

## اثر سرعت پیشروی بر مقاومت حرکتی چرخ های لاستیکی

محمدجواد شیخ داودی<sup>۱</sup> و سعید مینایی<sup>۲</sup>

### چکیده

تحقیقات متعددی در دنیا در خصوص مکانیک زمین گیرایی و عوامل موثر بر آن انجام گرفته و مدل های پیش بینی زیادی تدوین گردیده ولی بر اساس بررسی های به عمل آمده، تاکنون در مورد تاثیر سرعت پیشروی بر عوامل عملکردی زمین گیرایی رابطه ای تدوین نشده است. در این تحقیق علاوه بر مقایسه مقادیر اندازه گیری شده عوامل عملکردی زمین گیرایی تاثیر لاستیکی (مدل کوچک) با مقادیر محاسبه شده توسط سه مدل معتبر از مدل های موجود، اثر سرعت پیشروی بر عوامل عملکردی زمین گیرایی نیز مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفت. آزمایش ها ضمن ساخت و تجهیز مخزن خاک سر پوشیده آزمایشگاهی در شرایط کنترل شده اجرا و داده برداری توسط سیستمی شامل حسگرها، مبدل های مختلف، تقویت کننده، 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 زمین گیرایی ناخالص، زمین گیرایی خالص، مقاومت حرکتی و بازده زمین گیرایی. نتایج اثر متقابل متغیرهای مستقل آزمایش بر عوامل عملکردی زمین گیرایی، ضمن تأیید دستاوردهای تحقیقات قبلی، نشان داد که سرعت پیشروی بر نیروی زمین گیرایی خالص، نیروی مقاومت حرکتی و بازده زمین گیرایی اثری بسیار معنی دار دارد بنابراین با تکیه بر این نتایج مدلی رگرسیونی برای نسبت نیروی مقاومت حرکتی تدوین گردید که علاوه بر پارامترهای وارد شده در مدل های پیشین، اثر سرعت پیشروی و لغزش نیز در آن دیده می شود. مدل پیش بینی نسبت مقاومت حرکتی<sup>۳</sup> ( $MRR$ ) تدوین شده به شکل زیر می باشد:

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

کلید واژه ها: زمین گیرایی، مخزن خاک، سرعت پیشروی، مدل سازی، تاثیر لاست

### مقدمه

زمین گیرایی صورت گرفته، هنوز روابط و مدل های دقیقی که بتواند به طور عمومی مقدار نیروی زمین گیرایی را برای تمام وسایل زمین گیر (تایر، شنی و ...) در اندازه ها و شرایط مختلف پیش بینی نماید ارائه نشده است. در این تحقیق علاوه بر مطالعه اثرات پارامترهایی که در مدل های موجود زمین گیرایی و بازده زمین گیرایی چرخ های لاستیکی لحاظ شده اند اثر سرعت پیشروی بر عوامل عملکردی زمین گیرایی نیز که تاکنون در این مدل ها وارد نشده است بررسی می شود. سپس با ارائه یک مدل جدید پیش بینی عملکرد زمین

اصلی ترین نوع توان در دستگاه های کشنده نظیر تراکتور، توان کششی یا مالبندی آنهاست. توان کششی حاصل ضرب نیروی زمین گیرایی خالص در سرعت پیشروی واقعی تراکتور می باشد. در دستگاه های کشنده غیر جاده ای 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 دقیق تر مکانیک زمین گیرایی می باشد (۳).

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

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

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

$$Cn = \frac{CI \cdot b \cdot d}{W} \text{ : عدد چرخ}$$

$$\text{نسبت یا ضریب نیروی زمین گیرایی ناخالص}^1: \\ GTR = 0.75 (1 - \exp^{-0.3 CnS})$$

$$\text{نسبت یا ضریب نیروی زمین گیرایی خالص}^2: \\ NTR = 0.75 (1 - \exp^{-0.3 CnS}) - \left( 0.04 + \frac{1.2}{Cn} \right)$$

نسبت یا ضریب مقاومت حرکتی:

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

که در آن ها:

CI : شاخص مخروط خاک

b : پهناي 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 مالیند تراکتورهای کشاورزی که بوسیله شرکت جاندر در آمریکا انجام شده، تدوین و ارائه گردیده‌اند (۴).

نسبت یا ضریب نیروی زمین گیرایی ناخالص:

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

نسبت یا ضریب نیروی زمین گیرایی خالص:

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

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 کشیده شونده (گردانیده) و گردنده (گردنده) متمرکز شده‌اند (۵ و ۲).

از مدل‌های موجود در این زمینه سه مدل ارائه شده توسط ویسمر-لوت<sup>۱</sup> (۱۱ و ۳) بریکسیوس<sup>۲</sup> (۴) و شارما-پندی<sup>۳</sup> (۹) 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 ویسمر - لوت (۱۹۷۴)

مدل کلاسیک ویسمر-لوت تلفیقی از مدل WES<sup>۴</sup> و مدل خاک جانوسی-هاناماتو<sup>۵</sup> می‌باشد (۷ و ۶) 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. مدل‌های قبلی بر اساس لغزش استاندارد ۲۰ درصد 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 برده‌اند:

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

1- Wismer -Luth

2- Brixius

3- Sharma - Pandey

4- Waterways Experimentation Station

5- Janosi-Hanamoto

6- Gross Traction Ratio

7- Net Traction Ratio

### مواد و روش ها

پس از ساخت مخزن خاک و تجهیز آن برای مطالعات زمین گیرایی. مقادیر عوامل عملکردی زمین گیرایی اندازه گیری 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 پیش یابی 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 تحقیق 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 اندازه گیری استفاده شد (۱).

آزمایش ها در سه سرعت مختلف نظری

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

نسبت یا ضریب مقاومت غلت:

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

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) بعداً 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 زمین گیرایی در شرایط کشش نیروی مالبند صفر پیشنهاد نمودند که شبیه به زمین گیرایی خالص ولی با اندکی لغزش بالاتر بود.

$$\mu_{P0} = 0.76(1 - e^{-0.07 N_{cc} S})$$

$$\mu_{T0} = 0.36(1 - e^{-0.35 N_{cc} S})$$

که در آن:

$\mu_{P0}$ : ضریب کشش مالبند

$\mu_{T0}$ : ضریب نیروی پیشرانه<sup>۱</sup>

$N_{cc}$ : عدد چرخ فریتاگ<sup>۲</sup>

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

1- Thrust force ratio

2- Freitag

پیشروی بر  $NT$  در سطح  $\alpha=1\%$  معنی‌دار بود و این دلیل کاهش مقاومت حرکتی در اثر افزایش سرعت می‌باشد.

$MR$  با افزایش سرعت کاهش معنی‌دار در سطح  $\alpha=1\%$  داشت. که این پدیده می‌تواند به علت کوتاهتر شدن زمان بار گذاری تأیر بر خاک 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 تأیر کمتر شده و به این دلیل  $TE$  نیز با افزایش سرعت پیشروی بطور معنی‌دار در سطح  $\alpha=1\%$  افزایش یافت.

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

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

سرعت باعث کاهش نیروی مقاومت حرکتی شده است، بنابراین بازده زمین‌گیرایی بطور معنی‌دار در سطح  $\alpha=1\%$  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 تلف شده و در نتیجه افزایش کارائی 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 داده‌های آزمایش

(سرعت چرخ) انجام و داده‌های عملکرد زمین‌گیرایی 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  $MR^1$ ،  $NT^2$ ،  $GT^3$  و  $TE^4$  (بازده زمین‌گیرایی) مقادیر اندازه‌گیری شده از آزمایش با مقادیر محاسبه‌ای 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 تأیر که در سطوح نظری  $0/3$ ،  $0/6$  و  $0/9$  متر بر ثانیه اعمال شد تأثیر بسیار معنی‌دار بر میانگین تمام متغیرهای وابسته تحقیق داشت.

حاصل این پژوهش علاوه بر تأیید 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 میانگین‌های نیروی زمین‌گیرایی ناخالص ( $GT$ ) در سطوح مختلف سرعت پیشروی است که توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن بدست آمده و گویای اختلاف معنی‌دار بین اثرات سرعت‌های پیشروی  $0/3$  و  $0/6$  متر بر ثانیه می‌باشد ولی بین اثر سرعت پیشروی  $0/9$  متر بر ثانیه با اثرات سرعت‌های  $0/3$  و  $0/6$  متر بر ثانیه در سطح  $\alpha=1\%$  تفاوت معنی‌دار با مقادیر اندازه‌گیری شده در تحقیق نداشت. تأثیر سرعت

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

مدل ریاضی پیش بینی MRR تدوین شد که علاوه بر پارامترهایی که در مدل های پیشین لحاظ شده است اثر دو پارامتر سرعت پیشروی و لغزش نیز در آن دیده می شود، 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 زمین گیرایی تایر در سرعت های پیشروی بالاتر افزایش می یابد، 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 می شود. بنابراین در خاک های دارای مقاومت کمتر (مرطوب و نرم)، از نظر کاهش فشردگی توسط تایر، افزایش سرعت پیشروی پیشنهاد می شود.

۳- پیشنهاد می شود آزمایش های اثر سرعت پیشروی بر عوامل زمین گیرایی به ویژه مقاومت غلت و فشردگی خاک در گستره وسیع تری انجام شود.

### جدول ۱- مقایسه میانگین های نیروی زمین گیرایی ناخالص (GT) در سطوح مختلف سرعت (V)

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

\*- میانگین هایی که با حروف مشترک نشان داده شده اند در سطح ۱٪ دارای اختلاف نمی باشند (آزمون دانکن)

### جدول ۲- مقایسه میانگین های نیروی زمین گیرایی خالص (NT) نسبت به سطوح مختلف سرعت (V)

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

### جدول ۳ - مقایسه میانگین های مقاومت حرکتی (MR) در سطوح مختلف سرعت (V)

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

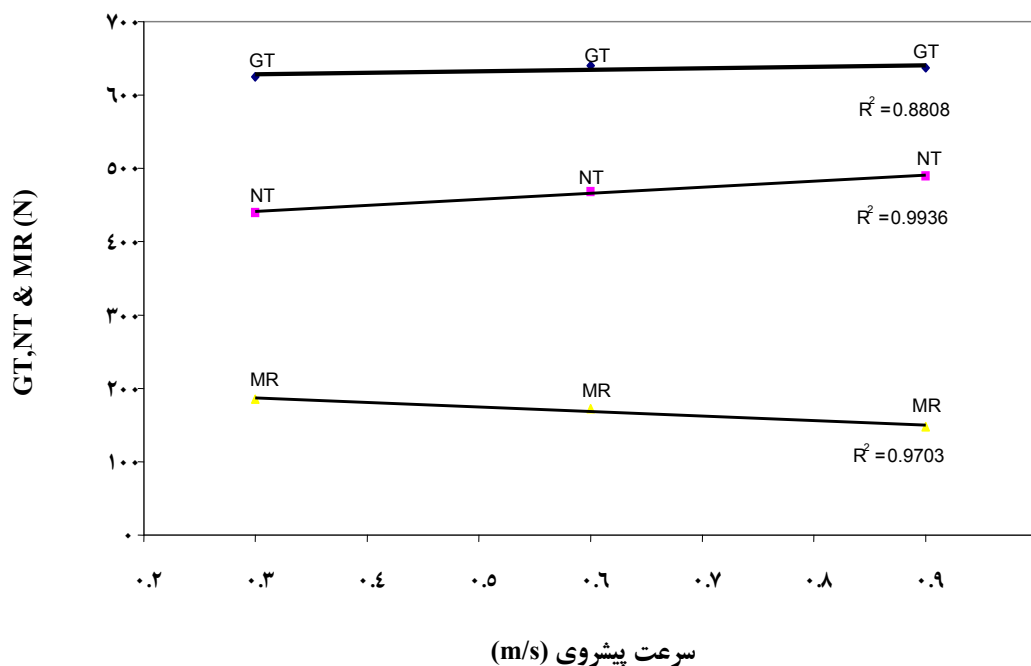
جدول ۴ - مقایسه میانگین‌های بازده زمین گیرایی (TE) در سطوح مختلف سرعت (V)

میانگین TE	تعداد داده‌ها	سرعت (V) (متر بر ثانیه)
۰/۶۴۴A	۱۶۲	۰/۹
۰/۶۰۴ B	۱۶۲	۰/۶
۰/۵۶۴ C	۱۶۲	۰/۳

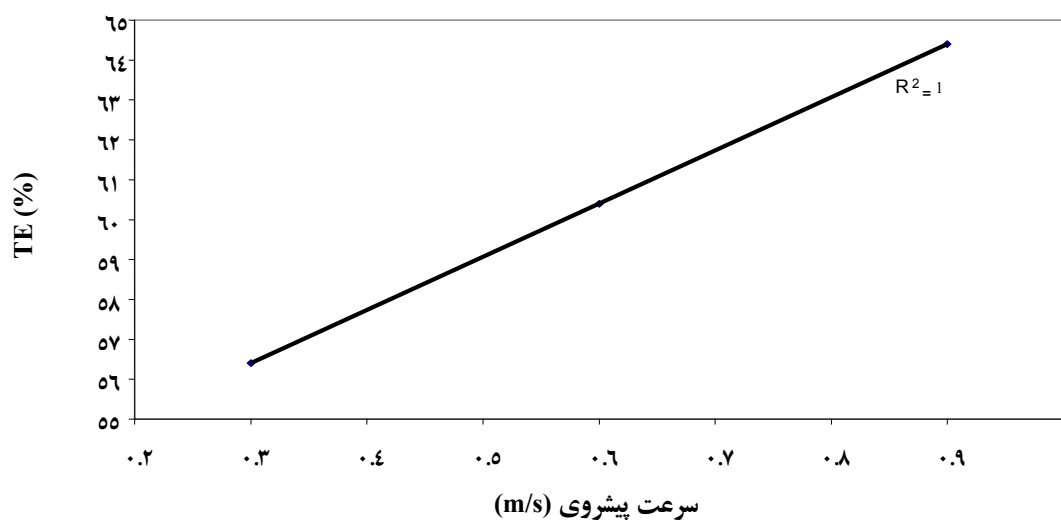
جدول ۵- مقایسه میانگین نیروی زمین گیرایی ناخالص حاصل از مدل ویسمر- لوت و مقادیر اندازه‌گیری شده

متغیرها	تعداد	میانگین	انحراف معیار	معیارخطا	واریانس‌ها	T	درجه آزادی	Prob>T1
مدل GTw-I	۱۱۸۵	۶۳۶/۶	۲۶۳/۳	۷/۶	نامساوی	۰/۰۶۰۷	۲۳۳۱/۴	۰/۹۵۱۶*
اندازه‌گیری GTm	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 &amp; MR



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، صص ۱۳ 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, 2<sup>nd</sup> 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 1<sup>st</sup> 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.

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, 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.