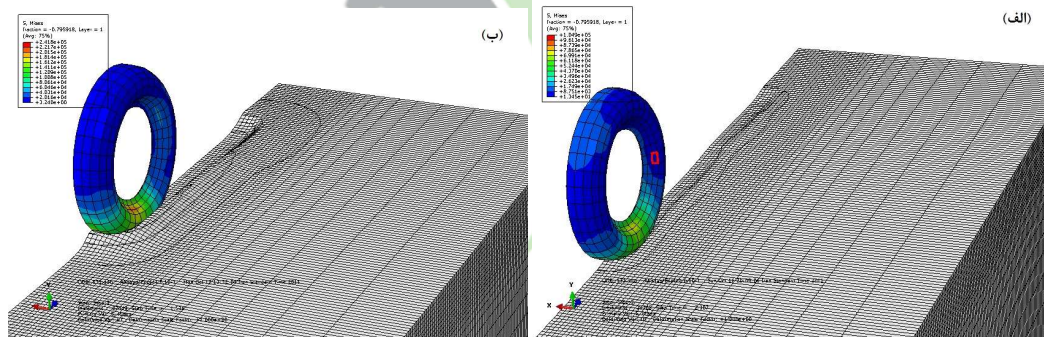


شکل ۷- مقایسه نتایج آزمون های عددی و تجربی در بارهای عمودی مختلف، فشار باد ۱۰۰ کیلو پاسکال و سرعت پیشروی ۰.۶۵ متر بر

ثانیه

نتایج حاصل از آزمون های عددی و تجربی و روند تغییراتشان بسیار نزدیک به هم بوده و ضریب همستگی بین داده‌های تجربی و عددی در کمترین و بیشترین بار عمودی به ترتیب برابر ۸۰ و ۸۷ درصد می باشد. در تمام بارهای عمودی میزان ضریب مقاومت غلته‌ی تایر در تست‌های عددی بیشتر از تست‌های تجربی بودند. ژنت و والتر اثر بار عمودی را روی مقاومت غلته‌ی برای تایرهای ماشین مسافرتی بررسی کردند. روند تغییرات ضریب مقاومت غلته‌ی در برابر بارهای عمودی مختلف تقریباً خطی بود (Gent and Walter, 2006).

تأثیر دو بار عمودی مختلف تایر روی تغییر شکل خاک:



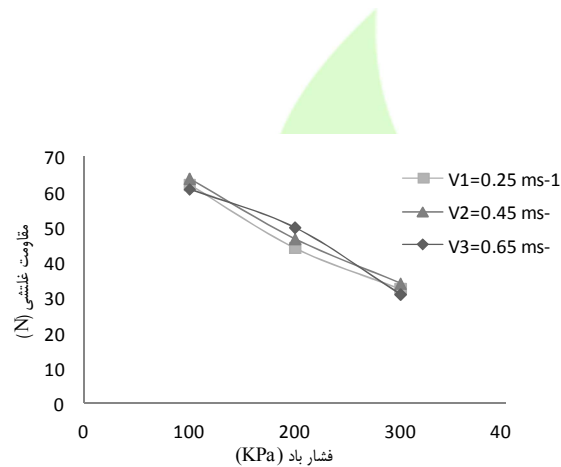
شکل ۸- غلته‌ی تایر روی خاک در فشار باد ۱۰۰ کیلو پاسکال، سرعت ۲ متر بر ثانیه و بار عمودی الف) ۱۰۰۰ ب) ۳۰۰۰ نیوتن



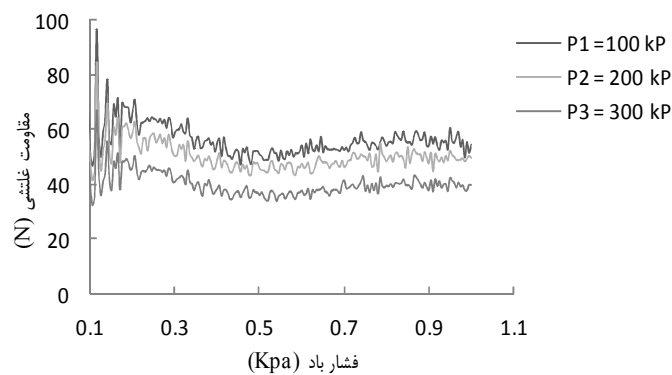
شکل ۷ غلتش تایر و تاثیر آن بر روی خاک را در دو بار عمودی مختلف ۱۰۰۰ و ۳۰۰۰ نیوتن، فشار باد ۱۰۰ کیلو پاسکال و سرعت ۰.۶۵ متر بر ثانیه نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود میزان تنش، تغییر شکل و فشردگی خاک در بار عمودی ۳۰۰۰ نیوتن بیشتر از بار عمودی ۱۰۰۰ نیوتن است.

مقایسه‌ی تاثیر فشار باد تایر بر مقاومت غلتشی تایر

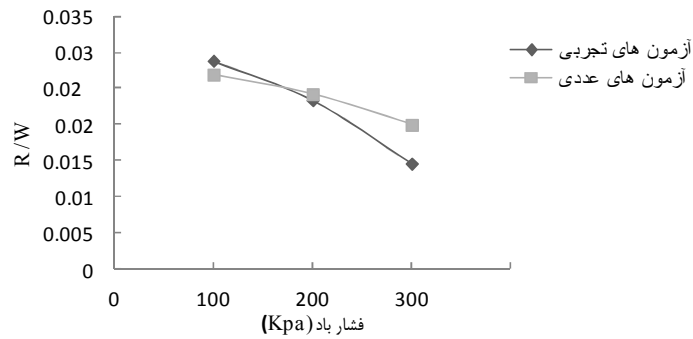
نتایج آزمون های عددی و تجربی در فشارهای باد مختلف و بار عمودی ۲۰۰۰ نیوتن و سرعت پیشروی ۰.۶۵ متر بر ثانیه مورد مقایسه قرار گرفتند.



شکل ۸- تاثیر فشار باد تایر بر مقاومت غلتشی آن در سرعت های مختلف و بار عمودی ۲۰۰۰ نیوتن در آزمون تجربی



شکل ۹- تغییرات مقاومت غلتشی در فشارهای باد مختلف، بار عمودی ۲۰۰۰ نیوتن و سرعت ۰.۶۵ متر بر ثانیه در آزمون عددی



شکل ۱۰- مقایسه آزمون های عددی و تجربی در فشارهای باد مختلف و بار عمودی ۲۰۰۰ نیوتن و سرعت پیشروی ۰.۶۵ متر

بر ثانیه

نتایج آزمون های عددی و تجربی در فشارهای باد مختلف نیز بسیار نزدیک به هم هستند به طوری که حداقل و حداکثر ضریب همبستگی بین داده‌های هر دو آزمون برابر با ۷۳ و ۹۷ درصد است. شیب تغییرات در روش عددی نسبت به روش تجربی کمتر می‌باشد به طوری که با افزایش فشار باد تایر، اختلاف بین داده‌های تجربی و عددی افزایش می‌یابد که می‌تواند به دلیل خاطر اختلاف در خواص واقعی تایر با خواص تعریف شده باشد. در آزمون های تجربی در بارهای عمودی کم، فشار باد تایر تاثیر کمتری در میزان مقاومت غلتشی داشته ولی در بارهای عمودی بزرگ تر با افزایش میزان فشار باد تایر، مقاومت غلتشی به طور چشم گیری کاهش پیدا می‌کند. ژنت و والتر تاثیر فشار باد را روی مقاومت غلتشی تایرهای ماشین مسافرتی و تایرهای کامیون بررسی کردند. میزان مقاومت غلتشی در فشارهای باد کمتر از ۱۰۰ کیلو پاسکال خیلی بالا بودند، با افزایش فشار باد تایر میزان مقاومت غلتشی هم در یک روند نزولی کاهش یافت و از فشار باد ۲۵۰ کیلو پاسکال به بعد شیب کاهش مقاومت غلتشی به کندی گرایید. ولی در تایرهای کامیون، میزان کاهش مقاومت غلتشی با افزایش فشار باد تایر تقریباً روند یکنواختی داشت (Gent and Walter, 2006).

نتیجه گیری

در این پژوهش یک مدل سه بعدی جدید از تایر ارائه شد که دارای توانایی‌های ویژه بوده و نتایج آزمایش‌های عملی نشان داد که می‌توان به نتایج این مدل سازی تا حد خوبی اطمینان کرد. به منظور انجام شبیه سازی دقیق، ضرایب مکانیکی خاک به دقت اندازه‌گیری شدند و شرایط آزمایش‌های عملی تا حد ممکن تاثیر داده شدند. بررسی ها نشان داد که اثر سرعت پیشروی چرخ روی نیروی مقاوم غلتشی آن معنی دار نبوده و آزمون های تجربی در تمام سطوح فشار باد و بار عمودی و آزمون های عددی در فشار باد ۱۰۰ کیلو پاسکال و بار عمودی ۲۰۰۰ نیوتن صحت این مطلب را تایید کردند. تغییرات مقاومت غلتشی بر اثر افزایش بار



عمودی تایر در هر دو آزمون تجربی و عددی دارای روند مشابه بود و در هر دو آزمون با افزایش بار عمودی تایر، میزان مقاومت غلتشی نیز افزایش یافت. تغییرات فشار باد تایر و مقاومت غلتشی چرخ نیز با یکدیگر نسبت عکس داشتند. بطوری که با افزایش فشار باد تایر مقاومت غلتشی به مقدار کم کاهش یافت. در آزمون‌های تجربی در بارهای عمودی کم، فشار باد تایر تاثیر کمتری در مقاومت غلتشی داشت ولی در بارهای عمودی بالاتر با افزایش فشار باد تایر مقاومت غلتشی به طور چشمگیری کاهش پیدا می‌کرد.



منابع:

1. Bolarinwa, E.O. and Olatunbosun, O.A.2004.Finite element simulation of the tyre burst test.Scholl. Engineering.Birmingham University, Edgaston, UK.
2. Gent, A.N. Walter J.D.2006.The Pneumatic Tire,3nd ed.U.S.
3. Goreishy, M.H.R.2003.Modeling of the non-linear deformation in steel-belted radial tyres under inflation loading. Journal of Iran Polym v12:57-65.
4. Goreishy, M.H.R.2007.Finite element of the steel-belted radial tyre with tread pattern under contact load. Journal of Iran Polym v15:667-674
5. Karaytuğ, B.2009.Footprint analysis of radial passenger tire.M.Sc.thesis, Cukurova university, Cukurova.
6. Kaiming, X.2010.Finite element modeling of tire/terrain interaction: Application to predicting soil compaction and tire mobility.Journal of Terramechanics v37:349-412.
7. Lee, J.H.2005.Finite element modeling of tire-snow interaction: present and future. Eleventh conference of the automotive research center, Ann Arbor, Michigan.
8. Lee, J.H.2005.Finite element modeling of interfacial forces and contact stresses of pneumatic tire on fresh snow for combined longitudinal and lateral slips. Journal of Terramechanics v48:171-197
9. Mohsenimanesh A., and Ward, S.M., and Gilchrist, M.D.2008. Stress analysis of a multi-laminated tractor tyre using non-linear 3D finite element analysis. Materials and design.
10. Mohsenimanesh A. Ward, S.M. Owendeph, O.M., and Javadi, A.2008. Modeling of pneumatic tractor tyre interaction with multi-layered soil. Biosystems Engineering xxx 1-8.
11. Regli, G. Handke, A. and Bütikofer, M. 1993. Material laws as a basis for simulation models for the calculation of wheel-soil interaction examination using the finite element method. Journal of Terramechanics v30: 165-179.
12. Xia, K.2008.Finite element modeling of tire/terrain interaction: Application to predicting soil compaction and tire mobility. Journal of terramechanics v48: 113-123.

Validation of the finite element simulation to estimate rolling resistance of a non-driving wheel with experimental tests

NesaDibagar¹, ArefMardani², AsaadModdaresMotlagh³, HojjatJafari⁴

1- Msc student, Department of Biosystems Engineering, Urmia university

2- Professor Professor, Department of Biosystems Engineering, Urmia university

3- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Urmia university

4- Msc of mechanics of agricultural machines, Department of Biosystems Engineering, Urmia university

Abstract

A non-linear finite element (FE) model of the interaction of a tire with soil surface was developed to investigate the influence of the forward speed, tire inflation pressure and vertical load on rolling resistance using ABAQUS/Explicit code. The soil model as elastic-plastic material was simulated with a Drucker-Prager model and considered realistic soil properties'. User subroutine for finite strain hyper elasticity model is developed to model nearly incompressible rubber material for the tire. The empirical tests were concluded at three levels of the wheel load and tire inflation pressure and four levels of speed to obtain the rolling resistance of the tire using a soil-bin tester. Numracal results are compared with preliminary experimental data obtained from the soil-bin tests. The comparison showed reasonably good agreement between the computed and measured general pattern of the rolling resistance at the tire-soil interface under different speeds, vertical loads and inflation pressures. In both tests, the amount of the tire rolling resistance significantly increased with increasing of tire vertical load. Correlation coefficient between experimental and numerical data, in the minimum and maximum vertical loads was 80 and 87 percent, respectively. The tire inflation pressure and rolling resistance variables had inverse relation with to gather the numerical test, towards the experimental test. The slope of tire inflation pressure variables on rolling resistance was lesser.

Key words: Abaqus, finite element, soil-bin, tire/terrain interaction and rolling resistance