

## طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه آزمونگر چرخ

محمد لغوی و بهرام بحری\*

\* به ترتیب دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، نشانی: شیراز، باجگاه، دانشگاه شیراز، ص. پ. ۷۱۹۴۶-۸۴۴۷۱، تلفن:

۰۹۱۳ ۶۲۸۰ (۰۷۱۱)، پیام‌نگار: loghavi@shirazu.ac.ir و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز.

تاریخ دریافت مقاله: ۸۶/۵/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۲/۲۸

### چکیده

آزمونگر چرخ تک، دستگاه آزمایشگاهی است که با آن نیروهای وارد بر چرخ اندازه‌گیری و رابطه بین چرخ و خاک در انباره خاک یا مزرعه بررسی می‌شود. در این آزمونگر از یک شاسی مخصوص استفاده شد که چرخ مورد آزمایش بر آن سوار و شاسی از طریق یک جفت ریل عمودی و چهار غلتک به صورت شناور به یک ارابه متصل می‌شود. با اعمال گشتاور به محور چرخ، آزمونگر و ارابه متصل به آن در طول انباره به حرکت در می‌آید و نیروی گیرایی خالص چرخ با یک جفت حسگر نیرو اندازه‌گیری می‌شود. واحد محرک چرخ شامل یک موتور سه فاز ۱/۱ کیلووات با ۱۴۰۰ دور بر دقیقه و یک جعبه دنده ۱:۴۸ بود. کوپلینگ‌های مربوط روی پلاتفرم مستقلی سوار و این مجموعه در محل گرانیگاه خود به صورت لولایی روی شاسی آزمونگر سوار شده است. حرکت دورانی موتور از طریق سیستم رانش زنجیری به محور چرخ انتقال می‌یابد و نیروی کشش زنجیر با نیروسنجی اندازه‌گیری می‌شود که در طرف دیگر شاسی موتور و جعبه‌دنده قرار دارد. از یک حسگر اندازه‌گیری سرعت خطی و یک حسگر اندازه‌گیری سرعت زاویه‌ای به ترتیب برای اندازه‌گیری سرعت خطی آزمونگر و سرعت دورانی چرخ استفاده شده است. حسگرهای به کار برده شده در این آزمونگر قادرند پارامترهایی نظیر نیروی گیرایی خالص، سرعت خطی، سرعت زاویه‌ای، لغزش چرخ، و گشتاور را اندازه‌گیری کنند. این آزمونگر برای آزمایش چرخ‌های حداکثر تا قطر ۷۰ سانتی‌متر و پهنای ۲۵ سانتی‌متر قابل استفاده است و بیشینه نیروی گیرایی خالص ۶۰۰ نیوتن و بیشینه گشتاور ۱۷۰ نیوتن-متر قابل اندازه‌گیری است. در آزمون‌های مربوط به ارزیابی دستگاه، برخی از خصوصیات زمین گیرایی یک حلقه لاستیک تیلر کشاورزی با اندازه (۱۲-۵) و فشار باد ۱۴۰ کیلوپاسکال اندازه‌گیری شد. نتایج ارزیابی به صورت نمودارهای تغییرات نیروی گیرایی خالص، گشتاور چرخ، سرعت زاویه‌ای، سرعت خطی، و لغزش چرخ در طول مسیر ۲/۵ متری از انباره خاک ترسیم شد. نتایج حاکی از دقت، پایداری و تکرارپذیری سیستم سنجش پارامترهای مرتبط با عملکرد کششی چرخ‌های کشاورزی در امور آموزش و پژوهش است.

### واژه‌های کلیدی

انباره خاک، آزمونگر چرخ، لغزش چرخ، نیروی گیرایی

(Srivastava et al., 1993). بازده کششی تراکتورها که

### مقدمه

به صورت درصدی از توان محور محرک تراکتور تعریف می‌شود که به توان مالبندی تبدیل می‌گردد، مهم‌ترین عامل در ارزیابی و تعیین عملکرد تراکتورهاست. این بازده، متأثر از شاخص‌های تایر، بافت و شرایط خاک، نوع

نتیجه تحقیقات نشان می‌دهد که بخشی (در حدود ۲۰ تا ۵۵ درصد) از انرژی مکانیکی انتقال یافته به محور محرک تراکتور به کار مفید تبدیل نمی‌شود و در محل درگیری چرخ و خاک مستهلک می‌گردد

آزمونگر چرخ تک دیگری را ورکه‌وون (Werkhoven, 1975) گزارش داده که شامل یک پلتفرم مفصل‌دار و یک اکسل متحرک است. بیشینه بار اعمالی روی چرخ، ۴۲ کیلونیوتن و دامنه لغزش بین صفر تا ۶۰ درصد است. تفاوت اصلی بین این آزمونگر و دیگر آزمونگرها، قرار گرفتن چرخ مورد آزمایش در جلو تراکتور است که موجب می‌شود چرخ‌های تراکتور در حین آزمایش بر شرایط خاک اثرگذار نباشند.

برت و همکاران (Burt *et al.*, 1980) در آزمایشگاه ملی ماشین‌های خاک‌ورزی<sup>۲</sup> (NTML) آزمونگر چرخ‌ی شامل دو قسمت اصلی ساختند؛ یک ارابه که به کمک چرخ‌های بادی روی ریل‌های انباره خاک حرکت می‌کرد و دیگری شاسی آزمونگر که چرخ مورد آزمون و سیستم‌های اندازه‌گیری و انتقال قدرت را نگه می‌داشت. نیروی کشش در این دستگاه با بارسنج و دینامومتر سه‌بعدی اندازه‌گیری می‌شد. توان رانشی را یک موتور هیدرولیکی پیستونی تامین می‌کرد که با سیستم رانش زنجیری به چرخ انتقال می‌یافت. یک جک هیدرولیکی نیروی عمودی لازم را روی چرخ اعمال می‌کرد. حسگرهای تعبیه‌شده سرعت پیشروی دستگاه، سرعت زاویه‌ای چرخ، و گشتاور چرخ را اندازه‌گیری می‌کردند. تایرهای کشاورزی در اندازه‌های ۲۸-۱۲/۴ تا ۳۲-۳۰/۵ با این دستگاه قابل آزمایش بودند. نیروی کشش تا ۴۴/۵ کیلونیوتن و گشتاور تا ۴۲ کیلونیوتن- متر قابل اندازه‌گیری بود. هدف اصلی در این آزمون‌ها تشخیص رابطه پارامترهای خاک و چرخ بر عملکرد کششی تراکتور بود.

آپادیایا و همکاران (Upadhyaya *et al.*, 1986) آزمونگر چرخ‌ی ساختند که برای آزمایش‌های مزرعه‌ای با

دنباله‌بندها، ضریب کشش، مقاومت غلتشی، و درصد لغزش چرخ‌های محرک تراکتور است (Krick, 1973). برای کسب اطلاعات لازم در مورد عملکرد کششی چرخ‌ها در زیر بارهای مشخص و شرایط مختلف خاک بدون انتقال تراکتور به محل آزمایش، از آزمونگر چرخ تک استفاده می‌شود. بدین منظور چرخ تراکتور یا هر وسیله کششی دیگر جداگانه و به تنهایی روی آزمونگر سوار و سپس با استفاده از ابزارهای اندازه‌گیری خاص آزمون‌های مورد نظر روی آن اجرا می‌شود.

اولین آزمونگر چرخ تک را بیلینگتون (Billington, 1970) در آزمایشگاه ملی دینامیک خاک<sup>۱</sup> (NSDL) جهت آزمایش چرخ‌های تراکتور ساخت و آن را NIAE MK2 نامید. آزمونگر چرخ به سه نقطه اتصال یک تراکتور متصل و برای انتقال قدرت از یک پمپ و موتور هیدرولیکی و جعبه‌دنده استفاده شد. آزمونگر چرخ می‌توانست در شرایط مزرعه نیز آزمایش شود. این وسیله، اطلاعاتی شامل سرعت پیشروی، سرعت دورانی چرخ، نیروی زمین‌گیری، و گشتاور چرخ را به صورت پیوسته نشان می‌داد و درصد لغزش و مقاومت غلتشی چرخ را اندازه‌گیری می‌کرد. با اضافه کردن وزنه، بارهای عمودی اعمال می‌گردید و نیروی کشش تا ۲۵ کیلونیوتن قابل اندازه‌گیری بود.

کریک (Krick, 1973) آزمونگری ساخت که چرخ مورد آزمون روی ارابه‌ای سوار می‌شد که روی ریل‌های انباره خاک حرکت می‌کرد و به کمک یک موتور هیدرولیکی به حرکت در می‌آمد؛ نیروی کشش چرخ و گشتاور آن با حسگرهایی اندازه‌گیری می‌شد. این وسیله برای آزمایش چرخ‌های با قطر بین ۱۲۰۰-۵۰۰ میلی‌متر مناسب بود.

طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه آزمونگر ...

لاستیکی بیشتر از چرخ تراکتور است ولی بازده کششی آن به دلیل بالاتر بودن مقاومت غلتشی کمتر است.

اشمولویچ و همکاران (Shmulevich *et al.*, 1996) آزمونگر چرخي ساختند که می‌توانست تایرهای کشاورزی و تایرهای ماشین‌های دشت و صحرا<sup>۱</sup> را آزمایش کند. این آزمونگر با تراکتور کشیده می‌شد و می‌توانست نیروهای عمودی، افقی، و جانبی را اندازه‌گیری کند. قدرت، از یک موتور هیدرولیکی تامین و برای ایجاد بار از یک جک هیدرولیکی روی چرخ استفاده می‌شد. حسگرها، سرعت حرکت وسیله، سرعت دورانی، گشتاور، و بار عمودی روی چرخ را اندازه‌گیری می‌کردند.

واتی‌یوتا و سالوخه (Watyotha & Salokhe, 2001) آزمونگر چرخي ساختند و جهت تعیین عملکرد کششی و اثر نیروهای خارجی بر چرخ قفسی با پره‌های محیطی تو در تو، آزمایش‌هایی در محیط انبارۀ خاک با خاک رسی اجرا و با یک چرخ قفسی معمول مقایسه کردند. این وسیله، از یک شاسی اصلی تشکیل شده بود که با چرخ‌های لاستیکی روی ریل‌های انبارۀ خاک حرکت می‌کرد؛ چرخ مورد آزمایش روی یک شاسی حامل قرار می‌گرفت که با یک دینامومتر رینگ هشت‌وجهی به شاسی اصلی متصل می‌شد. چرخ توسط یک موتور الکتریکی دور متغیر رانده می‌شد و گشتاور به وسیله مبدل گشتاور اندازه‌گیری می‌گردید.

ناگاوکا و همکاران (Nagaoka *et al.*, 2001) آزمونگر چرخي ساختند که انرژی چرخشی را از محور تواندهی تراکتور دریافت می‌کرد؛ در مسیر انتقال نیرو به چرخ، از جعبه‌دنده استفاده می‌شد. در این دستگاه برای اندازه‌گیری گشتاور، سرعت دورانی، نیروی زمین‌گیرایی چرخ، سرعت حرکت وسیله، و مقدار سوخت مصرفی از

شرایط کنترل‌شده به کار می‌رفت و می‌توانست چرخ‌هایی با قطر ۰/۴۶-۲ متر و پهنای تا یک متر را آزمایش کند. در مراحل مختلف تحقیق، بار عمودی تا ۲۶/۷ و نیروی کشش تا ۱۳/۲ کیلونیوتن اعمال شد. این آزمونگر می‌توانست هم در انباره خاک و هم در مزرعه کار کند. حسگرهای تعبیه‌شده سرعت پیشروی وسیله، سرعت زاویه‌ای چرخ، نیروی کشش، و گشتاور چرخ را اندازه‌گیری می‌کردند. بار عمودی از طریق جک هیدرولیکی اعمال و آزمون‌ها به دو شیوه کنترل کشش و کنترل لغزش اجرا می‌شد.

آرمبراستر و کوتزباخ (Armbruster & Kutzbach, 1989) آزمونگری ساختند که می‌توانست آزمون چرخ را با زوایای متغیر چرخ اجرا کند. این وسیله ارابه‌ای داشت که با تراکتور کشیده می‌شد؛ چرخ مورد آزمایش درون این ارابه قرار داشت. زاویه چرخ به کمک نیروی هیدرولیک قابل تغییر بود و چرخ به وسیله یک جک هیدرولیکی دو طرفه بارگذاری می‌شد. چرخ، حرکت خود را از موتور هیدرولیکی ۵۲ کیلووات می‌گرفت و توان مکانیکی از PTO تراکتور اعمال می‌شد. این آزمونگر، چرخ‌های تا قطر ۲ متر و پهنای ۰/۵۵ متر را آزمایش می‌کرد.

اوکلو و همکاران (Okello *et al.*, 1994) با استفاده از یک آزمونگر چرخ تک، عملکرد کششی یک چرخ تراکتور R۳۴-۱۶/۹ را با چرخ زنجیر لاستیکی مقایسه کردند که مشخصات آن این گونه بود: پهنای ۳۷۵ میلی‌متر، طول ۵۰۴۰ میلی‌متر، ضخامت ۱۴ میلی‌متر، و ارتفاع آج ۶۰ میلی‌متر. در این آزمایش سرعت دورانی چرخ آزمونگر تقریباً ثابت در نظر گرفته شد. پژوهشگران به این نتیجه رسیدند که مقاومت غلتشی و ضریب گیرایی چرخ زنجیر

خاک استفاده می‌شد. بار عمودی در دامنه بین ۲۰۰-۵۰ نیوتن و گشتاور در بازه ۵-۰/۱ نیوتن‌متر روی چرخ اعمال می‌شد و نیروی کشش چرخ تا ۱۰۰ نیوتن قابل اندازه‌گیری بود. قدرت، از یک موتور (DC) ۱۴/۵ وات تامین می‌شد و سرعت از طریق جعبه‌دنده ۱:۲۴۶ به مقدار مورد نظر می‌رسید. نشست چرخ در خاک با یک پتانسیومتر، گشتاور ورودی به چرخ با یک حسگر گشتاور چرخشی، و نیرو با یک حسگر شش‌وجهی اندازه‌گیری می‌شد. این آزمون‌ها که در آزمایشگاه‌های<sup>۲</sup> NASA اجرا می‌شد برای به‌دست آوردن الگوریتمی بود که بتواند رابطه بین چرخ‌های کوچک و خاک را تجزیه و تحلیل کند.

شیخ‌داودی و همکاران (Sheikhdavoodi *et al.*, 2005) یک دستگاه آزمایشگاهی کامل را به منظور اندازه‌گیری عوامل مؤثر بر عملکرد زمین‌گیرایی چرخ‌های لاستیکی کوچک ساختند و ارزیابی کردند. این دستگاه شامل یک مخزن خاک متحرک و سازه‌ای ثابت شامل چرخ مورد آزمون و موتور جعبه‌دنده محرک آن بود که با به‌کارگیری اهرم‌بندی خاص امکان تغییر بار عمودی بین چرخ و خاک فراهم می‌شد. این دستگاه مجهز به حسگرهایی بود برای اندازه‌گیری نیروهای گیرایی خالص و ناخالص، سرعت خطی مخزن، و درصد لغزش چرخ. با استفاده از این تجهیزات، بازه زمین‌گیرایی چرخ محرک در شرایط مختلف بارگذاری تعیین و با مدل ویسمر-لوت<sup>۳</sup> مقایسه می‌شد.

کاواسه و همکاران (Kawase *et al.*, 2006) یک سامانه سنجش نیروی گیرایی را به منظور بررسی رابطه چرخ و خاک در شرایط آزمایشگاهی توسعه دادند. این سامانه متشکل بود از یک آزمونگر چرخ، تجهیزات آماده‌سازی خاک، انباره خاک، و وسایل بارگذاری کششی.

حسگرهای خاصی استفاده شده بود. آزمونگر با تراکتور کشیده و بارهای عمودی از طریق بازوهای هیدرولیکی تراکتور بر چرخ اعمال می‌شد. این دستگاه می‌توانست چرخ‌های تا قطر ۲ متر و پهنای تا یک متر را آزمایش کند.

والزیکوا و همکاران (Walczykova *et al.*, 2002) آزمونگر چرخ‌ی ساختند که پارامترهایی مانند تنش و نیروی برش خاک، لغزش چرخ، و ضریب چسبندگی را در خاک‌های جنگلی اندازه‌گیری می‌کرد. این آزمونگر به سه نقطه اتصال تراکتور متصل می‌شد؛ از دو شاسی آن یکی به تراکتور وصل می‌شد و دیگری وظیفه نگاه‌داشتن چرخ را به عهده داشت. قدرت، با یک موتور هیدرولیکی و زنجیر به چرخ انتقال می‌یافت و برای بارگذاری از وزنه استفاده می‌شد. نیروی گیرایی چرخ با یک بارسنج<sup>۱</sup> الکتریکی و زاویه چرخش آن با حسگر نوری به طور مستمر اندازه‌گیری می‌شد.

سوکارنو و سالوخه (Soekarno & Salokhe, 2003) آزمونگر چرخ تکی ساختند که یک شاسی اصلی ثابت و یک شاسی حمایت‌کننده و متحرک داشت و به یک ارابه متصل می‌شد که روی ریل‌های انباره خاک حرکت می‌کرد. دو شاسی، قابلیت حرکت روی همدیگر را داشتند و جابه‌جایی خطی با حسگر قابل اندازه‌گیری بود. قدرت، از طریق یک موتور هیدرولیکی و سیستم رانش زنجیری به چرخ اعمال و نیروی گیرایی چرخ با یک مبدل نیروی رینگ هشت‌وجهی اندازه‌گیری می‌شد. از این آزمونگر برای آزمایش عملکرد چرخ آهنی آجدار با آرایش پلکانی نیم‌آج و آج V شکل استفاده شد.

ایگنما (Iagnemma, 2005) آزمونگری ساخت که برای آزمون چرخ‌هایی با قطر ۱۵-۱۰ سانتی‌متر در انباره

درصد لغزش، میزان نشست در خاک، بازده زمین‌گیرایی چرخ، و شناخت عوامل و شرایط مؤثر بر این شاخص‌هاست. اهداف خاص پژوهشی آن می‌تواند شامل آزمون و ارزیابی انواع طرح‌های جدید چرخ‌های کوچک کشاورزی در شرایط کنترل‌شده و دقیق بارگذاری، سرعت، فشار باد، شرایط خاک، و ارزیابی مدل‌های شبیه‌سازی رایانه‌ای عملکرد کششی چرخ نیز باشد.

### مواد و روش‌ها

آزمونگر چرخ ساخته‌شده در این تحقیق متشکل از اجزای متعدد به شرح زیر است.

### شاسی اصلی

وظیفه شاسی اصلی، نگهداری قسمت‌های مختلف آزمونگر شامل چرخ و بازوهای نگهدارنده آن، واحد محرک، سیستم انتقال قدرت، و حسگرهاست. همچنین، برای اعمال بار عمودی بر چرخ از این شاسی استفاده می‌شود. شاسی متشکل از دو قاب مستطیل‌شکل ساخته‌شده از پروفیل فلزی  $50 \times 30$  میلی‌متر است. ابعاد قاب افقی  $50 \times 80$  و قاب عمودی  $50 \times 70$  سانتی‌متر است. این دو قاب به صورت عمود برهم به هم جوش داده شده‌اند و برای استحکام بیشتر، دو پروفیل  $20 \times 20$  میلی‌متر نیز این دو را به صورت مورب به هم اتصال داده‌اند (شکل ۱).

در آزمون‌ها این موارد اندازه‌گیری می‌شد: گشتاور چرخ محرک، نیروی کشش مالبندی، نشست چرخ در خاک، موقعیت لحظه‌ای آج‌های چرخ، و جابه‌جایی زاویه‌ای و خطی چرخ آزمونگر. نتایج حاکی از همبستگی شدید لغزش و نشست چرخ در خاک و نیروی گیرایی و لغزش چرخ بود. همچنین، گشتاور محرک چرخ تحت تاثیر مستقیم فاصله و موقعیت آج‌های چرخ قرار داشت.

وی (Way, 2007) توسعه سه آزمونگر چرخ تک را برای آزمون چرخ‌هایی با اندازه‌های مختلف در انباره خاک و مزرعه در آزمایشگاه ملی دینامیک خاک وزارت کشاورزی آمریکا با هدف تحقیق در زمینه گیرایی چرخ و فشردگی خاک گزارش کرده است. این آزمونگرها قادر به کنترل رایانه‌ای بار دینامیکی، سرعت پیشروی، فشار باد، و در هر آزمون خاص، کنترل درصد لغزش یا گیرایی خالص چرخ هستند.

در این مقاله، نتایج آزمون ویژگی‌های زمین‌گیرایی و مقاومت حرکتی چرخ محرک یک وسیله نقلیه چندمنظوره<sup>۱</sup> (ATV) گزارش شده است.

هدف از ساخت این آزمونگر چرخ تک، تولید یک وسیله آموزشی-پژوهشی است که بتواند آزمون‌های مختلف عملکرد گیرایی چرخ‌های کوچک کشاورزی (تیلرها و تراکتورهای باغی) را در انواع مختلف خاک و در شرایط متفاوت اجرا کند. از اهداف خاص آموزشی آن فراگیری نحوه اندازه‌گیری نیروی گیرایی، مقاومت غلتشی،



شکل ۱- تصویری از شاسی اصلی آزمونگر، بازوهای نگهدارنده چرخ و نحوه اتصال به ارباب انباره خاک قبل از نصب موتور، جعبه دنده، و سایر ضمایم

لولایی است تا نیروی زمین‌گیرایی چرخ را بدون تغییر به بارسنچ‌ها انتقال دهد. ابعاد و شکل آن به صورتی است که محدودیتی برای آزمایش چرخ‌های کوچک کشاورزی از نظر قطر و پهنا ایجاد نکند (شکل ۲).

#### قاب نگهدارنده بارسنچ‌ها

هر یک از دو بارسنچ نیروی گیرایی چرخ به صورت تیر طره از پایین به شاسی اصلی و از بالا به قاب نگهدارنده بارسنچ‌ها متصل می‌شود. این قاب از یک تسمه تشکیل یافته که روی آن سوراخ‌هایی به منظور نصب بارسنچ‌ها تعبیه شده است. برای اتصال قاب بارسنچ به قاب انتقال‌دهنده نیروی گیرایی به بارسنچ از دو جفت براکت برای برقراری اتصال لولایی استفاده شده است (شکل ۳).

#### بازوهای نگهدارنده چرخ

برای اندازه‌گیری نیروی گیرایی خالص چرخ بدون دخالت نیروهای زاید، لازم بود که بازوهای نگهدارنده چرخ در محل اتصال به شاسی اصلی حرکت لولایی داشته باشند. برای ساخت بازوها، از پروفیل  $80 \times 40$  میلی‌متر به طول ۵۰ سانتی‌متر استفاده شده و اتصال لولایی بازو به شاسی اصلی به کمک بوشی میسر شد که در قسمت بالای بازو تعبیه شده است. برای نصب تکیه‌گاهی که محور چرخ در درون آن قرار می‌گیرد، در پایین هر بازو براکتی تعبیه شده است (شکل ۱).

#### قاب انتقال‌دهنده نیروی گیرایی چرخ به بارسنچ‌ها

برای انتقال نیروی گیرایی چرخ به بارسنچ‌ها، از این قاب استفاده می‌شود. این قاب از دو طرف دارای اتصال

طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه آزمونگر ...



شکل ۲- تصویر شاسی انتقال دهنده نیروی گیرایی خالص چرخ به بارسنج‌ها



شکل ۳- تصویر قاب نگهدارنده بارسنج‌ها پس از اتصال به شاسی اصلی

خاک با استفاده از دو ریل عمودی و چهار عدد یاتاقان ساچمه‌ای و غلتک تفلونی به صورت شناور ساخته شده است (شکل‌های ۱ و ۲).

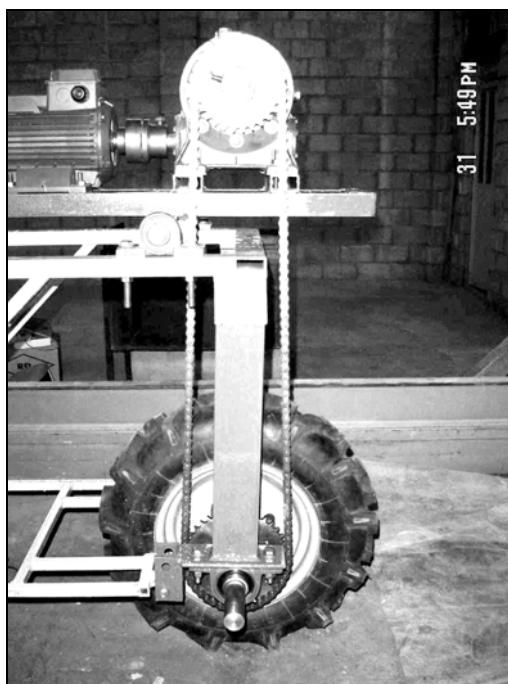
**واحد محرک و انتقال قدرت در آزمونگر چرخ**  
سیستم رانش آزمونگر شامل یک موتور الکتریکی، جعبه‌دنده کاهنده، و سیستم رانش زنجیری است. موتور

قاب نگهدارنده آزمونگر و مکانیزم حرکت عمودی شاسی اصلی

برای نگهداری آزمونگر در موقعیت عمودی و افقی و ایجاد امکان برای شناور بودن شاسی اصلی به منظور حرکت عمودی چرخ که به واسطه نشست چرخ در خاک ایجاد می‌شود، اتصال قاب نگهدارنده آزمونگر به ارباب انبار

محورهای خروجی موتور و ورودی جعبه‌دنده در یک راستا باشند، یک قاب مستطیلی از نبشی ۴ ساخته شد و با تعبیه تکیه‌گاه‌هایی موتور و جعبه‌دنده روی آن نصب گردید. سیستم رانش زنجیری برای انتقال حرکت از محور جعبه‌دنده به محور چرخ مطابق شکل ۴ شامل یک رشته زنجیر غلتکی شماره ۴۰ به طول ۱۳۲ سانتی‌متر و چرخ زنجیره‌ای محرک و متحرک به ترتیب با ۲۸ و ۳۹ دندانه است.

الکتریکی از نوع سه فاز با توان اسمی ۱/۱ کیلووات و سرعت دورانی ۱۴۰۰ دور بر دقیقه ساخت شرکت موتوژن مدل 90L 4A است. با توجه به لزوم کاهش شدید سرعت دورانی و افزایش گشتاور وارد بر محور چرخ، از یک دستگاه جعبه‌دنده ۴۸:۱ ساخت شرکت سه‌پند استفاده شد. ارتباط محورهای موتور و جعبه‌دنده از طریق یک کوپلینگ برقرار شد. برای استقرار موتور و جعبه‌دنده، به نحوی که به صورت یکپارچه درآیند و



شکل ۴- سیستم رانش زنجیری برای انتقال حرکت از محور جعبه‌دنده به محور چرخ آزمونگر

به‌صورت لولایی در مرکز جرم این مجموعه روی شاسی اصلی سوار است و تنها یک انتهای آن از طریق یک بارسنج مطابق شکل ۵ روی شاسی اصلی اتکا دارد. امکان اندازه‌گیری نیروی کشش زنجیر، یعنی عامل انتقال گشتاور به چرخ، فراهم شده است.

**روش اندازه‌گیری گشتاور وارد بر محور چرخ**  
با توجه به نقش و اهمیت گشتاور وارد بر محور چرخ در مطالعات مربوط به عملکرد کششی، از یک بارسنج به عنوان حسگر گشتاور استفاده شده است. با نصب موتور محرک، جعبه‌دنده، و چرخ زنجیر روی یک شاسی که

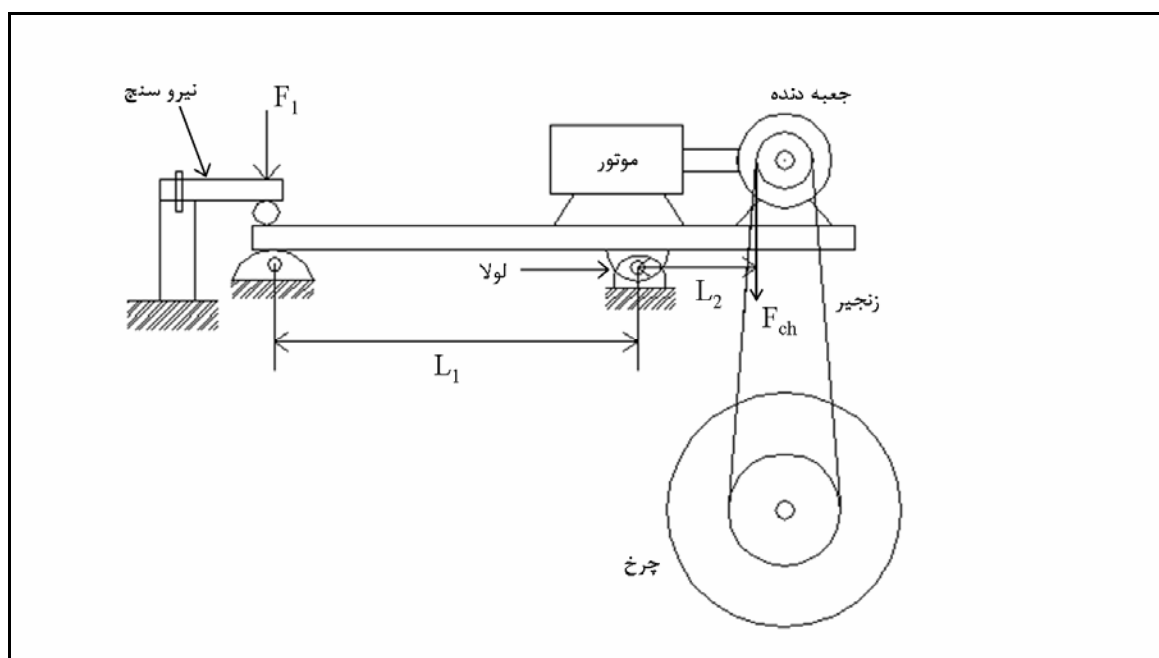


که در آنها،  
 $F_1$  = نیروی وارد بر بارسنج (بر حسب نیوتن)؛  $l_1$  = فاصله  $F_1$   
 تا مرکز جرم (بر حسب متر)؛  $l_2$  = فاصله  $F_{ch}$  تا مرکز جرم  
 (بر حسب متر)؛  $F_{ch}$  = نیروی کشش در زنجیر (بر حسب  
 متر)؛  $r$  = شعاع مؤثر (گام) چرخ زنجیر واقع بر محور  
 چرخ (بر حسب متر)؛  $T$  = گشتاور وارد بر چرخ (بر حسب  
 نیوتن - متر) است.

با اندازه‌گیری نیروی وارد بر بارسنج، محاسبه گشتاور  
 وارد بر چرخ ( $T$ ) با استفاده از روابط ۱ و ۲ مقدور  
 می‌شود.

$$\left(\frac{l_1}{l_2}\right)F_1 = F_{ch} \quad (1)$$

$$T = F_{ch} \times r \quad (2)$$



شکل ۵- طرح‌واره‌ای از مکانیزم اندازه‌گیری گشتاور وارد بر چرخ

کند. حسگر فرسرخ روی قطعه‌ای U شکل سوار و با  
 بازویی افقی به یکی از پایه‌های نگهدارنده چرخ متصل  
 می‌شود (شکل ۶).  
 با عبور حفره‌های انکودر از جلو حسگر، ارتباط فرستنده  
 و گیرنده برقرار و سیگنالی به طرف بورد اصلی فرستاده  
 می‌شود. اطلاعات در بورد اصلی به صورت ۰ و ۱ در می‌آید  
 و از طریق درگاه Com2 به رایانه ارسال می‌شود. در

### روش اندازه‌گیری سرعت دورانی چرخ

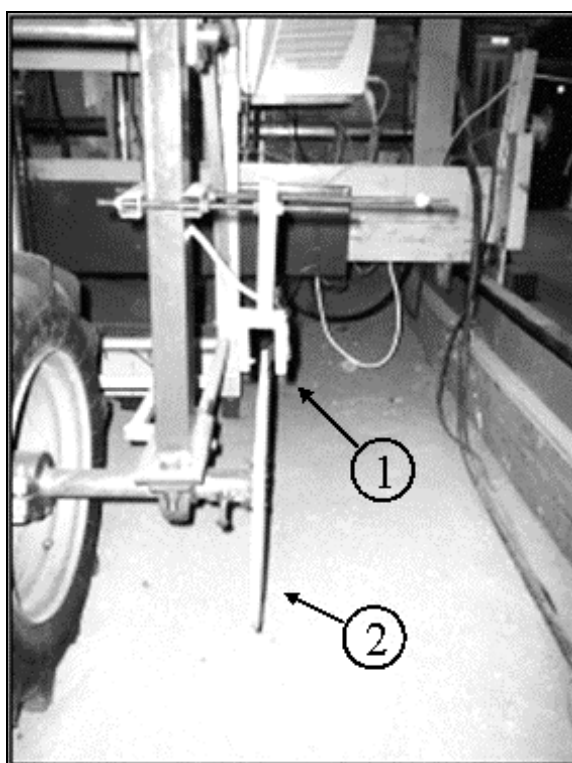
برای اندازه‌گیری سرعت دورانی چرخ، از حسگر  
 فرسرخ<sup>۱</sup> شامل یک گیرنده و فرستنده و یک انکودر  
 مستدیر از جنس تفلون به شعاع ۲۰ سانتی‌متر استفاده  
 شد که ۳۶ سوراخ به فواصل مساوی در پیرامون آن ایجاد  
 شده بود. این صفحه با طوقه‌ای به‌طور هم مرکز با چرخ  
 روی محور آن سوار شد تا هم‌گام و هم‌سرعت با آن گردش

$$\omega = \frac{2\pi R}{36M \times 0.001} \quad (3)$$

که در آن،

$\omega$  = سرعت زاویه‌ای چرخ (بر حسب رادیان بر ثانیه)؛  
 $M$  = خروجی حسگر در هر لحظه (بر حسب میلی ثانیه)؛ و  
 $R$  = شعاع موثر حفره‌های روی انکودر (۰/۰۱۶۱ متر) است.

حقیقت، داده‌های حسگر فاصله زمانی لازم برای عبور فاصله بین دو سوراخ روی صفحه انکودر از مقابل حسگرهاست که با نام این حسگر در رایانه ذخیره می‌شوند. برای اندازه‌گیری مقدار واقعی سرعت دورانی چرخ، داده‌های حسگر در رابطه ۳ قرار داده می‌شود.



شکل ۶- انکودر و نحوه اتصال آن روی محور  
 چرخ (۱. انکودر ۲. حسگر فرسرخ)

( $L=14/4$  میلی‌متر) است. حسگر فرسرخ که به اربانه چرخ متصل شده است با عبور از ریل و گذر از هر شیار، پالسی تولید می‌کند که به بورد اصلی ارسال می‌شود (شکل ۷).

### روش اندازه‌گیری سرعت خطی آزمونگر

در کنار ریل حمل اربانه متصل به آزمونگر چرخ از مکانیزم انکودر خطی استفاده شده است. این انکودر به صورت ریلی مستقیم با شیارهایی با گام



شکل ۷- حسگر فروسرخ سرعت خطی به هنگام عبور از انکودر

$$S = \left(1 - \frac{V}{R\omega}\right) \times 100 \quad (5)$$

در این رابطه،

$R$  = شعاع موثر چرخ (بر حسب متر)؛  $V$  = سرعت خطی چرخ (بر حسب متر بر ثانیه)؛  $\omega$  = سرعت زاویه‌ای چرخ (بر حسب رادیان بر ثانیه)؛ و  $S$  = لغزش چرخ (بر حسب درصد) است.

#### وسیله اعمال بار کششی

به منظور بررسی رابطه بین نیروی گیرایی و لغزش چرخ، لازم است بتوان مقاومت کششی ارباه متصل به آزمونگر را تغییر داد. بدین منظور از مکانیزم ریسمان و قرقره<sup>۱</sup> استفاده شد (شکل ۸). بدین ترتیب که با اضافه کردن وزنه‌های مختلف در انتهای ریسمان که به صورت عمودی قرار دارد، می‌توان بارهای کششی ثابت را در خلال آزمون اعمال کرد. در این تحقیق از وزنه‌های ۴، ۸، ۱۲، ۱۶، و ۲۰ کیلوگرمی استفاده شد که به ترتیب معادل ۳۹/۲۵، ۷۸/۵۰، ۱۱۷/۷۰، ۱۵۷، و ۱۹۶ نیوتن بود.

این سیگنال خروجی، با مدار اولیه تقویت و مقایسه می‌شود. در حقیقت داده‌ها بیان‌کننده طول زمانی است که ارباه مسیری را به طول گام شیارها بپیماید. برای اندازه‌گیری مقدار واقعی سرعت خطی چرخ، داده‌های حسگر سرعت خطی در رابطه ۴ قرار داده می‌شود.

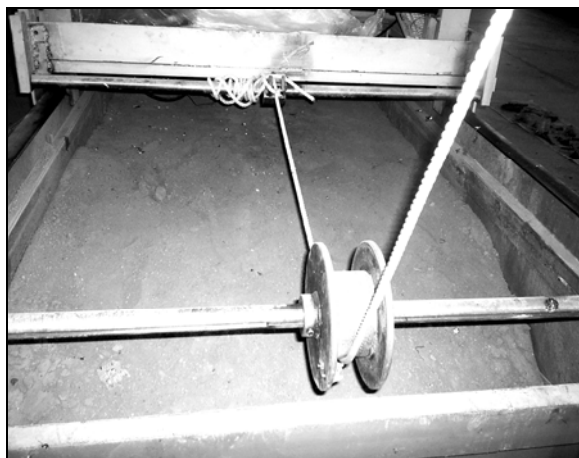
$$V = \frac{L}{N \times .001} \quad (4)$$

که در آن،

$N$  = خروجی حسگر (که در نرم‌افزار دیده می‌شود) (بر حسب میلی‌ثانیه)؛  $L$  = فاصله دو دهانه کنار هم در انکودر خطی (بر حسب متر)؛  $V$  = سرعت خطی (بر حسب متر بر ثانیه) است.

#### روش محاسبه لغزش چرخ

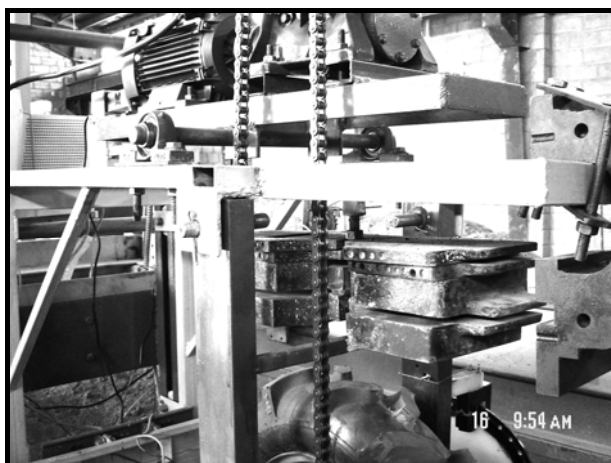
با استفاده از نتایج روابط ۳ و ۴، درصد لغزش چرخ از رابطه ۵ محاسبه می‌شود.



شکل ۸- استفاده از مکانیزم ریسمان و قرقره برای اعمال بار کششی

آزمونگر تعبیه شد. موقعیت این پلاتفرم به نحوی انتخاب شد تا مرکز ثقل وزنه‌ها دقیقاً در بالای محور چرخ قرار گیرد و از اعمال هر گونه بار اضافی بر نقاط اتصال قاب آزمونگر به اربابه جلوگیری شود.

**نحوه اعمال بار عمودی وارد بر چرخ**  
به منظور فراهم آوردن امکان بررسی تأثیر بار عمودی چرخ بر نیرو و بازده زمین‌گیرایی، مطابق شکل ۹ پلاتفرمی جهت استقرار وزنه‌های مختلف روی قاب اصلی



شکل ۹- نحوه بارگذاری عمودی چرخ با وزنه‌های مختلف

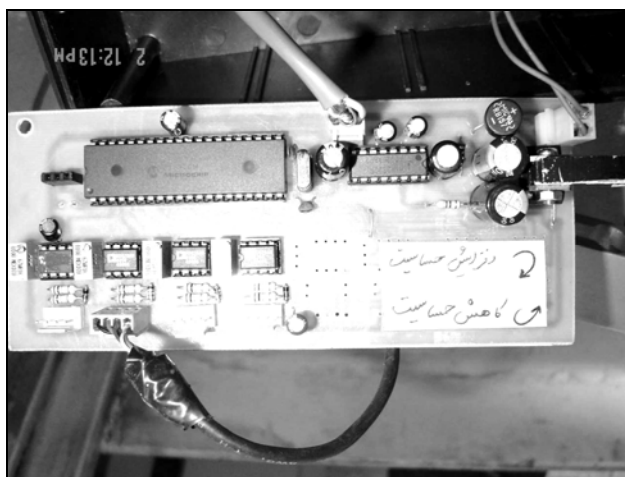
۳۰۰ نیوتن بودند. برای اندازه‌گیری نیروی گیرایی چرخ، از دو دستگاه بارسنج در مجموع با ظرفیت ۶۰۰ نیوتن استفاده شد که مطابق شکل ۴ به صورت تیر طره بین اربابه اعمال بار کششی و شاسی انتقال‌دهنده نیروی گیرایی چرخ نصب شده‌اند. مقاومت الکتریکی موجود در هر بارسنج با سه

**اندازه‌گیری نیروی گیرایی و گشتاور چرخ**  
برای اندازه‌گیری نیروی گیرایی و گشتاور چرخ، در مجموع از سه دستگاه بارسنج الکتریکی مشابه استفاده شد. بارسنج‌ها از نوع تیر طره ساخت شرکت فناوری‌های TEMPO تایوان مدل AA با ظرفیت بار مجاز

طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه آزمونگر ...

خروجی تغییر می‌کند. یک پتانسیومتر<sup>۲</sup> در بورد اصلی و بعد از پل وتستون قرار داده شد تا با آن بتوان مقدار حساسیت را تغییر داد. این ولتاژ، با یک مبدل آنالوگ به دیجیتال<sup>۳</sup> به صورت دیجیتال (۰ و ۱) در می‌آید و به یک میکروکنترلر<sup>۴</sup> ارسال می‌شود (شکل ۱۰).

مقاومت الکتریکی دیگر پل وتستون<sup>۱</sup> تشکیل می‌دهند که در وضعیت عادی در حال تعادل‌اند و خروجی آن دارای ولتاژ صفر است. تغییر در نیروی اعمالی باعث تغییر در مقاومت الکتریکی می‌شود و در نتیجه تعادل پل وتستون بهم می‌خورد و بر اساس شدت نیروی اعمالی مقدار ولتاژ



شکل ۱۰- واحد جمع‌آوری و پردازش داده‌ها (میکروکنترلر) و ارسال به رایانه

ارزیابی و آزمایش آن در انباره خاک و آزمایشگاه آزمون ادوات خاک‌ورزی این بخش دنبال شد.

#### مشخصات انباره خاک مورد استفاده

انباره‌های خاک از نظر نوع استقرار در زمین، ابعاد، و اندازه تقسیم‌بندی‌هایی متعدد دارند. انباره خاک استفاده شده در این آزمایش از نوع مستقر در کف و ایستاده روی سطح زمین و با ابعاد مخزن  $۸/۶ \times ۱/۵ \times ۰/۶$  متر (ارتفاع  $\times$  عرض  $\times$  طول) است. اسکلت این مخزن از پروفیل‌های فولادی است و با ورق‌هایی به ضخامت ۳ میلی‌متر پوشیده شده است. ریل‌ها از تیرآهن شماره ۱۴ به‌طور کاملاً موازی در طرفین مخزن نصب شده‌اند.

#### واسنجی بارسنج‌ها

بارسنج‌ها، قبل از نصب روی آزمونگر، تک‌تک در آزمایشگاه واسنجی شدند. بدین ترتیب که هر یک به‌صورت تیر طره در یک انتها ثابت و در انتهای دیگر با وزنه‌های استاندارد ۱، ۵، ۱۰، و ۲۰ کیلوگرمی بارگذاری گردید. در این مرحله ضریب زاویه نمودار ولتاژ خروجی بارسنج به‌صورت تابعی از بار وارده به‌عنوان ضریب واسنجی تعیین شد.

#### وضعیت عمومی محل اجرای آزمایش

آزمونگر چرخ تک در کارگاه‌های فنی بخش مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در ۱۵ کیلومتری جاده شیراز-تخت جمشید ساخته و مراحل

1- Wheatstone Bridge

2- Potentiometer

3- Analog-to-Digital Converter

4- Micro Controller

## تجهیزات آماده‌سازی بستر خاک

یکی از محاسن اجرای آزمون‌ها در انبارۀ خاک نسبت به آزمایش‌های مزرعه‌ای، وجود شرایط کنترل‌شده است؛ به این مفهوم که پارامترهایی نظیر بافت و ساختمان خاک، رطوبت خاک، فشردگی، و موارد دیگر را در سرتاسر محیط انبارۀ خاک می‌توان به‌طور دلخواه و نسبتاً یکنواخت مهیا کرد. به منظور تأمین چنین شرایطی، از تجهیزات بسترسازی مانند تیغه‌های خاک‌ورز، تیغه تسطیح، و غلتک استفاده شده است. برای جلوگیری از ورود سنگ و مواد دانه درشت به داخل مخزن انبارۀ خاک به هنگام خاک‌ریزی از یک دستگاه الک متحرک استفاده شد که قادر است در طول انبارۀ روی ریل حرکت کند. عملیات خاک‌ریزی، مرطوب‌سازی، و فشردۀ سازی خاک مرحله به مرحله اجرا شد. به این نحو که در هر مرحله با ریختن لایۀ ۱۵۰ میلی‌متری از خاک خشک، مقدار آب مورد نیاز برای رسیدن به رطوبت مطلوب نیز به‌صورت پاشش یکنواخت افزوده و سپس فشردۀ سازی با غلتک اجرا شد. جابه‌جا کردن غلتک در طول دستگاه به کمک اربابه محمل ادوات صورت گرفت و نیروی محرک این محمل از یک دستگاه موتور الکتریکی سه فاز ۱۵ کیلوواتی و سیستم رانش زنجیری تأمین شد.

## اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک

اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک انبارۀ شامل تعیین بافت خاک، رطوبت خاک، جرم مخصوص ظاهری، و شاخص مخروط<sup>۱</sup> خاک است. برای تعیین بافت خاک در نقاط مختلف انبارۀ، نمونه‌هایی با حجم مساوی به صورت کاملاً تصادفی برداشته شد و پس از اختلاط، نمونه مرکب براساس آنالیز مکانیکی و به روش هیدرومتری بافت آن لومی-رسی شناخته شد که شامل ۴۱/۳ درصد شن ۲۶

درصد سیلت و ۳۲/۷ درصد رس بود. رطوبت مطلوب خاک برای اجرای آزمون‌ها از ابتدا در حدود ۱۰ درصد (برمبنای وزن خشک) در نظر گرفته شد. با توجه به رطوبت اولیه خاک و رطوبت نهایی مورد نظر، حجم آب مورد نیاز محاسبه و همزمان با عملیات خاک‌ریزی به‌طور تدریجی به خاک اضافه شد. به منظور حفظ رطوبت خاک و یکنواخت‌سازی آن قبل از اجرای آزمون‌ها، کل سطح انبارۀ به مدت ۲۴ ساعت با ورقی از پلی‌اتیلن ضخیم پوشیده شد. برای حصول اطمینان از وجود رطوبت مطلوب خاک در انبارۀ، همزمان با اجرای آزمون‌ها، نمونه‌گیری تصادفی نیز اجرا و با استفاده از روش توزین نمونه‌های خشک و تر درصد رطوبت خاک تعیین شد. در حین اجرای آزمون‌ها، میانگین رطوبت خاک در عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متر، در محدوده  $1 \pm 10\%$  درصد متغیر بود. برای اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک بعد از خاک‌ریزی و تثبیت فشردگی، در پنج نقطه در طول انبارۀ، با استفاده از استوانۀ نمونه‌گیری به قطر ۵۵ میلی‌متر و ارتفاع ۴۰ میلی‌متر از اعماق ۵-۰ و ۱۰-۵ و ۱۵-۱۰ سانتی‌متر به‌طور تصادفی نمونه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت تحت دمای ۱۰۵ درجۀ سانتی‌گراد در آون نگهداری و پس از توزین و تقسیم جرم خاک خشک بر حجم استوانه، میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری انبارۀ، در محدوده  $0.05 \pm 1/45$  گرم بر سانتی‌متر مکعب به‌دست آمد.

برای تعیین شاخص مخروط خاک از دستگاه فرو سنج مخروطی ثبات مدل SP-1000 ساخت شرکت Findly Irvine استفاده شد. این دستگاه مقاومت به نفوذ مخروط را با زاویۀ راس ۳۰ درجه و قطر قاعده ۱۲/۸۳ میلی‌متر در خاک در فواصل قابل تنظیم یک تا پنج سانتی‌متری و تا حداکثر

1- Cone Index

طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه آزمونگر ...

عمق ۵۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری و ثبت می‌کند. در این تحقیق، شاخص مخروط خاک در پنج نقطه به طور تصادفی در طول انباره و در هر نقطه در عمق‌های ۴، ۸، ۱۲، و ۱۶ سانتی‌متر اندازه‌گیری و ثبت شد. میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مقاومت به نفوذ خاک (کیلوپاسکال) در طول مسیر حرکت چرخ در انباره خاک

فاصله از مبدأ (متر)						
عمق اندازه‌گیری (سانتی‌متر)	۰/۵	۱	۱/۵	۲	۲/۵	میانگین
۴	۲۷۵	۲۶۸	۲۶۵	۲۷۰	۲۶۵	۲۶۸
۸	۳۱۵	۳۰۰	۳۰۰	۲۹۰	۲۹۵	۳۰۰
۱۲	۴۴۰	۳۷۵	۳۵۰	۳۲۵	۳۳۵	۳۶۵
۱۶	۳۷۰	۳۶۰	۳۷۰	۳۸۳	۳۷۰	۳۷۵

## نتایج و بحث

### واسنجی حسگرها

ابتدا کلیه حسگرهای نیرو (بارسنج‌ها) واسنجی و معادله همبستگی بین داده‌های به دست آمده از حسگر و جرم وزنه‌ها به صورت زیر تعیین شد. در این واسنجی از وزنه‌های ۱ تا ۳۰ کیلوگرمی استفاده شد.

$$8.081 - y = 10.918x$$

نتایج این واسنجی‌ها حاکی از واکنش خطی ( $R^2 \geq 0.99$ ) بارسنج‌های مورد استفاده در حسگرهای نیروی گیرایی خالص و گشتاور وارد بر چرخ بود.

### نیروی گیرایی خالص چرخ بدون اعمال بار کششی به ارابه

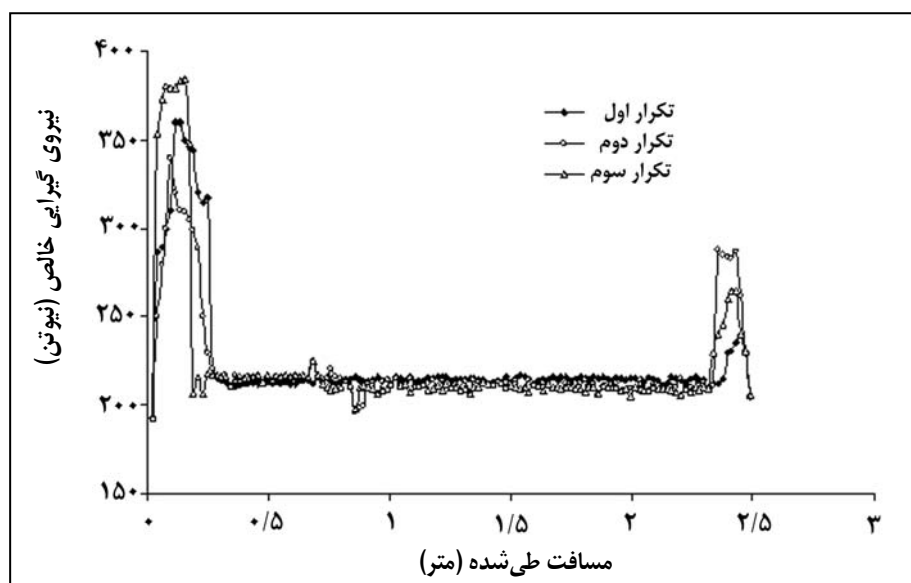
با توجه به نتایج واسنجی بارسنج‌ها، مقدار نیروی اندازه‌گیری شده با بارسنج واقعی نخواهد بود. برای به دست آوردن نیروی واقعی باید خروجی بارسنج را به جای  $y$  در معادله واسنجی آن بارسنج قرار داد و آنگاه  $x$

مقدار واقعی نیرو خواهد بود. نیروی گیرایی خالص وارد بر هر یک از دو حسگر به صورت جداگانه تعیین و نمودار تغییرات آن نسبت به مسافت طی شده در طول انباره خاک ترسیم شد. در این آزمون هیچگونه بار کششی اضافی به ارابه اعمال نشده است. نیروی اندازه‌گیری شده در واقع مقاومت غلتشی چرخ‌های ارابه روی ریل است. در شکل ۱۱، نیروی گیرایی کل چرخ که مجموع نیروهای وارد بر دو بارسنج است در سه تکرار نشان داده شده است. میانگین‌های سه تکرار آزمایش به ترتیب اجرا، ۲۲۲/۹، ۲۲۴/۶ و ۲۲۳/۲۵ نیوتن بود که حاکی از پایداری و تکرارپذیری قابل قبول آزمونگر در سنجش نیروی گیرایی چرخ در انباره خاک است. جهش اولیه نمودارها در آغاز ناشی از اینرسی ارابه و شاسی و متعلقات آزمونگر است که با شروع حرکت یکنواخت به سرعت کاهش یافته و در حد ثابتی پایدار مانده است. در انتهای مسیر با ترمز ارابه و خاموش شدن موتور، اینرسی چرخ و اجزای دوار جعبه‌دنده جهش دیگری را در نیروی وارد بر حسگر ایجاد کرده است.

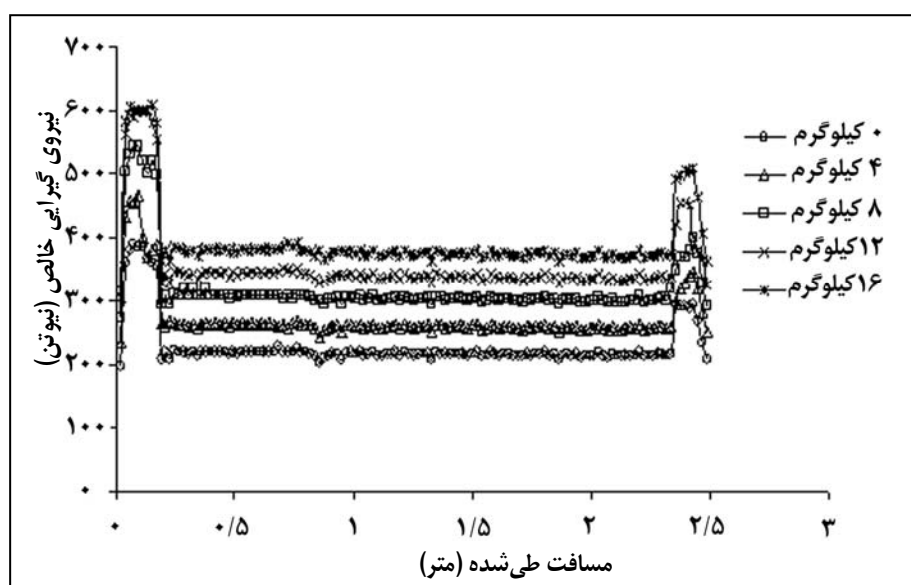
نسبتاً یکنواخت و جهش‌های ابتدا و انتهای مسیر ناشی از نیروی اینرسی ارباب و سایر اجزای متحرک آزمونگر است. نوسانات اندک و متناوب نیروی گیرایی می‌تواند ناشی از درگیری ناپیوسته آج‌های چرخ با خاک و نوسانات ذاتی سیستم رانش زنجیری چرخ باشد.

نیروی گیرایی خالص چرخ در سطوح مختلف اعمال بار کششی به ارباب

با استفاده از وزنه‌های مختلف، پنج سطح بار کششی بر ارباب اعمال شد که نتایج آن در شکل ۱۲ نشان داده شده است. در طول مسیر حرکت، گیرایی خالص ثبت‌شده در کلیه سطوح بار کششی



شکل ۱۱- نمودارهای سه تکرار اندازه‌گیری نیروی گیرایی چرخ در حالت بدون اعمال بار کششی



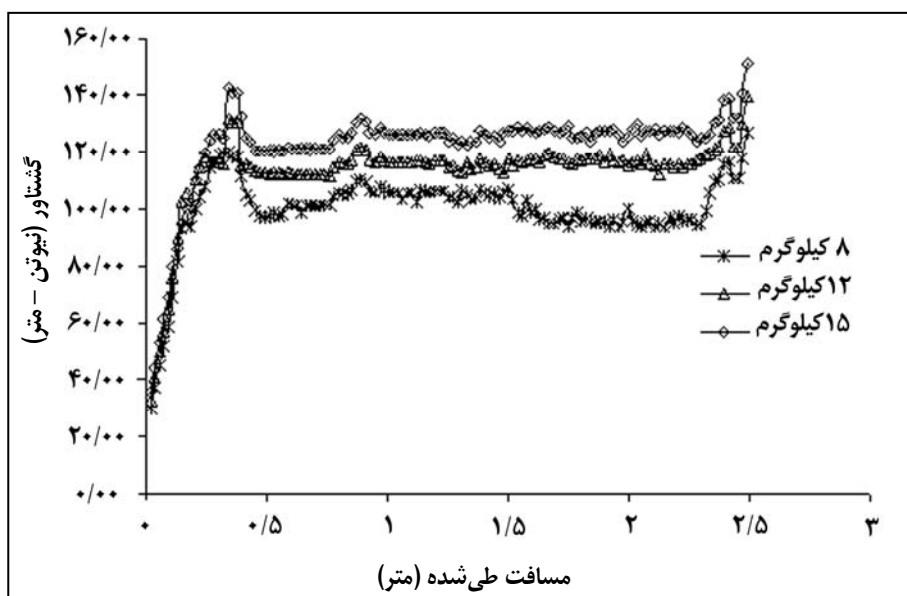
شکل ۱۲- نمودارهای نیروی گیرایی خالص چرخ در بارهای کششی مختلف



### گشتاور چرخ در بارهای کششی مختلف

زنجیری (Srivastava *et al.*, 1993) و درگیری ناپیوسته و متناوب آج‌های چرخ با خاک باشد. کاواسه و همکاران (Kawase *et al.*, 2006) نیز این نوسان‌ها را مشاهده و آن را ناشی از الگوی فاصله بین آج‌ها دانسته‌اند. این نوسانات با افزایش بار کششی کاهش می‌یابد که می‌تواند ناشی از لقی کمتر زنجیر و حرکت یکنواخت‌تر ارابه متصل به آزمونگر به هنگام افزایش بار کششی زنجیر باشد.

یکی از فاکتورهای کلیدی در آزمایش آزمونگر، گشتاور چرخ است، که در سه سطح مختلف بار کششی اندازه‌گیری شده و نمودارهای تغییرات آن در طول مسیر طی شده در انباره خاک در شکل ۱۳ نشان داده شده است. از ویژگی‌های بارز این نمودارها، نوسانات شدیدتر نسبت به نمودارهای نیروی گیرایی است که می‌تواند ناشی از عمل وتری<sup>۱</sup> در انتقال گشتاور به چرخ از طریق سیستم رانش

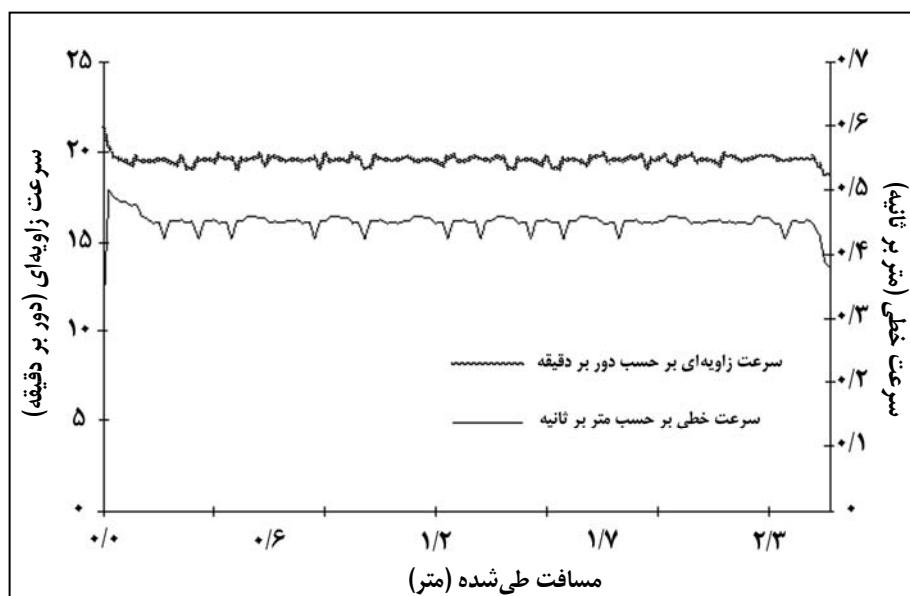


شکل ۱۳- نمودارهای گشتاور چرخ در طول مسیر در سه سطح مختلف بار کششی

در شروع حرکت و نوسانات ناشی از سیستم رانش زنجیری و وجود آج‌های نسبتاً بلند چرخ، نمودارها نشان‌دهنده یکنواختی سرعت پیشروی و زاویه‌ای چرخ و دقت و پایداری سیستم سنجش و ثبت سرعت خطی و زاویه‌ای است.

### سرعت خطی و زاویه‌ای ارابه در طول مسیر حرکت

در شکل ۱۴، نمودارهای میانگین نتایج سه تکرار داده‌های حسگرهای سرعت خطی و زاویه‌ای در حالت بدون بار کششی در طول مسیر ۲/۵ متری انباره خاک نشان داده شده است. به استثنای یک جهش کوتاه اولیه

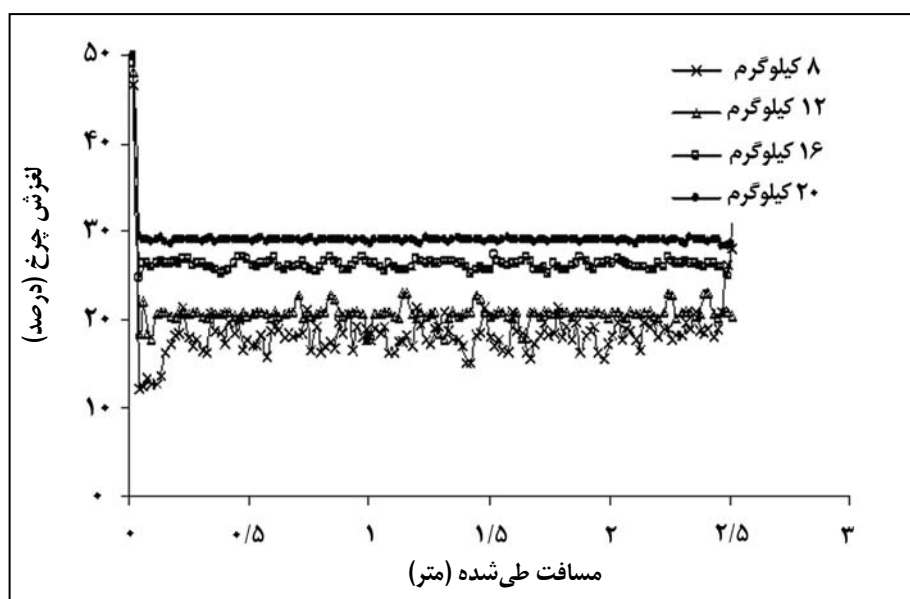


شکل ۱۴- نمودار میانگین سه تکرار داده‌های حسگرهای سرعت خطی و زاویه‌ای در حالت بدون بار کششی

لغزش چرخ ناشی از لزوم جابه‌جایی بیشتر خاک بر اثر آج‌های چرخ برای رسیدن به نیروی گیرایی بالاتر است و کاهش نوسانات آن می‌تواند ناشی از لقی کمتر زنجیر و حرکت یکنواخت‌تر ارباب متصل به آزمونگر در بار کششی بالاتر باشد.

#### لغزش چرخ در سطوح مختلف بارهای کششی

در شکل ۱۵، نمودار میانگین لغزش در سطوح مختلف بار کششی نشان داده شده است. با افزایش بار کششی، لغزش چرخ افزایش یافته و از شدت نوسانات آن در طول مسیر کاسته شده است.

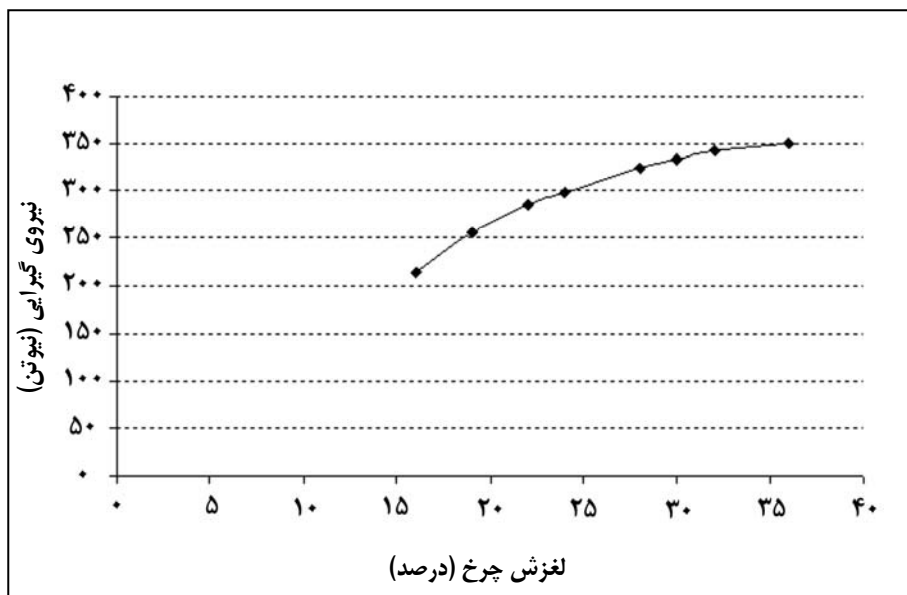


شکل ۱۵- نمودارهای درصد لغزش چرخ در بارهای کششی مختلف

### تغییرات نیروی گیرایی و لغزش چرخ

نیز افزایش می‌یابد با این تفاوت که در لغزش‌های پایین‌تر افزایش نیروی گیرایی شدیدتر است ولی هرچه درصد لغزش افزایش یابد میزان افزایش نیروی گیرایی کاهش می‌یابد و به بیشینه مقدار خود می‌رسد که به بار عمودی وارد بر چرخ بستگی دارد. این روند تغییرات را پژوهشگران متعدد از جمله زوز و گریسو (Zoz & Grisso, 2003) و ایاگنما (Iagnemma, 2005) گزارش کرده‌اند.

در شکل ۱۶، نمودار تغییرات درصد لغزش چرخ با افزایش بار کششی نشان داده شده است. حرکت چرخ آزمونگر در شرایط بدون اعمال بار کششی اضافی به ارابه به‌طور میانگین با ۱۶ درصد لغزش همراه است. این درصد لغزش با توجه به سبک‌بودن بافت خاک، رطوبت کم، و مقاومت کششی ارابه آزمونگر طبیعی است. با اضافه‌کردن بار کششی، درصد لغزش



شکل ۱۶- نمودار رابطه بین نیروی گیرایی و لغزش چرخ

نیروی وارد بر چرخ و پارامترهای حرکتی آن را به منظور مطالعه روابط بین چرخ و خاک روی نمایشگر رایانه نشان دهند و ثبت کنند. در این آزمون‌ها تاثیر سطوح مختلف بار کششی بر گشتاور وارد بر چرخ، نیروی گیرایی خالص، و درصد لغزش چرخ بررسی و نتایج به‌صورت نمودارهای این پارامترها در طول مسیر ۲/۵ متری از انبار خاک ارائه و مورد بحث و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان‌دهنده توانمندی آزمونگر در مطالعه رابطه بین چرخ و

### نتیجه‌گیری

در اجرای این تحقیق یک دستگاه آزمونگر چرخ مجهز به حسگرهای اندازه‌گیری سرعت خطی، سرعت زاویه‌ای، گشتاور وارد بر چرخ، و نیروی گیرایی چرخ پس از طراحی، ساخته و ارزیابی شد. این دستگاه به‌صورت شناور در صفحه عمودی به یک دستگاه ارابه سوار بر ریل‌های انبار خاک متصل شد و به هنگام حرکت در طول انبار سیستم‌های داده‌برداری و پردازش آن توانستند نمودارهای تغییرات

خاک و حاکی از دقت، پایداری، و تکرارپذیری بودن سیستم کوچک کشاورزی به منظور مطالعه تأثیر پارامترهای طراحی سنجش پارامترهای مرتبط با عملکرد کششی چرخ‌های چرخ و شرایط خاک بر خصوصیات زمین‌گیرایی چرخ است.

## مراجع

- Armbruster, K. and Kutzbach, H. D. 1989. Development of a single wheel tester for measurement on driven angled wheel. Proceeding of the 5<sup>th</sup> European Conference of the ISTVS. Wageningen. The Netherlands.
- Billington, W. P. 1970. The N.I.A.E. MK II single wheel tester. Trans. ASAE. 18(1): 67-70.
- Burt, E. C., Reaves, C. A. Bailey A. C. and Pickering, W. D. 1980. A machine for testing tractor tires in soil bins. Trans. ASAE. 23(3): 546-547, 552.
- Iagnemma, K. 2005. A laboratory single wheel test bed for studying planetary rover wheel-terrain interaction. Technical Report. Massachusetts Institute of Technology.
- Kawase, Y., Nakashima, H. and Oida, A. 2006. An indoor traction measurement system for agricultural tires. J. Terramechanics. 43, 317-327.
- Krick, G. 1973. Behavior of tires driven in soft ground with side slip. J. Terramechanics. 9(4): 9-30.
- Nagaoka, A. K., Lancas, K. P., Neto, P. C. and Benez, S. H. 2001. Evaluation of a single wheel testing device with mechanical transmission. Paper No. 01-1166. ASAE. St. Joseph. MI 49085-9659. USA.
- Okello, J. A., Dwyer, M. J. and Cottrell, F. B. 1994. The tractive performance of rubber tracks and a tractor driving wheel tire as influenced by design parameters. J. Agric. Eng. Res. 59, 33-43.
- Sheikhdavoodi, M. J., Minaei, S., Almasi, M. and Ghobadian, B. 2005. Development and evaluation of an apparatus for measurement and study of traction phenomenon under controlled conditions. Scientific J. Agric. 28(1): 13-27. (in Farsi)
- Shmulevich, I., Ronai, D. and Wolf, D. 1996. A new field single wheel tester. J. Terramechanics. 33, 133-141.
- Soekarno, S. and Salokhe, V. M. 2003. Soil reactions on the cage wheels with staggered echelons of half-width lugs and perfect chevron lugs in wet clay soil. CIGR J. Sci. Res. Develop. Manuscript PM 03002.
- Srivastava, A. K., Goering, C. E. and Rohrbach, R. P. 1993. Engineering Principles of Agricultural Machines. ASAE Textbook No. 6. St. Joseph. MI 49085-9659. USA.
- Upadhyaya, S. K., Wulfsohn, D. and Glaney, J. L. 1986. Development of a unique mobile single wheel traction testing machine. Trans. ASAE. 29,1243-1346.
- Walczykova, M., Walczyk, J. and Kormanek, M. 2002. Determination of forest soil traction parameters. Electronic J. Polish Agric. Uni. 5(2): 100-111.

طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه آزمونگر ...

- Watyotha, C. and Salokhe, V. M. 2001. Tractive performance of cage wheels with opposing circumferential lugs. J. Agric. Eng. Res. 79(4): 389 – 398.**
- Way, T. R. 2007. Three single wheel machines for traction research. Paper No. 071109. ASABE. St. Joseph. MI 49085-9659. USA.**
- Werkhoven, C. 1975. The development of a single wheel tester to test tire. Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen. Publikatie No. 17. Wageningen. The Netherlands.**
- Zoz, F. M. and. Grisso R. D. 2003. Traction and Tractor Performance. ASAE Lecture Series No. 27. St. Joseph. MI 49085-9659. USA.**



## **Design, Development and Evaluation of a Single Wheel Tester**

**M. Loghavi\* and B. Bahri**

\* Corresponding Author: Associate Professor, University of Shiraz, P. O. Box: 71946-84471, Shiraz, Iran. E-mail: Loghavi@shirazu.ac.ir

The single wheel tester is an experimental device used to measure wheel forces when studying the relation of soil and wheel in a soil bin or in the field. In the model under development, a special frame holding the test wheel is connected to a loading carriage by two pairs of vertical rails and four rollers to provide a floating connection. By applying a driving torque to the test wheel shaft, the tester frame and loading carriage moved along the soil bin and the net traction force developed by the test wheel is measured using a pair of force transducers (load cells). The driving unit consists of a 3-phase, 1.1 kW AC motor and a reduction gear unit (gear ratio 1:48). The drive unit is mounted on an independent frame which is mounted on the tester frame by a pivot shaft running through the center of mass of the drive assembly. A chain drive system transmits the output rotation of the drive unit to the test wheel axis. The torque transmitted to the test wheel was calculated by measuring the tension force of the chain using a load cell to measure the reaction force sensed by the pivotal frame during transmission. Rotary and linear encoders equipped with infrared sensors were used to measure angular and linear velocities of the test wheel and tester frame, respectively. The sensor output was sent to a data acquisition board to digitalize the data before being sent to a computer for further processing. The single wheel tester was capable of measuring net traction, linear and angular velocities, slippage and driving torque of test wheels as large as 25 cm in width, 70 cm in diameter and with a maximum net traction of 600 N and maximum torque of 170 N-m. During the evaluation tests, the traction parameters of an agricultural tire with an inflation pressure of 140 kPa, intended for a walking tractor, were measured. The evaluation results were recorded in diagrams of net traction force, driving torque, angular velocity; travel speed and wheel slip along a 2.5 m test track in a laboratory soil bin.

**Key Words:** Single Wheel Tester, Soil Bin, Traction Force, Wheel Slip