اثر سرعت پیشروی بر مقاومت حرکتی چرخ های لاستیکی

محمد جواد شیخ داودی[۱] و سعید مینایی[۲]

چکیده

تحقیقات متعددی در دنیا در خصوص مکانیک زمین‌گیرایی و عوامل موثر بر آن انجام گرفته و مدل‌های پیش‌بینی زیادی تدوین گردیده ولی بر اساس بررسی‌های بعمل آمده، تاکنون در مورد تاثیر سرعت پیشروی بر عوامل عملکردی زمین‌گیرایی رابطه ای تدوین نشده است. در این تحقیق علاوه بر مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده عوامل عملکردی زمین‌گیرایی تایر لاستیکی (مدل کوچک) با مقادیر محاسبه شده توسط سه مدل معتبر از مدل‌های موجود، اثر سرعت پیشروی برعوامل عملکردی زمین گیرایی نیز مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفت.

آزمایش‌ها ضمن ساخت و تجهیز مخزن خاک سر پوشیده آزمایشگاهی در شرایط کنترل شده اجرا. و داده برداری توسط سیستمی شامل حسگرها ، مبدل های مختلف، تقویت‌کننده، دیتالاگر و رایانه انجام گرفت. متغیرهای مستقل آزمایش شامل سه سطح بار عمودی، سه سطح سرعت پیشروی. شش سطح مقاومت خاک و سه سطح لغزش تایر بودند که در قالب آزمایش فاکتوریل و بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. متغیرهای وابسته آزمایش عبارت بودند از: نسبت های نیروهای زمین‌گیرایی ناخالص، زمین‌گیرایی خالص، مقاومت حرکتی و بازده زمین‌گیرایی.

نتایج اثر متقابل متغیرهای مستقل آزمایش بر عوامل عملکردی زمین‌گیرایی، ضمن تائید دستاوردهای تحقیقات قبلی، نشان داد که سرعت پیشروی بر نیروی زمین‌گیرایی خالص، نیروی مقاومت حرکتی و بازده زمین‌گیرایی اثری بسیار معنی‌دار دارد . بنابراین با تکیه بر این نتایج مدلی رگرسیونی برای نسبت نیروی مقاومت حرکتی تدوین گردید که علاوه بر پارامترهای وارد شده در مدل‌های پیشین، اثر سرعت پیشروی و لغزش نیز در آن دیده می‌شود. مدل پیش‌بینی نسبت مقاومت حرکتی (MRR) تدوین شده بشکل زیر می‌باشد:

$$MRR = \frac{1.29}{Cn} - 0.015Va + 0.35S + 0.023$$

که در آن Va سرعت پیشروی واقعی برحسب کیلومتر بر ساعت و S لغزش بصورت اعشاری است، Cn نیز عدد پویایی یا تحرک می باشد.

واژگان کلیدی: زمین‌گیرایی، مخزن خاک، سرعت پیشروی، مدل‌سازی، تایر لاستیکی

۱-استاد یار مکانیک گروه ماشینهای کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- استاد یار گرو مکانیک ه ماشینهای کشاورزی دانشگاه تر بیت مدرس

مقدمه

اصلی‌ترین نوع توان در دستگاههای کشنده نظیر تراکتور، توان کششی یا مالبندی آنهاست. توان کششی حاصلضرب نیروی زمین گیرایی خالص در سرعت پیشروی واقعی تراکتور می‌باشد. در دستگاههای کشنده غیر جاده‌ای به دلایل مختلف، سرعت پیشروی محدود است. بنابراین برای دستیابی به توان کششی بالا. باید نیروی زمین گیرایی را افزایش داد. مهمترین عامل محدود کننده ایجاد این نیرو، اثرات متقابل ماشین و خاک و یا به عبارت دقیق‌تر مکانیک زمین گیرایی می‌باشد.

علیرغم تحقیقات و کارهای زیادی که تاکنون در زمینه عملکرد زمین‌گیرایی صورت گرفته، هنوز روابط و مدلهای دقیقی که بتواند به طور عمومی مقدار نیروی زمین‌گیرایی را برای تمام وسایل زمین‌گیرا (تایر، شنی و . . .) در اندازه‌ها و شرایط مختلف پیش‌بینی نماید ارائه نشده است.

در این تحقیق علاوه بر مطالعه اثرات پارامترهایی که در مدلهای موجود زمین گیرایی و بازده زمین گیرایی چرخ‌های لاستیکی لحاظ شده‌اند اثر سرعت پیشروی بر عوامل عملکردی زمین گیرایی نیز که تاکنون در این مدل ها وارد نشده است بررسی می‌شود. سپس با ارائه یک مدل جدید پیش‌بینی عملکرد زمین گیرایی براساس یافته‌های تحقیق اثر سرعت پیش روی نیز لحاظ می‌شود.

بررسی منابع

محققین زیادی در طی سالهای گذشته مدلهای پیش‌بینی و ارزیابی عملکرد زمین‌گیرایی تایرهای برون جاده‌ای را ارائه نموده‌اند. بعضی با روشهای تحلیلی و سایرین با روشهای نیمه تجربی اقدام نموده‌اند. اغلب روشهای نیمه تجربی بر پیش‌بینی عملکرد جداگانه چرخهای بوکسیر یا کشیده شونده و گردنده (محرک) متمرکز شده‌اند (۱).

از مدلهای موجود در این زمینه سه مدل ارائه شده توسط ویسمر–لوت. بریکسیوس و شارما–پندی از اعتبار بیشتری برخوردار می‌باشند که مدل بدست آمده در این تحقیق بوسیله روابط آماری و همچنین آزمونهای آزمایشگاهی با آنها مورد مقایسه قرار گرفته است.

مدل (Wismer and Luth, 1974)

مدل کلاسیک ویسمر–لوت تلفیقی از مدل WES و مدل عکس‌العمل خاک (Janosi-Hanamoto) می‌باشد(۷) . آنها مدل چرخ را با استفاده از نسبت سطح مقطع و خوابیدگی (تغییر شکل تایر در اثر اعمال بار عمودی روی سطح سخت استاندارد) ساده نموده، ولی عامل لغزش را به مدل اضافه کرده‌اند. مدل های قبلی بر اساس لغزش استاندارد ۲۰درصد بنا نهاده شده بودند (۱۳). این مدل بر اساس آزمایش‌های زمین‌گیرایی تراکتورهای مزرعه در پایان دهه ۱۹۶۰ و آغاز دهه ۱۹۷۰ ارائه شده است (۱۵). این محققین مقادیر استاندارد زیر را در مورد اعداد مختلف چرخ به کار برده اند:

$$\frac{b}{d}=0.3 \quad \frac{\delta}{h}=0.2 \qquad \frac{r_r}{d}=0.475$$

نسبت یا ضریب نیروی زمین‌گیرایی‌ناخالص:

$$GTR=\mu_T=0.75\left(1-\exp^{-0.3CnS}\right)$$

نسبت‌یاضریب نیروی زمین‌گیرایی‌خالص:

$$\mu_P=0.75\left(1-\exp^{-0..3CnS}\right)-\left(0.04+\frac{1.2}{Cn}\right)$$

نسبت یا ضریب مقاومت غلت:

$$MRR=\mu_R=0.04+\frac{1.2}{Cn}$$

مدل (Brixius, 1987)

مدل بریکسیوس بر اساس آزمون‌های نیروی کشش مالبند تراکتورهای کشاورزی که بوسیله شرکت جاندیر در آمریکا انجام شده، تدوین و ارائه گردیده‌اند (٤).

$$NTR=\mu_P=0.88\left(1-e^{-0.1N_B}\right)\left(1-e^{-7.5S}\right)-\left[\frac{1.0}{N_B}+\frac{0.05S}{\sqrt{N_B}}\right]$$

$$GTR=\mu_T=0.88\left(1-e^{-0.1N_B}\right)\left(1-e^{-7.5S}\right)+0.04$$

$$MRR=\mu_R=\frac{1.0}{N_B}+0.04+\frac{0.05S}{\sqrt{N_B}}$$

او همچنین عدد چرخ جدیدی (N_B) را ارائه نمود:

$$N_B=\frac{CI.b.d}{w}\left[\frac{1+5\frac{\delta}{h}}{1+3\frac{b}{d}}\right]$$

مدل (Sharma and Pandey, 1998)

شارما و پندی تایر تراکتورهای کشاورزی را در مخزن خاک با استفاده از خاک‌های لوم-شنی رسی مورد مطالعه قرار دادند. بعدا (Sharma and Pandey, 2001) آزمایش‌های مزرعه‌ای با تراکتورهای کشاورزی در شرایط مزرعه‌ای در هند به منظور تعیین الگوی تایر مناسب برای تراکتورهای کوچک دو چرخ محرک انجام دادند. آنها تعریفی برای زمین‌گیرائی در شرایط صفر پیشنهاد نمودند که شبیه به زمین‌گیرائی خالص ولی با اندکی لغزش بالاتر بود (٩).

$$N_{CC}=\frac{CI.b.d}{w}\sqrt{\frac{\delta}{h}}$$

$$\mu_{P0} = 0.76\left(1 - e^{-0.07 NccS}\right)$$

$$\mu_{T0} = 0.36\left(1 - e^{-0.35 NccS}\right)$$

که در آن:

μ_{PO} = ضریب کشش مالبند

μ_{To} = ضریب نیروی پیشرانه

N_{CC} = عدد چرخ Freitag

S = لغزش

مواد و روشها

پس از ساخت مخزن خاک و تجهیز آن برای مطالعات زمین گیرایی. مقادیر عوامل عملکردی زمین گیرایی اندازه‌گیری شده در مخزن خاک با چند مدل معتبر و متداول ذکر شده مقایسه گردید، همچینن اثرات متقابل پارامترهای تایر. خاک و سرعت پیشروی بر عوامل عملکردی زمین گیرایی مطالعه و بررسی شد. سپس مدل پیش‌یابی نسبت نیروی مقاومت حرکتی تدوین شد. در این مدل برای اولین بار اثر سرعت پیشروی در نظر گرفته شده است.

تیمارها و سطوح تغییرات در تحقیق با توجه به سوابق مربوط به عملکرد زمین گیرایی عبارتنداز:

۱- بار عمودی وارد بر سطح تماس بین خاک و چرخ (W)، در سه سطح ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰نیوتن.

۲- سرعت پیشروی نظری (V)، در سه سطح ۰/۳، ۰/٦ و ۰/۹ متر بر ثانیه

۳- مقاومت خاک بر اساس شاخص مخروط (C)، در شش سطح ٤۰۰، ۵۰۰، ٦۰۰، ۷۰۰، ۸۰۰ و ۹۰۰کیلوپاسکال.

٤- لغزش (S)، در سه سطح ۵، ۱۵ و ۲۵ درصد.

مهمترین هدف در این تحقق تعیین اثر سرعت پیشروی بر عملکرد زمین گیرایی است. همانطور که قبلاً ذکر شد، تاکنون تحقیق منتهی به ارائه مدلی که اثر این عامل در آن لحاظ شده باشد بویژه در مورد تایرهای لاستیکی غیر جاده‌ای انجام نشده است. بنابراین در تحقیق حاضر با توجه به سرعتهای عملی مورد استفاده برای نیروهای کششی زیاد، از سه سطح سرعت پیشروی نظری ۰/۳، ۰/٦ و ۰/۹ متر بر ثانیه برای مطالعه اثر آن بر پارامترهای عملکردی زمین گیرایی تایر لاستیکی استفاده شد. از مخزن خاک به عنوان واحد اندازه‌گیری استفاده شد. آزمایش ها در سه سرعت مختلف نظری (سرعت چرخ) انجام و داده های عملکرد زمین گیرایی اندازه‌گیری و توسط رایانه در هر سرعت ثبت شده و منحنی‌های مربوطه رسم گردید.

در این آزمایش هر تیمار سه بار تکرار شد و جمعاً ۱۱۸۵ داده برای هر متغیر آزمایش بدست آمد که از این داده‌ها در مقایسه مدلها استفاده شد. در ابتدا MR, NT, GT و TE مقادیراندازه‌گیری شده از آزمایش بامقادیر محاسبه ای توسط سه مدل ذکر شده بوسیله آزمون T مقایسه گردید و جداول تجزیه واریانس و جداول مقایسه میانگین‌ها مربوط به داده‌های آزمایش رسم و اثرات متقابل متغیرهای آزمایش بررسی گردید .

نتایج و بحث

براساس جدول تجزیه واریانس سرعت پیشروی تایر که در سطوح نظری ۰/۳، ۰/٦ و ۰/۹ متر بر ثانیه اعمال شد تأثیر بسیار معنی‌دار بر میانگین تمام متغیرهای وابسته تحقیق داشت.

حاصل این پژوهش علاوه بر تائید نتایج بدست آمده توسط پژوهشگران دیگر در مورد پارامترهای موثر بر زمین‌گیرایی، اثر سرعت را نیز در مدل بدست آمده نشان می‌دهد.

جدول ۱ نشاندهنده مقایسه میانگین های نیروی زمین‌گیرایی ناخالص (GT) نسبت به سطوح مختلف سرعت پیشروی است که توسط آزمون چند دامنه ای دانکن بدست آمده و گویای اختلاف معنی دار بین اثرات سرعت های پیشروی ۰/۳ و۰/۶ متر بر ثانیه می باشد ولی بین اثر سرعت پیشروی ۰/۹ متر بر ثانیه با اثرات سرعت های ۰/۳ و ۰/۶ متر بر ثانیه در سطح ۱٪ $\alpha =$ تفاوت معنی‌دار با مقادیر اندازه‌گیری شده در تحقیق نداشت.

جدول۱: مقایسه میانگین‌های نیروی زمین‌گیرایی ناخالص (GT) در سطوح مختلف سرعت

سرعت (m/s)	تعداد داده‌ها	میانگین GT
۰/٦	۱٦۲	٦٤۰/۲ A
۰/۹	۱٦۲	٦۳۷/۳ AB[1]
۰/۳	۱٦۲	٦۲٥/۱ B

تأثیر سرعت پیشروی بر NT در سطح ٪۱= α معنی‌دار بود و این بدلیل کاهش مقاومت حرکتی در اثر افزایش سرعت می‌باشد.

جدول۲: مقایسه میانگین‌های نیروی زمین‌گیرایی خالص (NT) نسبت به سطوح مختلف سرعت

سرعت (V)	تعداد داده‌ها	میانگین NT
۰/۹	۱٦۲	٤۸۹/٥ A
۰/٦	۱٦۲	٤٦۸/۱ B
۰/۳	۱٦۲	٤۳۹/۰ C

[1]- میانگین‌هایی که با حروف مشترک نشان داده شده‌اند در سطح ۱٪ دارای اختلاف نمی‌باشند(آزمون دانکن)

MR با افزایش سرعت کاهش معنی‌دار در سطح ٪۱= α داشت. این به علت کوتاهتر شدن زمان بارگذاری تایر بر خاک است که نشست کمتر و در نتیجه مقاومت غلت کمتری را ایجاد می‌کند.

جدول ۳ : مقایسه میانگین‌های مقاومت حرکتی (MR)درسطوح مختلف سرعت (V)

سرعت(m/s)	تعداد داده‌ها	میانگین MR
۰/۳	۱۶۲	۱۸۵/۱ A
۰/۶	۱۶۲	۱۷۲/۱ B
۰/۹	۱۶۲	۱۴۷/۸ C

به دلیل کاهش MR و افزایش NT، انرژی لازم برای حرکت تایر کمتر شده و به این دلیل TE نیز با افزایش سرعت پیشروی بطور معنی‌دار در سطح ٪۱= α افزایش یافت.

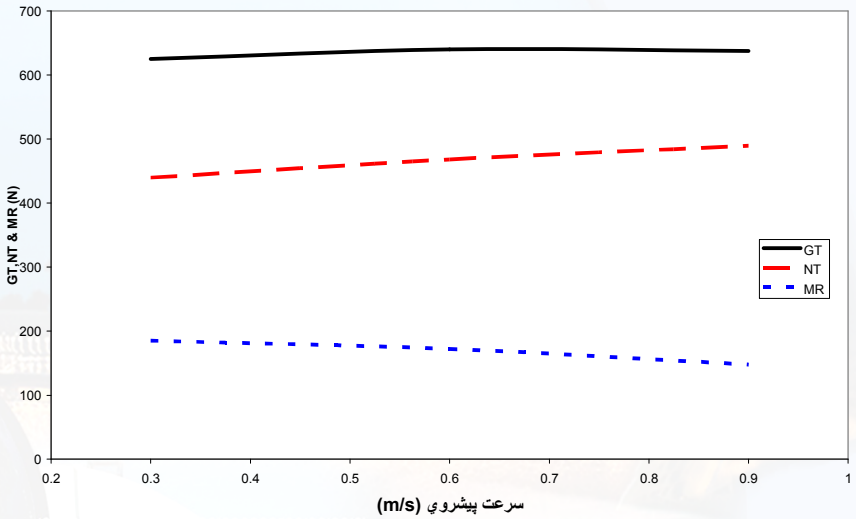
جدول۴ : مقایسه میانگین‌های بازده زمین‌گیرایی (TE) در سطوح مختلف سرعت (V)

سرعت(m/s)	تعداد داده‌ها	میانگین TE
۰/۹	۱۶۲	۰/۶۴۴A
۰/۶	۱۶۲	۰/۶۰۴ B
۰/۳	۱۶۲	۰/۵۶۴ C

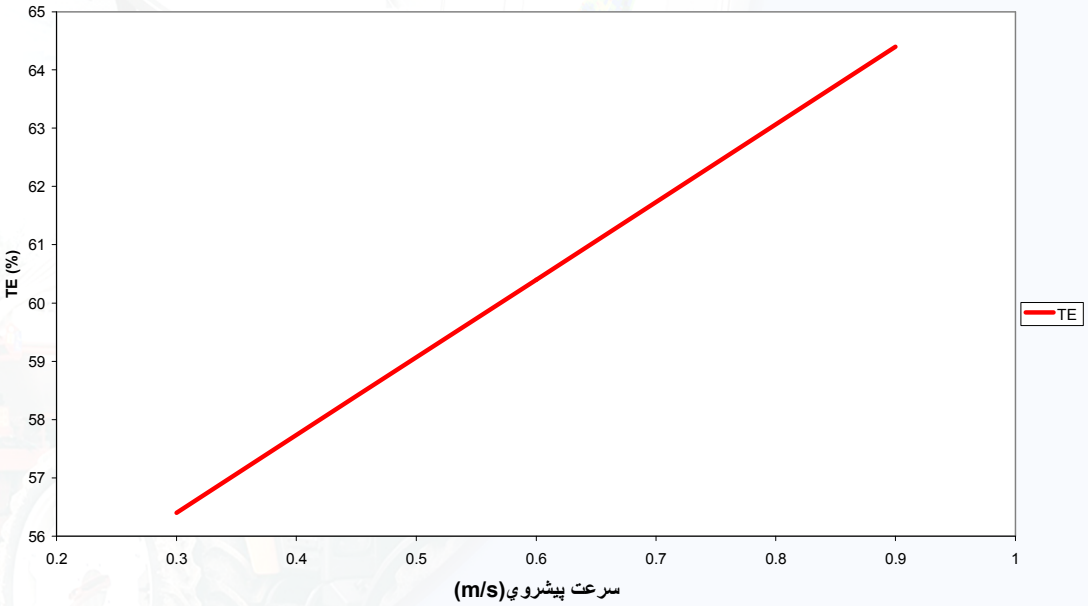
نتایج آزمون مقایسه میانگین مقادیر نیروی زمین‌گیرایی ناخالص حاصل از اندازه‌گیری و محاسبه شده توسط مدل (Wismer-Luth) که در آن اثر سرعت پیشروی لحاظ نشده نیز اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. در تلاشی که برای تدوین مدل رگرسیونی مربوط صورت گرفت نیز اثر سرعت پیشروی بر این نیرو معنی‌دار نبود. لذا می‌توان نتیجه گرفت که سرعت پیشروی بر نیروی زمین‌گیرایی ناخالص تاثیر معنی‌دار ندارد(نمودار ۱).

جدول ٤ مقایسه میانگین‌های بازده زمین‌گیرایی (TE) را در سطوح مختلف سرعت پیشروی (V) توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن نشان می‌دهد که گویای اثر بسیار معنی‌دار سرعت

پیشروی بر بازده زمین‌گیرایی می‌باشد. همان‌گونه که قبلاً ذکر شد، کاهش مقاومت حرکتی باعث کاهش توان تلف شده و در نتیجه افزایش کارآئی و بازده زمین‌گیرایی می‌شود. چون در شرایط آزمایش افزایش سرعت باعث کاهش نیروی مقاومت حرکتی شده است، بنابراین بازده زمین‌گیرایی بطور معنی‌دار در سطح ٪۱=α افزایش یافته است(نمودار ۲).



نمودار 1) اثر سرعت پیشروي بر GT, NT & MR



نمودار 2) اثر سرعت پیشروي بر بازده زمین گیرایي

در این تحقیق با استفاده از داده های آزمایش مدل ریاضی پیش‌بینی MRR تدوین شد که علاوه بر پارامترهایی که در مدل‌های پیشین لحاظ شده است اثر دو پارامتر سرعت پیشروی و لغزش نیز در آن دیده می‌شود، این مدل به روش رگرسیون چند متغیره بدست آمده است.

$$MRR=\frac{1.29}{Cn}-0.015Va+0.35S+0.023$$

نتیجه گیری و پیشنهادات

۱- با توجه به اینکه عملکرد زمین‌گیرایی تایر در سرعت های پیشروی بالاتر افزایش می‌یابد، در مزارعی که امکان دارد، بهتر است کار با سرعت پیشروی بیشتر صورت گیرد.

۲- به علت اینکه در سرعت پیشروی بالاتر، زمان اعمال تنش بوسیله تایر بر خاک کوتاهتر است، فشردگی کمتری ایجاد می‌شود. بنابراین در خاک‌های دارای مقاومت کمتر (مرطوب و نرم)، از نظر کاهش فشردگی توسط تایر، افزایش سرعت پیشروی پیشنهاد می‌شود.

۳- پیشنهاد می‌شود آزمایش‌های اثر سرعت پیشروی بر عوامل زمین‌گیرایی به ویژه مقاومت غلت و فشردگی خاک در گستره وسیع‌تری انجام شود.

٤- پیشنهاد می‌شود اثر متقابل سرعت پیشروی بر سایر پارامترهای موثر بر عملکرد زمین‌گیرایی که در این تحقیق وارد نشدند مثل تغییرات فشار هوای تایر، طرح آج، تعداد و ابعاد آن و ابعاد تایر و انواع آن مورد مطالعه و پژوهش قرار گیرد.

منابع

1-Alcock, R. (1986). Tractor-implement systems. Westport, Conn.

2-Bekker, M.G. (1956) Theory of land locomotion. Ann Arbor Mich. The University of Michigan Press.

3-Bekker, M.G. (1960). Off-the road locomotion; research and development in terramechanics. Ann Arbor, MI: The University of Michigan Press.

4-Brixius, W.W. (1987). Traction prediction equations for bias ply tires. ASAE Pape No. 87-1622.St.Joseph, Mich.

5-Dwyer, M.J. (1984). Tractive performance of wheeled Vehicles. Journal of Terramechanics 21(1): 19-34

7-Janosi, Z and Hanamoto, B. (1961). An analysis of pneumatic tire performance on deformable soil. Proceedings of the 1st International ISTVS Conference. Torino-SaintVincent, Italy, 12-16 Gingno 1961: 707 726.

6-Freitag, D.R.(1965). A dimensional analysis of the performance of pneumatic tires on soft soils. U S Army Waterways Experiment Station, Report No. 3-688.

8-Sharma, A.J. and Pandey, K.P. (1998). Traction data analysis in reference to a unique zero condition. Journal of Terramechanics. 35(3): 179-88.

9-Sharma, K.A. and Pandey, K.P. (2001). Matching tyre size to weight, speed and power available for maximising pulling ability of agricultural tractors. Journal of Terramechanics 28(2): 71-88.
10-Shmulevich, U., Mussel and Wolf, D. (1998). The effect of velocity on rigid wheel performance. Journal of Terramechanics, V: 35, I:3, P.189-207.
11-Liljedhl, J.B., Carleton, P.K., Turnquist and Smith, D.W. (1979). Tractors and their power units, 2nd Ed. New york, N.Y.: John Wiley & Sons.
12-Turnage, G.W. (1972). Tire selection and performance prediction for off-road wheeled-vehicle operation. Proceedings of the 4th International ISTVS Conference Aprill 24-28. 1972, Stokholm-Kiruna, Sweden. I:62-82.
13-Wismer, R.D., and Luth, J.H. (1974). Off-road traction prediction for wheeled vehicles. Transactions of the ASAE 17(1): 8-10, 14. St. Joseph, Mich.
14-Wong, J. Y. Zoz, F.M. (1972). Predicting tractor field performance. Transactions of the ASAE, 15(2): 249-255. St. Joseph, Mich.
(1978). Theory of ground vehicles. Wiley & Sons, New York, USA330pp.
15-Zoz, F.M. and Grisso, R.D. (2003). Traction and tractor performance. ASAE Distinguished Lecture Series# 27. St. Joseph, Mich.

Effect of forward speed on motion resistance of rubber tires

Abstract

Many reasurches have been performed in the world on traction mechanics and parameters affecting on it, and many traction prediction models were developed , but in none of them effect of forward speed hasn't taken in to account.

In this reasurch traction performance measured values of a rubber tire compaired with same traction performance values that were calculated by three most common models, and in addition effect of forward speed on traction perfcrnance parameters were measured and evaluated.

Tests were performed by fabrication of a laboratory soilbin, data acquisition carried out by an instrumentation system consist of sensors, amplifiers, datalogger, and PC.

Independent variables were three levels of forward speeds, three levels of normal loads, six levels of soil strengths and three levels of slips. Dependent variables were net traction (NT), gross traction (GT), motion resistance (MR) and traction efficiency (TE).

Camparison and evaluation of data were carried out by using of factorial test on the basis of compelet randomiged design with three replications.

Interactions of independent and dependent variables in addition to verification of previous reasurches results, showed that forward speed have very high significant effect on motion resistance.

Based on test results, a regression model for motion resistance ratio (MRR) was developed that in spite to previous models, the foward speed and slip parameters were also enterd in new model.

The newly developed motion resistance ratio model is:

$$MRR = \frac{1.29}{Cn} - 0.015Va + 0.35S + 0.023$$

Where Va is actual forward speed in km/h, S is slip in decimal and Cn is dimentionless mobility number.

Keywords: Traction, Soil bin, Forward Speed, Modeling, Rubber Tire.