

بررسی تأثیر الگوی آج تایلر بر عملکرد کششی تایلر با مدل‌سازی المان محدود

رضا عباسی‌نژاد، علی نجات لریستانی* و محمد یونسی الموتی**

* نگارنده مسئول: گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. تلفن: ۰۸۳۳۸۳۲۳۷۲۷، پیام‌نگار: lorestani@razi.ac.ir

** به‌ترتیب: دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی؛ و دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه؛ و دانشیار مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۳۱

چکیده

تحقیقات نشان می‌دهد که ۲۰ تا ۵۵ درصد انرژی تراکتور در سطح درگیری تایلر و زمین تلف می‌شود. خاک‌های کشاورزی نرم هستند بنابراین برای ایجاد کشش، آج تایلر نقش اصلی را دارد. استفاده از روش‌های شبیه‌سازی رایانه‌ای برای بررسی برهم‌کنش تایلر و خاک، آزمایش‌های فیزیکی را کم می‌کند و هزینه‌های طراحی و توسعه را به مقدار زیاد کاهش می‌دهد. تحقیق حاضر به بررسی تأثیر خصوصیات الگوی آج بر پارامترهای عملکرد کششی تایلر با استفاده از شبیه‌سازی اجزا محدود سه بعدی در نرم‌افزارهای مدل‌سازی و شبیه‌سازی کتیا و آباکوس پرداخته است. در ابتدا، اعتبار شبیه‌سازی رایانه‌ای برهم‌کنش تایلر با طرح آج کامل که همانند تایلر استفاده شده در آزمایش سویل بین است، بررسی شد و پس از آن، مدل‌های تایلر بدون طرح آج، مدل تایلر با زاویه آج کمتر نسبت به زاویه آج در تایلر با طرح آج کامل، مدل تایلر با آج پهن‌تر نسبت به پهنای آج در تایلر با طرح آج کامل، مدل تایلر با زاویه آج بیشتر (ارتفاع بیشتر) نسبت به ارتفاع آج در تایلر با طرح آج کامل و مدل تایلر با فاصله آج بیشتر (فاصله گام آج بیشتر) نسبت به فاصله آج‌ها در تایلر با طرح آج کامل مورد بررسی قرار گرفت. از مقایسه مقادیر به‌دست آمده برای شبیه‌سازی‌ها می‌توان نتیجه گرفت که فقدان آج باعث کاهش نیروی کششی و کاهش سرعت خطی می‌شود. همچنین هرچه مقدار زاویه آج با محور چرخ کاهش پیدا کند نیروی کششی افزایش می‌یابد اما سرعت خطی را در طول مسیر نوسانی و متغیر می‌کند. افزایش پهنای آج، میزان نیروی کشش را کاهش می‌دهد و افزایش ارتفاع آج باعث افزایش نیروی کششی می‌شود اما سرعت خطی را در طول مسیر نوسانی و متغیر می‌کند. افزایش فاصله بین دو آج (یا گام آج) باعث نوسانی و متغیر شدن میزان نیروی کشش و سرعت خطی می‌شود.

واژه‌های کلیدی

آج تایلر، شبیه‌سازی اجزا محدود، عملکرد کششی، مخزن خاک، مدل‌سازی

مقدمه

زاز و گریسو (Zoz & Grisso, 2003) تحقیق و توسعه در زمینه برهم‌کنش تایلر و خاک دارای اهمیت زیادی است، و چون خاک‌های کشاورزی نرم هستند برای ایجاد کشش، آج تایلر نقش اصلی را دارد. اما توسعه و بهینه‌سازی در آج شامل مراحل آزمایش و تحلیل‌های متعدد و نیازمند سرمایه‌افراوانی است. بنابراین، استفاده از روش‌های

در تراکتور، بیشترین اتلاف انرژی در مسیر انتقال توان از موتور به مال‌بند، در قسمت درگیری تایلر با خاک اتفاق می‌افتد. نتایج تحقیقاتی که تا کنون منتشر شده است نشان می‌دهد که ۲۰ تا ۵۵ درصد انرژی تراکتور در سطح درگیری تایلر و زمین تلف می‌شود. بر اساس تحقیق

با خاک دارای لایه‌های مختلف را در نرم‌افزار انسیس بررسی کردند. ژیا (Xia, 2010) از رابطه ساختاری دراکر پراگر برای توصیف پلاستیسیته خاک و لاستیک تراکم‌ناپذیر برای توصیف تایر استفاده کرد و درگیری آنها را در نرم‌افزار آباکوس (ABAQUS) با صرف نظر کردن از طرح آج تایر شبیه‌سازی و تأثیر فشار باد تایر، بار چرخ و سرعت حرکت را بر تراکم خاک و پیمایش تایر بررسی کرد. بریس و آنگوریانو (Biris & Ungureanu, 2011) روش اجزا محدود را برای بررسی تأثیر فشار باد بر تنش و کرنش در تایر تراکتور به کار گرفتند و تایر را به‌عنوان ماده‌های پلاستیکی در نرم‌افزار انسیس تحلیل کردند.

پروایکسیما و کروزه (Pruiksma & Kruse, 2011) برای حل مشکل تغییر شکل‌های بزرگ در ماسه، آن را به‌عنوان ماده پیوسته اولیری و تایر را به‌عنوان نمونه لاگرانژی در شبیه‌سازی اجزا محدود خود مدل نمودند. لی (Lee, 2011) بدون در نظر گرفتن طرح آج، تایر را به‌عنوان ماده الاستیک، ویسکوالاستیک و هایپرالاستیک و زمین را با استفاده از مدل اصلاح شده دراکر پراگر مدل‌سازی کرد و کشش تایر، مقاومت غلتشی، نیروی مالبندی، فرو رفتگی تایر، چگالی زمین و تنش‌های عمودی و برشی در ناحیه تماس را به‌دست آورد. چویی و همکاران (Choi et al., 2012) عملکرد کششی و ترمزی تایر خودروهای سواری را روی برف با نرم‌افزار اجزا محدود دیتران (MSC/Dytran) بررسی کردند و درگیری بین تایر و برف با استفاده از رابطه اولیر- لاگرانژ بیان شد که از چهار طرح آج در بلوک‌های مختلف برف از نظر سختی سطح پوشیده از برف استفاده شد و نتایج نشان داد طرح آج با عملکرد کششی مانند کشش خالص و مقاومت غلتشی مناسب‌تر است. ولی و اشیندلر (Li & Schindler, 2013) تایر را به‌صورت کامل با در نظر گرفتن ویژگی‌های ساختاری آن مدل کردند و تحلیل دینامیکی برهم‌کنش

شبیه‌سازی رایانه‌ای، آزمایش‌های فیزیکی را کم می‌کند و هزینه‌های طراحی و توسعه را به مقدار زیادی کاهش می‌دهد. محیط‌های کاری تایر دارای شرایط متنوعی هستند، از جاده سخت تا زمین گل و لای که ترددپذیری تایر را محدود می‌کند (Islamian, 2006). از قرن گذشته، تلاش‌های زیادی برای کشف، توسعه و بهبود مشخصات مکانیکی درگیری بین تایر و خاک صورت گرفته است اما همچنان این مشخصات از جامعیت لازم برای تمامی شرایط برخوردار نیست. چان (Chan, 2008) با ارتقای قابلیت‌های محاسباتی رایانه‌ها تحلیل به روش اجزا محدود در این زمینه ارزش بالایی به‌دست آورده است.

مدل‌سازی اجزا محدود روشی بسیار مؤثر برای کمک به بررسی سیستم‌های پیچیده است. تایر به‌دلیل تراکم‌پذیری کم لاستیک و خواص ناهمسانگرد لاستیک-تسمه و خاک نیز به دلیل تغییر شکل پیچیده الاستیک-پلاستیکی دارای رفتار پیچیده‌ای هستند. برای تحلیل رفتار تایر و خاک، نیاز خواهد بود به نرم‌افزاری رایانه‌ای و بسیار قوی که توانایی حل چنین مدل‌هایی را داشته باشد. ونگ (Wong, 2010) هدف عمده از مطالعه درگیری تایر با خاک، ایجاد رابطه‌ای بین پارامترهای طراحی و عملکرد خودروهای خارج از جاده و مشخصات فیزیکی و مکانیکی خاک است. این رابطه، مهندسان را قادر خواهد ساخت تا پیش‌بینی واقع‌گرایانه‌ای از عملکرد خودرو در شرایط کاری متفاوت داشته باشند.

هامبلتون و دریسچر (Hambelton & Drescher, 2009) رابطه نشست و بار محوری تراکتور را با روابط تحلیلی و مدل‌های المان محدود بررسی کردند که منحنی‌های نشست- بار برای این دو روش الگوی مشابهی داشتند. محسنی‌منش و همکاران (Mohsenimanesh et al., 2009) تایر را با مدل‌سازی غیرخطی اجزا محدود مدل‌سازی و با نتایج آزمایش‌های تجربی مقایسه کردند؛ این محققان همچنین درگیری تایر

بررسی تأثیر الگوی آج تایر بر عملکرد کششی تایر ...

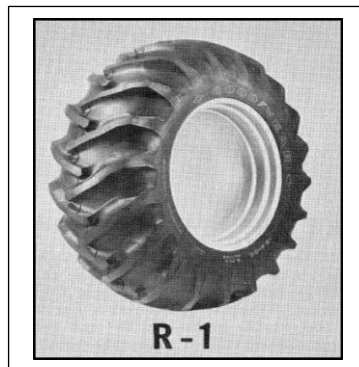
بیولوژی آمریکا (ASABE)، تایرهای محرک کشاورزی بر اساس نوع کاربری به چهار دسته اصلی (R_1 , R_2 , R_3 و R_4) تقسیم‌بندی می‌شوند (Anon, 2013). در تحقیق حاضر از تایر عمومی برای عملیات کشاورزی (R_1) (شکل ۱) استفاده شده است.

الگوی آج تایرها از پارامترهای ابعادی مختلفی (شکل ۲) تشکیل می‌شوند مانند: زاویه آج، عرض آج، ارتفاع آج، طول آج، گام آج‌ها، فاصله محیطی دو آج و فاصله عمودی دو آج (Zoz & Grisso, 2003).

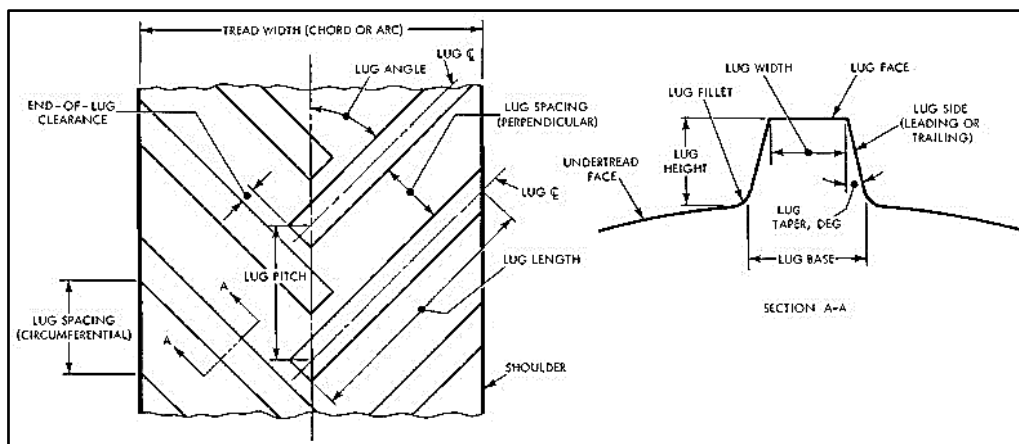
تایر- خاک را در نرم‌افزار آدامز (ADAMS) شبیه‌سازی و با داده‌های به‌دست آمده از روش‌های تحلیلی مقایسه کردند. در زمینه تأثیر آج تایر بر عملکرد کششی تایر با شبیه‌سازی رایانه‌ای تا کنون تحقیقی نشده است از این رو در این تحقیق تأثیر الگوی آج تایر بر عملکرد کششی تایر با مدل‌سازی المان محدود در دستور کار قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

بر اساس استاندارد انجمن مهندسان کشاورزی و



شکل ۱- تایر عمومی برای عملیات کشاورزی (R_1)



شکل ۲- پارامترهای ابعادی الگوی آج تایر

کشاورزی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کرج، استفاده شده است. مشخصات تایر و الگوی آج آن به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ آمده است، مشخصات الگوی آج این تایر نیز به صورت جدول ۲ است.

در تحقیق حاضر از تایر ۲۸ R ۱۲/۴ ساخت شرکت گودیر^۱ (شکل ۳) به عنوان مدل پایه برای شبیه‌سازی المان محدود رایانه‌ای و همچنین برای استفاده در آزمایش‌های تجربی در آزمایشگاه سویل بین^۲ بخش مکانیک ماشین‌های



شکل ۳- تایر ۲۸ R ۱۲/۴ ساخت شرکت گودیر

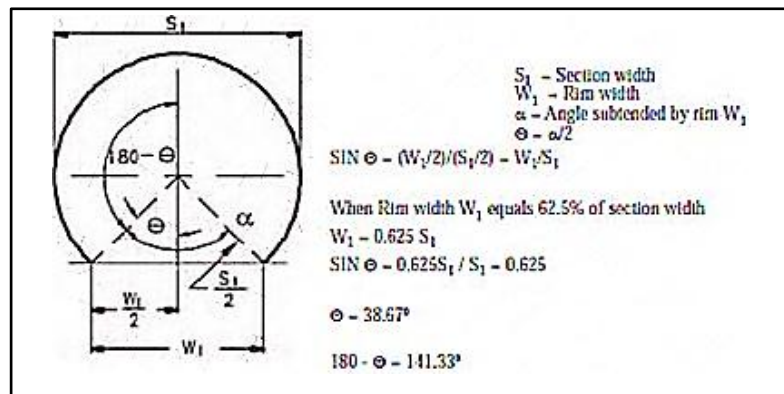
جدول ۱- مشخصات تایر به کار گرفته شده

وزن تایر	فشار باد	عرض رینگ	قطر رینگ	طول مقطع تایر	عرض مقطع تایر	اندازه تایر
(پوند)	(پوند)	(پوند بر اینچ مربع)	(اینچ)	(اینچ)	(اینچ)	(اینچ)
۱۱۸	۳۶	۱۱	۲۴	۱۰	۱۲/۴	۲۸ R ۱۲/۴

جدول ۲- مشخصات طرح آج تایر به کار گرفته شده

زاویه آج	فاصله گام	طول آج	ارتفاع آج	عرض آج
(درجه)	(میلی‌متر)	(میلی‌متر)	(میلی‌متر)	(میلی‌متر)
۶۰	۱۰۰	۲۵۰	۳۰	۲۸

مدل‌سازی تایرها، در نرم‌افزار کتیا (CATIA) کتیا بر اساس استاندارد ابعادی تایر، ارائه شده
 نسخه ۲۰۱۴ (R24) با در نظر گرفتن خصوصیات توسط انجمن تایر و رینگ TRA (شکل ۴) مدل
 ابعادی تایر و آج اجرا شد. تایر ایجاد شده در نرم‌افزار گردیده است.

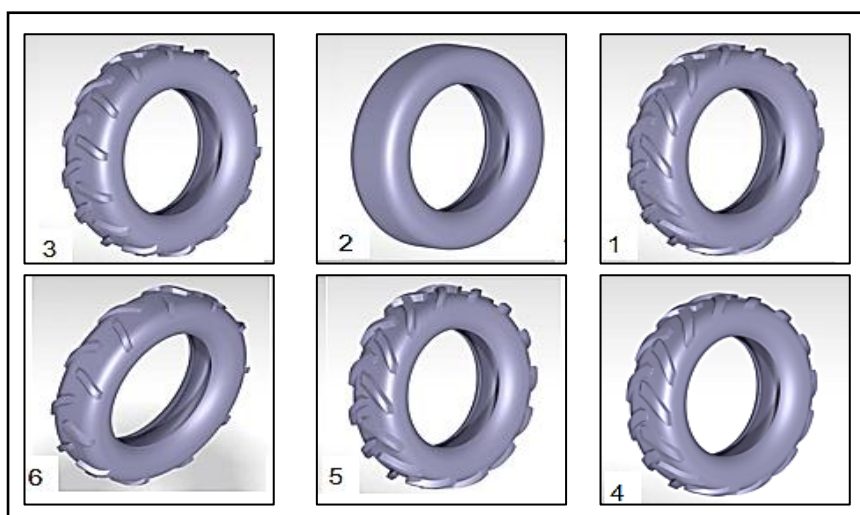


شکل ۴- استاندارد ابعادی تایر، انجمن تایر و رینگ (TRA)

ماده‌ای که به این مدل‌ها نسبت داده شده از جنس لاستیک با تراکم‌پذیری کم و با خاصیت الاستیک خطی کامل، با مدول الاستیسیته ۱/۲ پاسکال و چگالی ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب است.
 شش نوع تایر با طرح آج مختلف به منظور بررسی تأثیر طرح آج، به ترتیب زیر مدل شد: تایر با طرح آج کامل همانند تایری که در آزمایش سویل‌بین استفاده شده، تایر بدون طرح آج، تایر با زاویه آج کمتر (زاویه آج ۳۰ درجه) نسبت به زاویه آج در طرح آج کامل، تایر با آج پهن‌تر (۱/۶ برابر) نسبت به پهنای آج در تایر با طرح آج کامل، تایر با آج بلندتر (ارتفاع بیشتر) (۱/۶ برابر) نسبت به ارتفاع آج در تایر با طرح آج کامل و تایر با

بررسی تأثیر الگوی آج تایر بر عملکرد کششی تایر ...

فاصله آج بیشتر (فاصله گام آج بیشتر) (۱/۶ برابر) نسبت به فاصله آج‌ها در تایر با طرح آج کامل (شکل ۵). برای آزمایش‌های سویل بین از خاکی با مشخصات جداول ۳ و ۴ برای بررسی برهم‌کنش تایر با خاک استفاده شد.



شکل ۵- مدل‌های تایر

(۱) با طرح آج کامل، (۲) بدون طرح آج، (۳) با زاویه آج کمتر، (۴) با آج پهن‌تر، (۵) با آج بلندتر و (۶) با فاصله آج بیشتر

جدول ۳- مشخصات بافتی خاک مورد آزمایش

بافت خاک	درصد رطوبت اشباع	حد انقباض	حد خمیری	حد روانی
لوم رسی	۴۲/۸	۲۲	۲۴/۱۶	۳۲/۱۸

جدول ۴- مشخصات مکانیکی خاک مورد آزمایش

مدول برشی (K)	تنش تسلیم (σ_y)	نسبت پواسون	چگالی (ρ)	مدول الاستیسیته (E)
(مگاپاسکال)	(کیلوپاسکال)	(ν)	(کیلوگرم بر مترمکعب)	(مگاپاسکال)
۴۰۰	۵۰	۰/۳	۲۰۰	۵۰

تایر محرک در این دستگاه به یک الکترو موتور با توان اسمی ۲۰ کیلووات متصل است. روی قاب فلزی که تایر بر آن سوار است، یک جک هیدرولیکی به‌منظور وارد کردن نیروی عمودی وجود دارد که با دیتالاگر می‌توان مقدار نیروی عمودی را مشاهده کرد؛ با استفاده از اهرم‌های هیدرولیکی جک می‌توان مقدار این نیرو را تغییر داد تا به‌میزان دلخواه برسد (شکل ۷). دیتالاگری که برای این جک هیدرولیکی استفاده شده از نوع NOVATECH مدل TR200 است.

خاک به‌صورت یک بلوک مکعب مستطیلی با ابعاد پروفیل خاک دستگاه سویل‌بین، در نرم‌افزار کتیا مدل‌سازی شد. برای بیان خواص مکانیکی خاک، از رابطه ساختاری یک ماده الاستیک خطی-پلاستیک کامل با معیار شکست مور کلمب استفاده گردید. مخزن خاک مورد استفاده تشکیل شده است از یک جعبه خاک با ابعاد استاندارد به‌همراه یک ماشین تهیه‌کننده خاک^۱ و یک قاب که تک چرخ محرک روی آن سوار است (شکل ۶).

گشتاورسنج ساخت شرکت Datum Electronics سری ۴۲۰ است و با استفاده از کابل و نرم‌افزار مخصوص قابلیت اتصال به رایانه را دارد که از این طریق داده‌ها به‌طور مستقیم در رایانه ثبت شد (شکل ۸).

برای اندازه‌گیری گشتاور و سرعت دورانی چرخ در حین حرکت روی خاک، بین محور چرخ و الکترو موتور یک گشتاورسنج به مشخصات زیر قرار داده شد تا با استفاده از دیتالاگر مخصوص خود میزان گشتاور و سرعت زاویه‌ای چرخ را در لحظه مشخص کند.



شکل ۷- قاب فلزی به همراه جک هیدرولیکی و تایر محرک



شکل ۶- دستگاه مخزن خاک آزمایشگاه دینامیک خاک



شکل ۸- گشتاورسنج Datum Electronics سری ۴۲۰

۳۰۰ کیلوگرم به‌ترتیب برای بار اول، دوم و سوم روی خاک حرکت کرد. برای دستیابی به مقادیر دقیق‌تر، اندازه‌گیری داده‌ها از نیم متر پس از شروع حرکت آغاز و نیم متر پیش از خاتمه حرکت پایان گرفت. برای به‌دست آوردن مقدار نیروی کشش، مقادیر گشتاور ثبت شده با دیتالاگر گشتاورسنج، بر شعاع چرخ تقسیم شد، همچنین، برای دستیابی به مقدار سرعت خطی تایر، مقادیر سرعت زاویه‌ای به‌دست آمده از دیتالاگر

به‌منظور ارزیابی اعتبار شبیه‌سازی‌ها، آزمون‌های تجربی صورت گرفت. در ابتدا، خاک داخل سویل‌بین تا ارتفاع مناسبی با دستگاه تهیه خاک تجمیع و فراهم شد، پس از آن، تایر محرک شروع به حرکت روی خاک داخل مخزن خاک کرد و داده‌های لازم اخذ شد. روش آزمایش به این‌صورت بود که خاک داخل سویل‌بین سه مرتبه تا ارتفاع لازم و در طول زیاد تهیه شد و در هر مرتبه چرخ با بار عمودی متفاوت، ۱۰۰، ۲۰۰ و

یکدیگر مونتاژ و خواص برهم‌کنش بین آنها تعریف شده است، و سرانجام میزان بار، میزان فشار باد تایلر (به صورت فشار یکنواخت بر سطح داخلی تایلر) و همچنین شرایط مرزی و قیدها تعریف و آنالیز این برهم‌کنش انجام گرفته است.

در ابتدا برای معتبر کردن شبیه‌سازی نرم‌افزاری، برهم‌کنش مدل تایلر با طرح آج کامل، که همانند تایلر استفاده شده در آزمایش‌های تجربی است، با خاک در نرم‌افزار شبیه‌سازی شده تا داده‌های آن با داده‌های تجربی مقایسه شود و به داده‌های تجربی با تغییر ابعاد، نوع و شکل مش بندی، نزدیک شود. داده‌های مقایسه شده در شبیه‌سازی نرم‌افزاری و آزمایش‌های تجربی، مقدار نیروی کشش و سرعت خطی هستند. سپس برهم‌کنش تایلرهایی که در نرم‌افزار کتیا مدل‌سازی شده‌اند با خاک در ماژول آباکوس در نرم‌افزار کتیا شبیه‌سازی و میزان نیروی کشش در طول مسیر، سرعت خطی در طول مسیر، بین آنها مقایسه شد. مشخصات المان‌های به کار رفته برای مش‌بندی مدل‌های تایلر در جدول ۵ آمده است. مشخصات المان‌های به کار رفته برای مش‌بندی بلوک خاک در جدول ۶ دیده می‌شود.

گشتاورسنج، در شعاع چرخ ضرب شد. به دلیل آنکه مقدار سرعت زاویه‌ای ضرب در شعاع چرخ، سرعت تئوریک تایلر را می‌دهد، میزان لغزش متوسط چرخ در هر آزمایش به روش مزرعه‌ای طبق رابطه ۱ اندازه‌گیری و در مقادیر سرعت خطی تئوریک ضرب شد تا مقدار سرعت خطی عملی به دست آید.

$$(1) \quad \frac{\text{مسافت طی شده} - \text{تعداد دور چرخ ضرب در محیط چرخ}}{\text{تعداد دور چرخ ضرب در محیط چرخ}} \times 100$$

شبیه‌سازی‌های المان محدود در تحقیق حاضر در ماژول ABAQUS FOR CATIA نرم‌افزار آباکوس، که در واقع یک پلاگین برای نرم‌افزار کتیا است برای کاهش مدت زمان آنالیزها در نرم‌افزار آباکوس و همچنین انطباق بهتر بین مدل‌های ساخته شده در کتیا با شبیه‌سازی‌های آباکوس، صورت گرفته است. این ماژول تمام ویژگی‌های تحلیلی نرم‌افزار آباکوس را به محیط آنالیز نرم‌افزار کتیا اضافه می‌کند.

شبیه‌سازی‌های المان محدود به این طریق انجام شده که مدل‌های تایلر و خاک ساخته شده در نرم‌افزار کتیا با

جدول ۵ - مشخصات مش‌بندی مدل‌های تایلر

نوع المان	تعداد المان	تعداد گره	حداقل اندازه (میلی‌متر)
C3D8R	۳۰۸۰	۳۶۰۰	۴

جدول ۶ - مشخصات مش‌بندی بلوک خاک

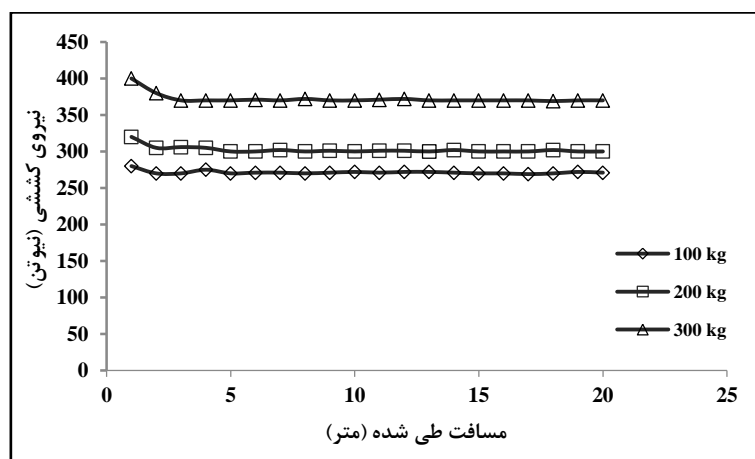
نوع المان	تعداد المان	تعداد گره	حداقل اندازه (میلی‌متر)
C3D8R	۱۴۴۰۰	۱۸۹۹۶	۴

نتایج و بحث

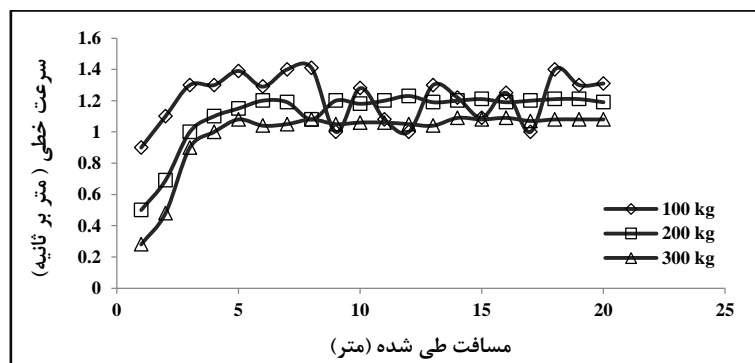
بررسی نتایج آزمایش سویل بین

مطابق شکل ۹، نیروی کششی در طول مسیر در هر سه بار عمودی در ابتدای مسیر روند کاهشی دارد ولی پس از طی چند متر به مقدار تقریباً ثابتی می‌رسد که این موضوع بیشتر به این دلیل است که ابتدا بار عمودی توسط جک بر چرخ وارد و پس از آن موتور الکتریکی روشن می‌شود تا چرخ به حرکت درآید؛ این امر باعث می‌شود تا نیروی کششی در ابتدای حرکت زیاد باشد اما پس از آن به مرور کاهش می‌یابد و به مقدار ثابتی می‌رسد. تغییرات نیروی کششی در طول مسیر برای هر سه بار عمودی ناچیز است. عمده دلیل تغییرات نیروی کشش در طول مسیر، تغییر در میزان تراکم خاک در طول مسیر و غیریکنواخت بودن خاک و لغزش و بکسواتی است که در حرکت تایر روی خاک اتفاق می‌افتد. با افزایش بار عمودی، به دلیل کاهش لغزش و همچنین سفت‌تر شدن خاک زیر چرخ، تغییرات بسیار اندک است و می‌توان گفت در آزمایش سویل بین متوسط نیروی کشش در بار عمودی ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم به ترتیب ۲۷۰، ۳۰۰ و ۳۷۰ نیوتن است. نتایج به‌دست آمده همچنین نشان می‌دهد که افزایش بار عمودی باعث افزایش نیروی کششی می‌شود. سرعت خطی در شکل ۱۰ در هر سه بار

عمودی در ابتدای مسیر مقادیر کمی دارد اما با شیب زیادی افزایش می‌یابد و پس از آن برای بار عمودی ۱۰۰ کیلوگرم در طول مسیر نوسانی و متغیر است. برای بار عمودی ۲۰۰ کیلوگرم، سرعت خطی در طول مسیر به‌صورت نوسانی رفتار می‌کند که البته میزان تغییرات سرعت از تغییرات سرعت در بار عمودی ۱۰۰ کیلوگرم کمتر است. در بار عمودی ۳۰۰ کیلوگرم سرعت خطی با نوسان اندکی در طول مسیر ادامه پیدا می‌کند و تقریباً ثابت است. افزایشی بودن سرعت خطی نیز برای هر سه بار عمودی در ابتدای مسیر به‌دلیل آن است که ابتدا بار عمودی با جک بر چرخ اعمال و پس از آن موتور الکتریکی روشن می‌شود تا چرخ به حرکت درآید. تغییرات سرعت در طول مسیر بیشتر به‌دلیل لغزش و بکسواتی است که عامل ایجاد لغزش، غیریکنواخت بودن خاک از لحاظ تراکم و بافت است. از نمودارهای سرعت خطی در هر سه بار عمودی مشخص می‌شود که با افزایش بار، از میزان نوسانات سرعت خطی در طول مسیر کاسته می‌شود و سرعت خطی در بار عمودی بیشتر تقریباً یکنواخت است. این قضیه به این دلیل است که با افزایش بار عمودی، خاک زیر چرخ متراکم‌تر می‌شود و نرمی خاک کاهش می‌یابد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که متوسط سرعت خطی با افزایش بار عمودی کاهش می‌یابد.



شکل ۹- نتایج آزمایش مخزن خاک (نیروی کششی بر حسب مسافت طی شده)

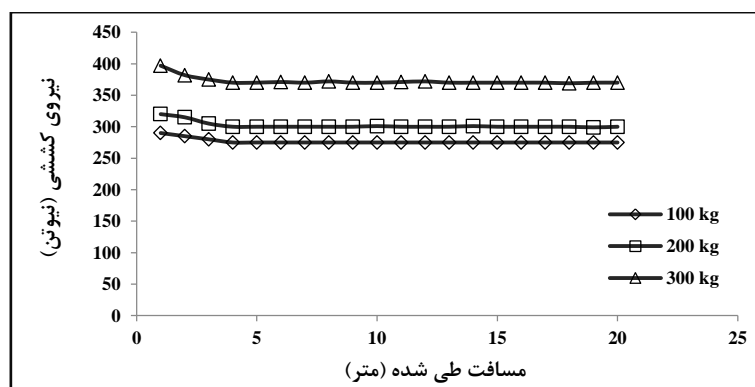


شکل ۱۰- نتایج آزمایش مخزن خاک (سرعت خطی بر حسب مسافت طی شده)

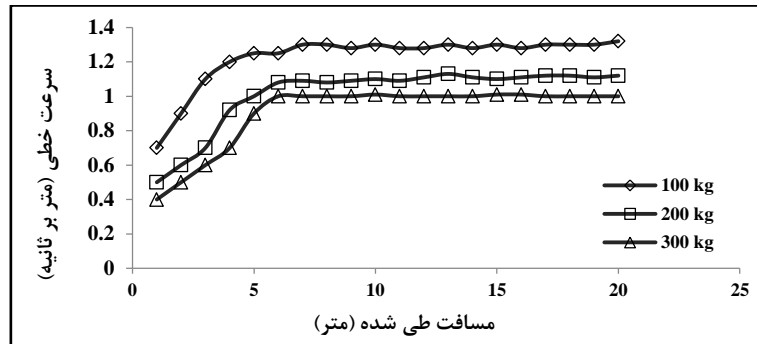
است در نتیجه نیروی کشش در طول مسیر ثابت می‌ماند اما در آزمایش عملی اندکی نوسان دارد. مقادیر سرعت خطی در شکل ۱۲ نیز مانند حالت عملی در هر سه بار عمودی در ابتدای مسیر اندک است اما با شیب زیادی افزایش می‌یابد. تغییرات سرعت در طول مسیر در شبیه‌سازی کمتر از تغییرات سرعت در حالت عملی است که بیشتر به دلیل یکنواخت بودن خاک و دقت اندازه‌گیری در شبیه‌سازی است. اما در آزمایش عملی، به دلیل محاسبه تخمینی لغزش، نوسان و تغییرات سرعت بیشتر است. با توجه به شکل‌های ۱۱ و ۱۲ مشخص می‌شود که در شبیه‌سازی رایانه‌ای نیز با افزایش بار عمودی سرعت خطی کاهش پیدا می‌کند و از میزان تغییرات آن در طول مسیر کاسته می‌شود به طوری که برای بار عمودی ۳۰۰ کیلوگرم سرعت خطی در طول مسیر ثابت است.

بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی تاینر با طرح آج کامل

از مقایسه نتایج آزمایش سویل بین با نتایج شبیه‌سازی تاینر با طرح آج کامل (شکل‌های ۱۱ و ۱۲) مشخص می‌شود که شبیه‌سازی انطباق خوبی با مقادیر عملی حاصل از آزمایش دارد و از اعتبار قابل قبولی برخوردار است. برای انطباق بهتر نتایج شبیه‌سازی با نتایج عملی، در شبیه‌سازی نیز ابتدا نیروی عمودی بر تاینر وارد شد و پس از آن گشتاور و به همین دلیل نیروی کششی در شکل ۱۱ نیز در ابتدای مسیر کاهش یافته و پس از آن به یک مقدار ثابتی رسیده است. با توجه به مقادیر به دست آمده برای نیروی کشش در آزمایش مخزن خاک و شبیه‌سازی تاینر با طرح آج کامل، انطباق کامل نتایج شبیه‌سازی با نتایج عملی را نشان می‌دهد. به دلیل آنکه در شبیه‌سازی‌ها خاک یکنواخت مدل می‌شود میزان لغزش از حالت عملی کمتر



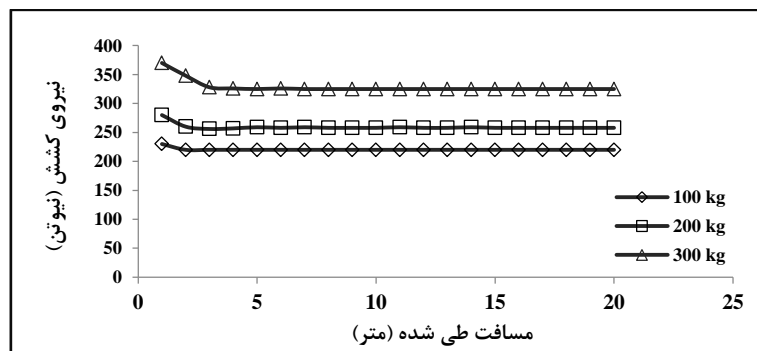
شکل ۱۱- نتایج شبیه‌سازی تاینر با طرح آج کامل (نیروی کششی بر حسب مسافت طی شده)



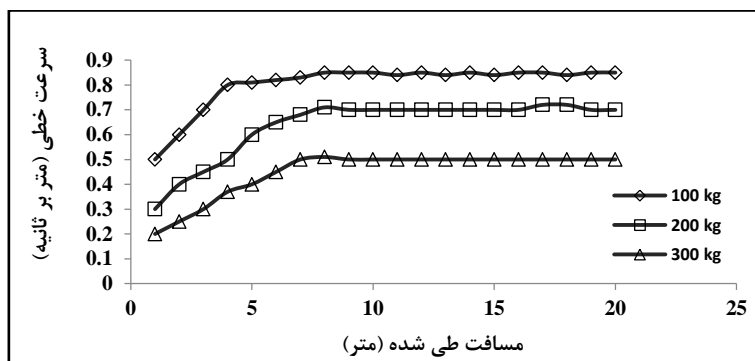
شکل ۱۲- نتایج شبیه‌سازی تایر با طرح آج کامل (سرعت خطی بر حسب مسافت طی شده)

۳۵ و ۵۰ درصد از مقادیر نظیر هر یک در تایر با طرح آج کامل کمتر است. این مقادیر نشان می‌دهد که در تایر بدون آج سرعت خطی نیز همانند نیروی کششی نسبت به تایر با طرح آج کامل کمتر است و با افزایش بار عمودی این میزان کاهش نسبت به تایر با طرح آج کامل بیشتر می‌شود. میزان توانی که در تایر بدون طرح آج صرف کشش می‌شود با توجه به مقادیر نیروی کشش و سرعت خطی نسبت به توان کششی در تایر با طرح آج کامل برای بار عمودی ۱۰۰ کیلوگرم به میزان ۴۷ درصد، برای بار عمودی ۲۰۰ کیلوگرم به میزان ۴۴ درصد و برای بار عمودی ۳۰۰ کیلوگرم به میزان ۳۸ درصد کاهش یافته است. با توجه به اینکه توان ورودی به تمامی تایرهای شبیه‌سازی شده یکسان است، اتلاف انرژی برای تایر بدون آج صرف بکسوات و لغزش شده است. با توجه به مقادیر به دست آمده مشخص می‌شود که با افزایش بار عمودی از میزان اتلاف انرژی، به دلیل کاهش لغزش، کاسته شده است.

بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی تایر بدون طرح آج نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی رایانه‌ای برای تایر بدون طرح آج (شکل‌های ۱۳ و ۱۴) نشان می‌دهد که مقادیر نیروی کششی در این تایر (شکل ۱۳) در بار عمودی ۱۰۰ کیلوگرم، پس از به ثبات رسیدن، ۲۲۰ نیوتن است که نسبت به مقدار نظیر آن در تایر با طرح آج کامل ۲۰ درصد کمتر است. در بار عمودی ۲۰۰ کیلوگرم، نیروی کششی ۲۶۰ نیوتن است که از مقدار نظیر آن در تایر با طرح آج کامل ۱۴ درصد کمتر است، و در بار عمودی ۳۰۰ کیلوگرم، نیروی کششی ۳۳۰ نیوتن است که از مقدار نظیر آن در تایر با طرح آج کامل ۱۲ درصد کمتر است. از مقادیر به دست آمده مشخص می‌شود که با افزایش بار عمودی، مقدار نیروی کشش در تایر بدون آج به مقدار نیروی کشش در تایر با طرح آج کامل نزدیک می‌شود. سرعت خطی نیز در این تایر در شکل ۱۴ در بار عمودی ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم به ترتیب در حدود ۳۴، تقریباً



شکل ۱۳- نتایج شبیه‌سازی رایانه‌ای برای تایر بدون طرح آج (نیروی کششی بر حسب مسافت طی شده)



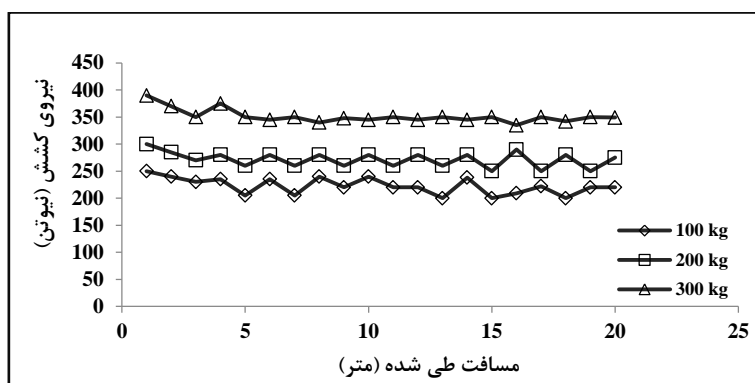
شکل ۱۴- نتایج شبیه‌سازی رایانه‌ای برای تایر بدون طرح آج (سرعت خطی بر حسب مسافت طی شده)

بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی تایر با زاویه آج کمتر

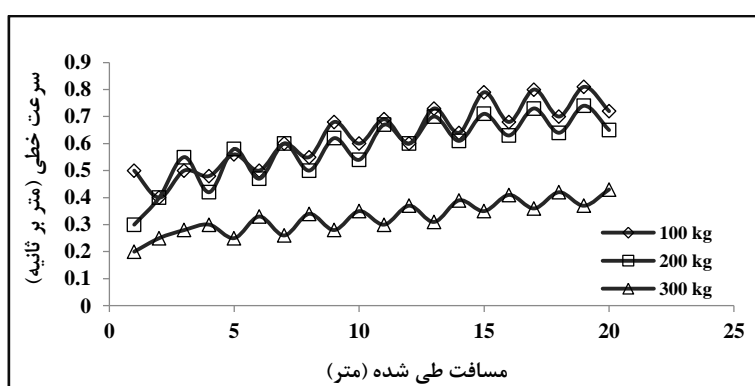
با توجه به نمودارهای به‌دست آمده، برای تایر با زاویه آج کمتر مشخص می‌شود که مقادیر کشش در شکل ۱۵ برای این تایر نوسانی و متغیر است. در بار عمودی ۱۰۰ کیلوگرم، متوسط نیروی کششی ۲۳۹ نیوتن است که به‌میزان ۱۳ درصد از مقدار نظیر آن در تایر با طرح آج کامل کمتر است. برای بار عمودی ۲۰۰ کیلوگرم متوسط نیروی کششی ۲۷۴ نیوتن است که به‌میزان ۱۰ درصد از مقدار نظیر آن در تایر با طرح آج کامل کمتر است. در بار عمودی ۳۰۰ کیلوگرم در طول مسیر با تغییرات کمتری نسبت به بارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم ادامه پیدا می‌کند و متوسط آن ۳۴۵ نیوتن است و به‌میزان ۸ درصد از مقدار نظیر آن در تایر با طرح آج کامل کمتر است. از مقادیر به‌دست آمده مشخص می‌شود که با افزایش بار عمودی، از میزان تغییرات نیروی کشش در طول مسیر کاسته و اختلاف میزان نیروی کشش در این تایر با طرح آج کامل نیز کمتر می‌شود.

بیشترین دلیل متغیر بودن نیروی کشش درگیری غیریکنواخت آج با خاک است، به این معنا که سطح درگیری تایر با خاک با غلتش تایر یک بار آج و بار دیگر پایین‌ترین سطح رویه آن است و این قضیه باعث نوسانی شدن نیروی کشش می‌شود. سرعت خطی در شکل ۱۶ در این تایر نیز نوسانی و متغیر است و در بار عمودی ۱۰۰

کیلوگرم در طول مسیر به‌صورت نوسانی با شیب اندکی ادامه پیدا می‌کند. متوسط سرعت خطی در این حالت ۰/۷۳ متر بر ثانیه است که به‌میزان ۴۳ درصد از مقدار نظیر آن در تایر با طرح آج کامل کمتر است. متوسط سرعت خطی در بار عمودی ۲۰۰ کیلوگرم به‌صورت نوسانی با شیب اندکی در طول مسیر ادامه پیدا می‌کند و در این حالت ۰/۶۵ متر بر ثانیه است که به‌میزان ۴۷ درصد از مقدار نظیر آن در تایر با طرح آج کامل کمتر است. متوسط سرعت خطی در بار عمودی ۳۰۰ کیلوگرم به‌صورت نوسانی با شیب اندکی در طول مسیر ادامه پیدا می‌کند و در این حالت ۰/۳۹ متر بر ثانیه است که به‌میزان ۶۰ درصد از مقدار نظیر آن در تایر با طرح آج کامل کمتر است. توان کششی در تایر با زاویه آج کمتر، با توجه به مقادیر نیروی کشش و سرعت خطی، نسبت به توان کششی در تایر با طرح آج کامل برای بار عمودی ۱۰۰ کیلوگرم به‌میزان ۴۱ درصد، برای بار عمودی ۲۰۰ کیلوگرم به‌میزان ۴۶ درصد و برای بار عمودی ۳۰۰ کیلوگرم به‌میزان ۶۴ درصد کاهش یافته است. با توجه به اینکه توان ورودی به تمامی تایرهای شبیه‌سازی شده یکسان است، اتلاف انرژی برای تایر با زاویه آج کمتر، بیشتر ناشی از افزایش لغزش و مقاومت غلتشی است که به‌دلیل تغییر زاویه آج به‌وجود آمده است. نکته قابل توجه در این تایر این است که با افزایش بار عمودی، به‌دلیل افزایش مقاومت غلتشی، اتلاف انرژی افزایش می‌یابد.



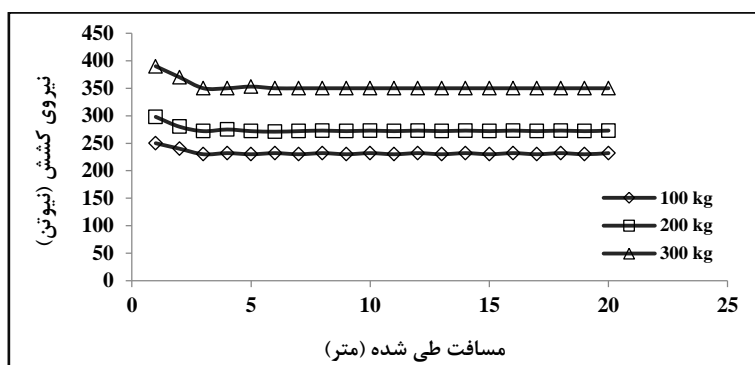
شکل ۱۵- نتایج شبیه‌سازی رایانه‌ای برای تایر با زاویه آج کمتر (نیروی کششی بر حسب مسافت طی شده)



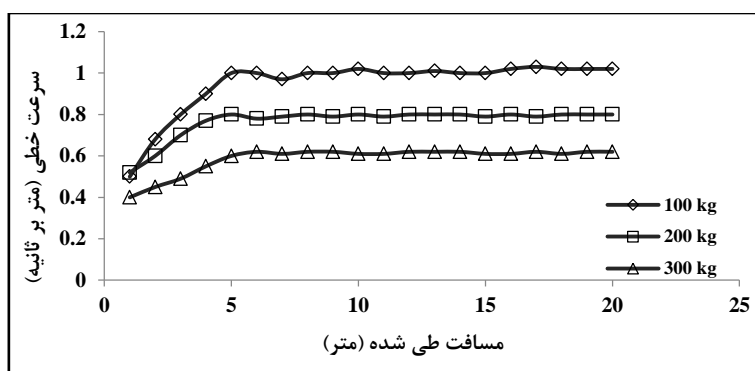
شکل ۱۶- نتایج شبیه‌سازی رایانه‌ای برای تایر با زاویه آج کمتر (سرعت خطی بر حسب مسافت طی شده)

با تایر با طرح آج کامل بیشتر می‌شود زیرا با افزایش بار عمودی آج پهن در خاک می‌تواند بیشتر نفوذ کند که این مسئله باعث کاهش سرعت خطی می‌شود. توان کششی در تایر با آج پهن‌تر با توجه به مقادیر نیروی کشش و سرعت خطی نسبت به توان کششی در تایر با طرح آج کامل برای بار عمودی ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم به ترتیب به میزان ۳۱، ۳۴ و ۴۲ درصد کاهش یافته است. با توجه به اینکه توان ورودی به تمامی تایرهای شبیه‌سازی شده یکسان است، اتلاف انرژی برای تایر با آج پهن‌تر به دلیل افزایش لغزش نسبت به تایر با طرح آج کامل، بیشتر است و با افزایش بار عمودی میزان اتلاف انرژی بیشتر می‌شود. با افزایش بار عمودی اتلاف توان در مقاومت غلتشی نیز افزایش می‌یابد و به اتلاف توان در لغزش اضافه می‌شود.

بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی تایر با آج پهن‌تر با توجه به نمودارهای به‌دست آمده برای تایر با آج پهن‌تر در شکل‌های ۱۷ و ۱۸ مشخص می‌شود که مقادیر کشش در شکل ۱۷ در بار عمودی ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم نیروی کشش به ترتیب به میزان ۱۴، ۱۰ و ۶ درصد از مقدار نظیر هریک در تایر با طرح آج کامل کمتر است. از مقادیر به‌دست آمده مشخص می‌شود که با افزایش بار عمودی از میزان اختلاف نیروی کشش در این تایر با طرح آج کامل کمتر می‌شود. سرعت خطی مطابق شکل ۱۸ در بار عمودی ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم به ترتیب به میزان ۲۳، ۲۶ و ۳۸ درصد از مقدار نظیر هر یک در تایر با طرح آج کامل کمتر است. با توجه به مقادیر به‌دست آمده مشخص می‌شود که با افزایش بار عمودی اختلاف سرعت خطی بین تایر با آج پهن‌تر



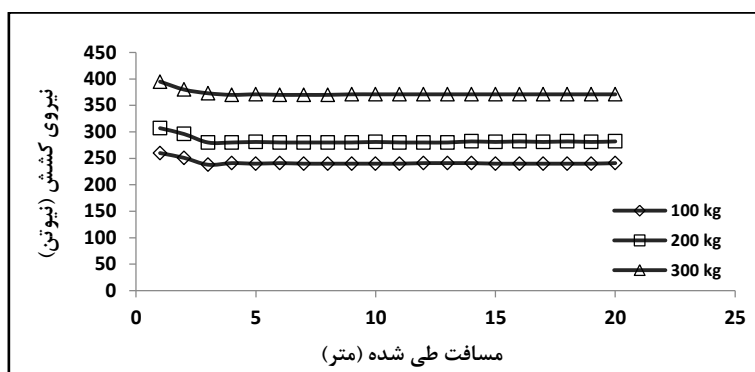
شکل ۱۷- نتایج شبیه‌سازی رایانه‌ای برای تایر با آج پهن‌تر (نیروی کششی بر حسب مسافت طی شده)



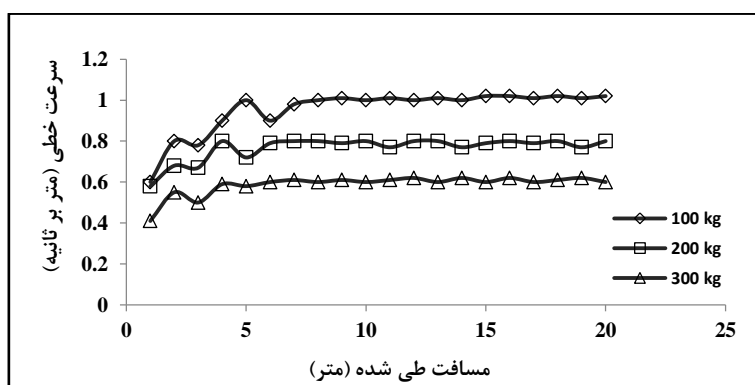
شکل ۱۸- نتایج شبیه‌سازی رایانه‌ای برای تایر با آج پهن‌تر (سرعت خطی بر حسب مسافت طی شده)

بار عمودی آج در خاک بیشتر نفوذ می‌کند که این مسئله سبب افزایش مقاومت غلتشی و کاهش سرعت خطی می‌شود. توان کششی در تایر با آج بلندتر با توجه به مقادیر نیروی کشش و سرعت خطی نسبت به توان کششی در تایر با طرح آج کامل برای بار عمودی ۱۰۰ کیلوگرم به میزان ۳۰ درصد، برای بار عمودی ۲۰۰ کیلوگرم به میزان ۳۲ درصد و برای بار عمودی ۳۰۰ کیلوگرم به میزان ۴۰ درصد کاهش یافته است. با توجه به اینکه توان ورودی به تمامی تایرهای شبیه‌سازی شده یکسان است، اتلاف انرژی برای تایر با آج بلندتر به دلیل افزایش مقاومت غلتشی نسبت به تایر با طرح آج کامل، بیشتر است و با افزایش بار عمودی میزان اتلاف انرژی بیشتر می‌شود زیرا افزایش بار عمودی باعث نفوذ بیشتر آج در خاک خواهد شد و چون ارتفاع آج زیاد است برهم‌کنش آن با خاک باعث بالا رفتن مقاومت غلتشی می‌شود.

بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی تایر با آج بلندتر با توجه به نمودارهای به دست آمده برای تایر با آج بلندتر در شکل های ۱۹ و ۲۰ مشخص می‌شود که مقادیر نیروی کشش برای این تایر در شکل ۱۹ در بار عمودی ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم مقدار نیروی کشش به ترتیب به میزان ۱۰، ۴، ۲ درصد از مقدار نظیر هر یک در تایر با طرح آج کامل کمتر است. از مقادیر به دست آمده مشخص می‌شود که با افزایش بار عمودی از میزان اختلاف نیروی کشش در این تایر با طرح آج کامل کمتر می‌شود به طوری که در بار عمودی ۳۰۰ کیلوگرم تقریباً برابرند. سرعت خطی مطابق شکل ۲۰ در بار عمودی ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم به ترتیب به میزان ۱۵، ۲۴ و ۳۳ درصد از مقدار نظیر هر یک در تایر با طرح آج کامل کمتر است. با توجه به مقادیر به دست آمده مشخص می‌شود که با افزایش بار عمودی اختلاف سرعت خطی بین تایر با آج بلندتر با تایر با طرح آج کامل بیشتر می‌شود زیرا با افزایش



شکل ۱۹- نتایج شبیه‌سازی رایانه‌ای برای تایر با آج بلندتر (نیروی کششی بر حسب مسافت طی شده)



شکل ۲۰- نتایج شبیه‌سازی رایانه‌ای برای تایر با آج بلندتر (سرعت خطی بر حسب مسافت طی شده)

کامل کمتر است. از مقادیر دست آمده مشخص می‌شود با افزایش بار عمودی از میزان اختلاف نیروی کشش در این تایر با طرح آج کامل کمتر می‌شود، بیشتر به دلیل آنکه با افزایش بار عمودی آج بیشتر در خاک نفوذ می‌کند و به حالت تایر با طرح آج کامل نزدیک می‌شود.

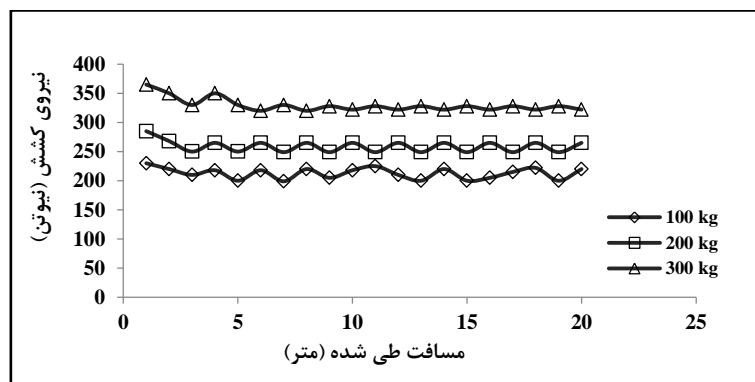
سرعت خطی مطابق شکل ۲۲ در بار عمودی ۱۰۰ کیلوگرم در طول مسیر متغیر و نوسانی است و متوسط سرعت خطی در این بار عمودی ۰/۶۸ متر بر ثانیه است که به میزان ۴۳ درصد از مقدار نظیر آن در تایر با طرح آج کامل کمتر است. در بار عمودی ۲۰۰ کیلوگرم نیز نوسانی و متغیر است و متوسط سرعت خطی در این بار عمودی ۰/۵۷ متر بر ثانیه است که به میزان ۴۷ درصد از مقدار نظیر آن در تایر با طرح آج کامل کمتر است. در بار عمودی ۳۰۰ کیلوگرم نیز سرعت خطی نوسانی است اما تغییرات آن از دو بار عمودی دیگر کمتر است و متوسط

بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی تایر با فاصله گام آج بیشتر

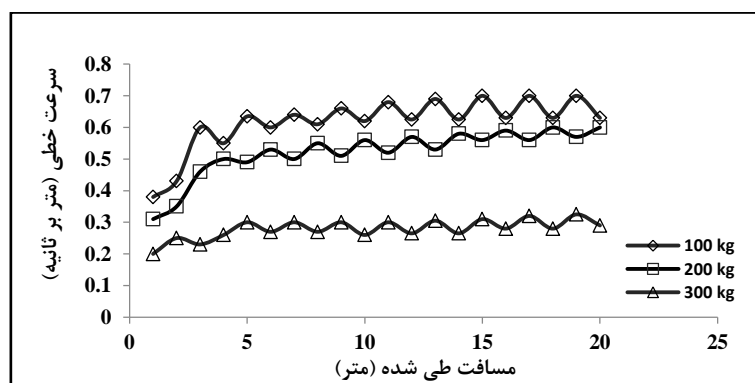
با توجه به نمودارهای به دست آمده برای تایر با فاصله گام آج بیشتر در شکل‌های ۲۱ و ۲۲ مشخص می‌شود که مقادیر کشش برای این تایر در شکل ۲۱، در بار عمودی ۱۰۰ کیلوگرم نوسانی و متغیر است و مقدار متوسط آن ۲۰۶ نیوتن است که به میزان ۲۵ درصد از مقدار نظیر آن در تایر با طرح آج کامل کمتر است. برای بار عمودی ۲۰۰ کیلوگرم نیز نیروی کشش نوسانی و متوسط آن ۲۵۲ نیوتن است که به میزان ۱۶ درصد از مقدار نظیر آن در تایر با طرح آج کامل کمتر است. در بار عمودی ۳۰۰ کیلوگرم نیروی کشش مقداری نوسانی و متغیر اما تغییرات آن نسبت به دو بار عمودی دیگر کمتر است و متوسط آن در طول مسیر حرکت ۳۲۸ نیوتن است که به میزان ۱۲ درصد از مقدار نظیر آن در تایر با طرح آج

تایر با طرح آج کامل برای بار عمودی ۱۰۰ کیلوگرم به میزان ۶۰ درصد، برای بار عمودی ۲۰۰ کیلوگرم به میزان ۶۶ درصد و برای بار عمودی ۳۰۰ کیلوگرم به میزان ۷۴ درصد کاهش یافته، که با توجه به اینکه توان ورودی به تمامی تایرهای شبیه‌سازی شده یکسان است، اتلاف انرژی برای تایر با فاصله آج بیشتر به دلیل افزایش مقاومت غلتشی و همچنین لغزش و بکسوات نسبت به تایر با طرح آج کامل است که با افزایش بار عمودی میزان اتلاف انرژی نیز بیشتر می‌شود زیرا افزایش بار عمودی باعث نفوذ بیشتر آج در خاک می‌شود که مقاومت غلتشی را زیاد می‌کند و چون فاصله بین دو آج زیاد است میزان لغزش نیز افزایش می‌یابد در نتیجه عمده توان ورودی به تایر صرف نیروی مقاومت غلتشی و لغزش می‌شود.

سرعت خطی در این بار عمودی ۰/۲۹ متر بر ثانیه و به میزان ۷۰ درصد از مقدار نظیر آن در تایر با طرح آج کامل کمتر است. نوسانی و متغیر بودن سرعت خطی به دلیل یکنواخت نبودن سطح درگیری تایر با خاک است و با افزایش بار عمودی از میزان تغییرات آن کاسته می‌شود. با توجه به مقادیر به دست آمده مشخص می‌شود که با افزایش بار عمودی اختلاف سرعت خطی بین تایر با فاصله آج بیشتر با تایر با طرح آج کامل بیشتر می‌شود به این دلیل است که با افزایش بار عمودی، آج در خاک بیشتر نفوذ می‌کند و این مسئله باعث افزایش مقاومت غلتشی می‌شود و سرعت خطی کاهش می‌یابد. توان کششی در تایر با آج بلندتر با توجه به مقادیر نیروی کشش و سرعت خطی نسبت به توان کششی در



شکل ۲۱- نتایج شبیه‌سازی رایانه‌ای برای تایر با فاصله آج بیشتر (نیروی کششی بر حسب مسافت طی شده)



شکل ۲۲- نتایج شبیه‌سازی رایانه‌ای برای تایر با فاصله آج بیشتر (سرعت خطی بر حسب مسافت طی شده)

نتیجه‌گیری

می‌کند.

- افزایش فاصله بین دو آج (با گام آج) باعث نوسانی و متغیر شدن میزان نیروی کشش و سرعت خطی می‌شود. بنابراین، در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت با توجه به نوع خاک که در این پژوهش لومی رسی بود، با لحاظ کردن شرایط عملیات، یکی از تایرهای ذکر شده باید به‌کار گرفته شود. بدین معنا که باید دید که در عملیات کشاورزی خاص، کدام‌یک از پارامترهای: نیروی کششی بالا، سرعت خطی بالا، یکنواخت بودن نیروی کششی یا یکنواخت بودن سرعت خطی اولویت بیشتری دارد تا بر اساس این اولویت‌بندی از یکی از تایرهای ذکر شده با مشخصات عملکردی که بیان شد، استفاده گردد، تا بیشترین بازده در عملیات کشاورزی مدنظر، از تایر به‌کار گرفته شده به‌دست آید.

از نتایج به‌دست آمده از آزمایش عملی و شبیه‌سازی‌ها و مقایسه مقادیر به‌دست آمده برای شبیه‌سازی‌ها می‌توان نتیجه گرفت در خاک لومی رسی مورد آزمایش:
- با افزایش بار عمودی نیروی کشش افزایش پیدا می‌کند اما سرعت خطی کاهش می‌یابد.
- فقدان آج باعث کاهش نیروی کششی و سرعت خطی می‌شود.
- زاویه آج کمتر از حالت استاندارد در تایر R_1 باعث کاهش نیروی کششی و همچنین نوسانی شدن سرعت خطی در طول مسیر می‌شود.
- افزایش پهنای آج باعث کاهش میزان نیروی کشش و سرعت خطی می‌شود.
- افزایش ارتفاع آج سرعت خطی را نوسانی و متغیر

مراجع

- Anon. 2013. Engineering Design Information For Ground Vehicle Tires. The Tire and Rim Association, Pub. Ohio, USA.
- Biris, S. and Ungureanu, N. 2011. FEM Model to study the influence of tire pressure on agricultural tractor wheel deformations. Eng. Rur. Dev. 10, 223-228.
- Chan, B. 2008. Development of an off-road capable tire model for vehicle dynamics simulations. Ph. D. Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Choi, J. H., Cho, J. R., Woo, J. S. and Kim, K. W. 2012. Numerical investigation of snow traction characteristics of 3-D patterned tire. J. Terramechanics. 49(2): 81-93.
- Hambelton, J. P. and Drescher, A. 2009. Modeling wheel-induced rutting in soils Rolling. J. Terramechanics. 46, 35-47.
- Islamian, M. 2008. Theory of Ground Vehicle. Tabriz University Pub. (in Persian)
- Lee, J. H. 2011. Finite element modeling of interfacial forces and contact stresses of pneumatic tire on fresh snow for combined longitudinal and lateral slips. J. Terramechanics. 48, 171-197.
- Li, H. and Schindler, C. 2013. Three-dimensional finite element and analytical modelling of tyre-soil interaction. J. Multibody Syst. Dyn. 227(1): 42-60.
- Mohsenimanesh, A., Ward, S. M., Owende, P. O. M. and Javadi, A. 2009. Modelling of pneumatic tractor tyre interaction with multi-layered soil. Biosys. Eng. 104(2):191-198.

بررسی تأثیر الگوی آج تایر بر عملکرد کششی تایر ...

- Pruiksma, J. P., Kruse, G. A. M., Teunissen, J. A. M. and van Winnendael, M. F. P. 2011. Tractive performance modelling of exomars rover wheel design on loosely packed soil using the coupled eulerian lagrangian finite element technique. Available at: <http://robotics.estec.esa.int>.
- Wong, J. Y. 2009. Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering. Elsevier Pub. Butterworth-Heinemann, Germany.
- Xia, K. M. 2010. Finite element modeling of tire/terrain interaction: Application to predicting soil compaction and tire mobility. J. Terramechanics. 48, 113-123.
- Zoz, F. M. and Grisso, R. D. 2003. Traction and tractor performance. ASAE Distinguished Lecture Series. Tractor Design No. 27. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Evaluation on Effect of Tread Pattern on Tire Traction Performance by Finite Element Modeling

R. Abasinezhad, A. N. Lorestani* and M. Younesi-Alamouti

* Corresponding Author: Associate Professor, Mechanical Engineering of Biosystem Department, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: lorestani@razi.ac.ir

Received: 1 March 2016, Accepted: 21 August 2016

Research results indicate that 20 to 55 percent of the available tractor energy is wasted at the traction /soil interface, because of soft agricultural soils, tire tread for traction plays a major role. Using computer simulations to study the interaction between tire and soil, the number of physical tests and development costs can be greatly reduced. Finite element simulation of complex systems is a very effective way for investigation as is used in the soil bin tire test. In this investigation experiments were conducted for tires without tire tread, the tire tread at an angle less than the angle of the tread on the tires with full tread design, the tire tread wider than the width of the tread of the tire with full tread design, the tire tread longer (greater height) than the height of the tire tread with full tread design and tread of the tire with greater distance (distance between the step tread) than the distance in tire with complete tread design. The simulation results showed that in absence of tread on the tire traction and the linear velocity was reduced. Also as the tire tread angle with regards to axle decreased the traction increased. But resulted in variable and oscillation under variable linear velocity condition. Further an increase in the width of the tread reduced the amount of traction and an increase in the height of tread increased the traction force, but caused an oscillatory and variable linear velocity. Finally an increase in the distance between two treads caused oscillatory and variable traction force and linear velocity.

Key words: Finite Element, Modeling, Soil Bin, Tire Tread, Traction Performance Simulation