Archive of SID

اثر سرعت پیشروی بر مقاومت حرکتی چرخ های لاستیکی

محمدجواد 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 به عمل 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 بر عوامل 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 و 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 [۳] (MRR) تدوین شده به شکل زیر می‌باشد:

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

کلید واژه ها: زمین‌گیرایی، مخزن خاک، سرعت پیشروی، مدل‌سازی، تایر لاست

مقدمه

اصلی‌ترین نوع توان در دستگاه های کشنده نظیر تراکتور، توان کششی یا مالبندی آنهاست. توان کششی حاصلضرب نیروی زمین گیرایی خالص در سرعت پیشروی واقعی تراکتور می‌باشد. در دستگاه های 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 (۳).

زمین‌گیرایی صورت گرفته، هنوز روابط و مدل های 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 مدل های 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

۱- استادیار گروه مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز (javad1950@yahoo.com)

۲- دانشیار گروه مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران

3- Motion Resistance Ratio

تاریخ دریافت:۸۴/۱۱/۱۱

تاریخ پذیرش: ۸۶/۹/۵

www.SID.ir

Archive of SID

گیرایی بر اساس یافته‌های تحقیق اثر سرعت پیشروی نیز لحاظ می‌شود.

محققین زیادی در طی سال های گذشته مدل های پیش‌بینی و ارزیابی عملکرد زمین‌گیرایی تایرهای برون جاده‌ای را ارائه نموده‌اند. بعضی با روش های تحلیلی و سایرین با روش های نیمه تجربی اقدام نموده‌اند. اغلب روش های نیمه تجربی بر پیش‌بینی عملکرد جداگانه چرخ های کشیده شونده (گردانیده) و گردنده (گردنده) متمرکز شده‌اند (۲و۵).

از مدل های موجود در این زمینه سه مدل ارائه شده توسط ویسمر–لوت[1] (۳و۱۱) بریکسیوس[2] (۴) و شارما–پندی[3](۹) از اعتبار بیشتری برخوردار می‌باشند که مدل بدست آمده در این تحقیق بوسیله روابط آماری و همچنین آزمون های آزمایشگاهی با آنها مورد مقایسه قرار گرفته است.

مدل ویسمر- لوت(۱۹۷٤)

مدل کلاسیک ویسمر–لوت تلفیقی از مدل WES[4] و مدل خاک جانوسی- هانامـاتو[5] می‌باشد(۶و۷) ا 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 (۱۱). این مدل بر اساس آزمایش‌های زمین‌گیرایی تراکتورهای مزرعه در پایان دهه ۱۹۶۰ و آغاز دهه ۱۹۷۰ ارائه شده است (۱۲) این محققین مقادیر استاندارد زیر را در مورد اعداد مختلف چرخ به کار برده اند:

نسبت پهنا به قطر چرخ: $\frac{b}{d} = 0.3$

نسبت خوابیدگی: $\frac{\delta}{h} = 0.2$

شعاع غلتش به قطر چرخ: $\frac{r_r}{d} = 0.475$

عدد چرخ: $Cn = \frac{CI.b.d}{W}$

نسبت یا ضریب نیروی زمین‌گیرایی‌ناخالص[6]:

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

نسبت یا ضریب نیروی زمین‌گیرایی‌خالص[7]:

$$NTR = 0.75\left(1-\exp^{-0.3CnS}\right)-\left(0.04+\frac{1.2}{Cn}\right)$$

نسبت یا ضریب مقاومت حرکتی:

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

که در آن ها:

CI : شاخص مخروط خاک

b : پهنای چرخ

d : قطر چرخ

W : بار عمود وارد بر چرخ

h : ارتفاع مقطع تایر

δ : خوابیدگی تایر

S : لغزش چرخ

مدل بریکسیوس (۱۹۸۷)

مدل بریکسیوس بر اساس آزمون‌های نیروی کشش مالبند تراکتورهای کشاورزی که بوسیله شرکت جاندیر در آمریکا انجام شده، تدوین و ارائه گردیده‌اند (۴).

نسبت یا ضریب نیروی زمین‌گیرایی ناخالص:

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

نسبت یا ضریب نیروی زمین‌گیرایی خالص:

1- Wismer -Luth
2- Brixius
3- Sharma - Pandey
4- Waterways Exprimentation Station
5- Janosi-Hanamoto

6- Gross Traction Ratio
7- Net Traction Ratio

www.SID.ir

Archive of SID

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

نسبت یا ضریب مقاومت غلت:

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

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 شارما و پندی (۱۹۹۸)

شارما و پندی تایر تراکتورهای کشاورزی را در مخزن خاک با استفاده از خاک‌های لوم-شنی رسی مورد مطالعه قرار دادند (۸) بعدا شارما و پندی آزمایش‌های مزرعه‌ای با تراکتورهای کشاورزی در شرایط مزرعه‌ای در هند به منظور تعیین الگوی تایر مناسب برای تراکتورهای کوچک دو چرخ محرک انجام دادند (۹) آنها تعریفی برای زمین‌گیرائی در شرایط کشش نیروی مالبند صفر پیشنهاد نمودند که شبیه به زمین‌گیرائی خالص ولی با اندکی لغزش بالاتر بود.

$$\mu_{P0} = 0.76\left(1 - e^{-0.07 NccS}\right)$$
$$\mu_{T0} = 0.36\left(1 - e^{-0.35 NccS}\right)$$

که در آن:

μ_{PO} : ضریب کشش مالبند

μ_{To} : ضریب نیروی پیشرانه[1]

N_{CC} : عدد چرخ فریتاگ[2]

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

مواد و روش ها

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، همچنین 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 عبارتند از:

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

۲- سرعت پیشروی نظری (V)، در سه سطح ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ متر بر ثانیه.

۳- مقاومت خاک بر اساس شاخص مخروط (C)، در شش سطح ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۰۰ و ۹۰۰ کیلو پاسکال.

۴- 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 به ویژه در مورد تایرهای لاستیکی غیر جاده‌ای انجام نشده است. بنابراین در تحقیق حاضر با توجه به سرعت های عملی مورد استفاده برای نیروهای کششی زیاد، از سه سطح سرعت پیشروی نظری ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ متر بر ثانیه برای مطالعه اثر آن بر پارامترهای عملکردی زمین گیرایی تایر لاستیکی استفاده شد. از مخزن خاک متحرک و تجهیزات داده برداری آن به عنوان سامانه اندازه‌گیری استفاده شد (۱).

آزمایش ها در سه سرعت مختلف نظری

1- Thrust force ratio
2- Freitag

www.SID.ir

Archive of SID

(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 مدل ها استفاده شد. در ابتدا MR[1] ، NT[2]، GT[3] و TE[4] (بازده زمین گیرایی) مقادیر اندازه‌گیری شده از آزمایش با مقادیر 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

بر اساس جدول تجزیه واریانس سرعت پیشروی تایر که در سطوح نظری ۰/۳، ۰/۶ 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 نشان دهنده مقایسه میانگین های نیروی زمین‌گیرایی ناخالص (GT) در 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 $\alpha = ٪۱$ تفاوت معنی‌دار با مقادیر اندازه‌گیری شده در تحقیق نداشت. تأثیر سرعت پیشروی بر NT در سطح $\alpha =$٪۱ معنی‌دار بود و این بدلیل کاهش مقاومت حرکتی در اثر افزایش سرعت می‌باشد.

MR با افزایش سرعت کاهش معنی‌دار در سطح $\alpha =$٪۱ داشت. که این پدیده می تواند به علت کوتاهتر شدن زمان بار گذاری تایر برخاک باشد که نشست کمتر و در نتیجه مقاومت غلتشی کمتری را ایجاد می‌کند (۱۰).

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 $\alpha =$٪۱ افزایش یافت.

در تلاشی که برای تدوین مدل رگرسیونی مربوط صورت گرفت نیز اثر سرعت پیشرو ی (در محدوده آزمایش) بر این نیرو معنی‌دار نبود.

لذا می‌توان نتیجه گرفت که سرعت پیشروی بر نیروی زمین‌گیرایی ناخالص تاثیر معنی‌دار ندارد (جدول و نمودار ۱).

سرعت باعث کاهش نیروی مقاومت حرکتی شده است، بنابراین بازده زمین‌گیرایی بطور معنی‌دار در سطح $\alpha =$٪۱ افزایش یافته (جدول ۴ و نمودار ۲) جدول ۴ 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 نتایج آزمون مقایسه میانگین مقادیر نیروی زمین‌گیرایی ناخالص حاصل از اندازه‌گیری و محاسبه شده توسط مدل ویسمر– لوت که در آن اثر سرعت پیشروی لحاظ نشده نیز اختلاف معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۵).

در این تحقیق با استفاده از داده های آزمایش

1- Motion Resistance
2- Net Traction
3- Gross Traction
4- Traction Efficiency

www.SID.ir

Archive of SID

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.

جدول۱- مقایسه میانگین‌های نیروی زمین گیرایی ناخالص (GT) در سطوح مختلف سرعت (V)

سرعت (V) (متر بر ثانیه)	تعداد داده‌ها	میانگین GT (N)
۰/۶	۱۶۲	۶۴۰/۲ A
۰/۹	۱۶۲	۶۳۷/۳ AB*
۰/۳	۱۶۲	۶۲۵/۱ B

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

جدول۲- مقایسه میانگین‌های نیروی زمین‌گیرایی خالص (*NT*) نسبت به سطوح مختلف سرعت (V)

سرعت (V) (متر بر ثانیه)	تعداد داده‌ها	میانگین NT (N)
۰/۹	۱۶۲	۴۸۹/۵ A
۰/۶	۱۶۲	۴۶۸/۱ B
۰/۳	۱۶۲	۴۳۹/۰ C

جدول ۳ - مقایسه میانگین‌های مقاومت حرکتی (*MR*) در سطوح مختلف سرعت (V)

سرعت (V) (متر بر ثانیه)	تعداد داده‌ها	میانگین MR (N)
۰/۳	۱۶۲	۱۸۵/۱ A
۰/۶	۱۶۲	۱۷۲/۱ B
۰/۹	۱۶۲	۱۴۷/۸ C

www.SID.ir

Archive of SID

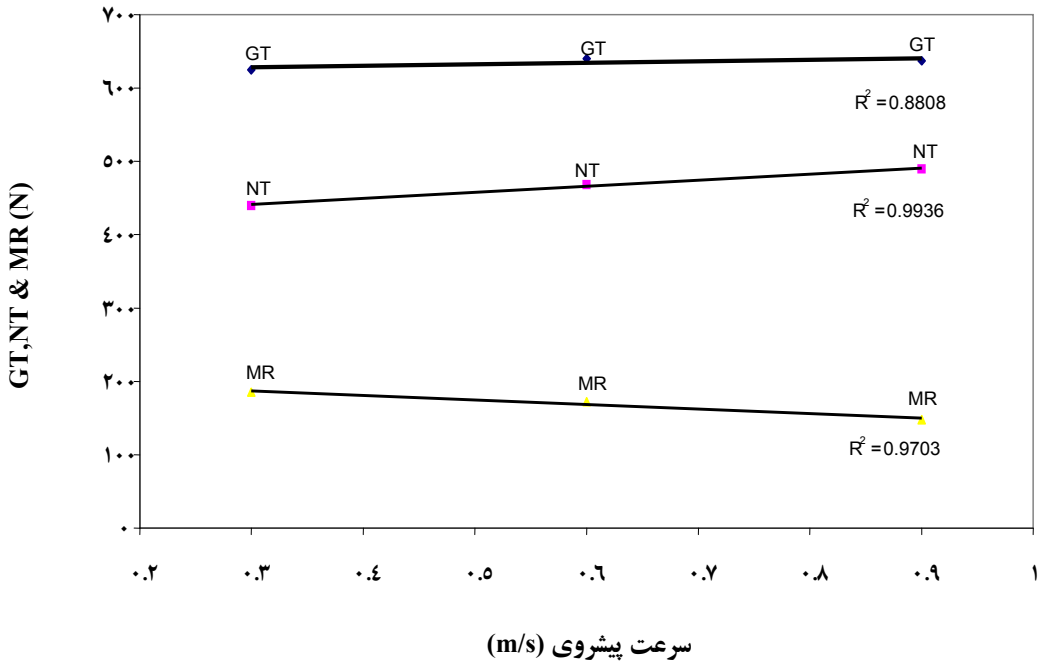
جدول٤ - مقایسه میانگین‌های بازده زمین گیرایی (*TE*) در سطوح مختلف سرعت (V)

سرعت (V) (متر بر ثانیه)	تعداد داده‌ها	میانگین TE
۰/۹	١٦٢	۰/٦٤٤A
۰/٦	١٦٢	۰/٦۰٤ B
۰/۳	١٦٢	۰/٥٦٤ C

جدول٥- مقایسه میانگین نیروی زمین گیرایی ناخالص حاصل از مدل ویسمر- لوت و مقادیر اندازه‌گیری شده

متغیر ها	تعداد	میانگین	انحراف معیار	معیارخطا	واریانس‌ها	T	درجه آزادی	Prob>1T1
GTw-l مدل	۱۱۸۵	۶۳۶/۶	۲۶۳/۳	۷/۶	نامساوی	۰/۰۶۰۷	۲۳۳۱/۴	۰/۹۵۱۶*
GTm اندازه گیری	۱۱۸۵	۶۳۵/۹	۲۹۸/۶	۸/۶	مساوی	۰/۰۶۰۷	۲۳۶۸	۰/۹۵۱۶

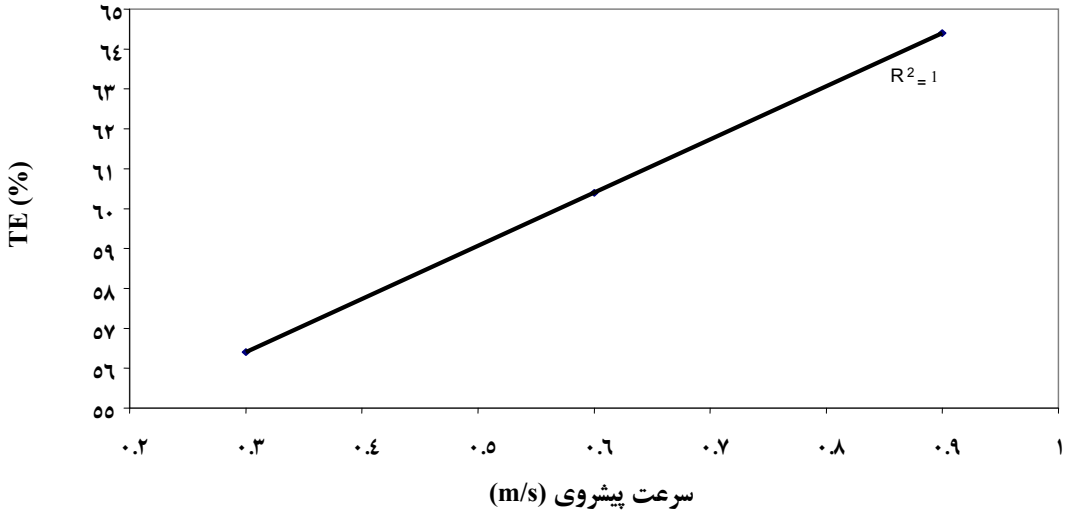
*- چون برطبق آزمون واریانس‌ها برابر نیستند، از آزمون نامساوی بودن واریانس‌ها استفاده شده است.



نمودار ۱- اثر سرعت پیشروی بر پارامترهای GT, NT& MR

www.SID.ir

Archive of SID



نمودار ۲- اثر سرعت پیشروی بر بازده زمین گیرایی

منابع

۱. شیخ داودی،م.، مینایی، س.، الماسی،م. و قبادیان، ب.۱۳۸۴. ساخت و ارزیابی دستگاه کامل اندازه گیری و مطالعه فرآیند زمین گیرایی تحت شرایط کنترل شده. مجله علمی کشاورزی جلد ۲۸ شماره ۱، صص۱۳ تا ۲۸.

2. Alcock, R. 1986. Tractor-implement systems. Westport, Conn., USA., 204 p.

3. Bager, E. L., Liljedhl, J.B., Carleton, W.M. and Mckibben, E.G. (1979). Tractors and Their Power Units, 2nd ed. New York, N.Y: John Wiley & Sons, 524 p.

4. Brixius, W.W. 1987. Traction prediction equations for bias ply tires. ASAE, USA Paper, 87:1622.

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

6. Freitag, D.R. 1965. A dimensional analysis of the performance of pneumatic tires on soft soils. U S Army Waterways Experiment Station, 3:688.

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.

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.

www.SID.ir

Archive of SID

9. Sharma, K.A., and Pandey, K.P. 2001. Matching tyre size to weight, speed and ower available for maximising pulling ability of agricultural tractors. Journal of Terramechanics, 28(2): 71-88.

10. Shmulevich, I., Mussel, U., and Wolf, D. 1998. The effect of velocity on rigid wheel performance. Journal of Terramechanics, 35(1:3).189-207.

11. Wismer, R.D., and Luth, J.H. 1974. Off-road traction prediction for wheeled vehicles. Transactions of the ASAE, 17(1): 8-10.

12. Zoz, F.M., and Grisso, R.D. 2003. Traction and tractor performance. ASAE Distinguished Lecture Series, 27:48.

www.SID.ir