

بررسی تأثیر پارامترهای کششی بر روی تنش ایجاد شده زیر چرخ محرک تراکتور با استفاده از تنش سنج و آزمونگر تک چرخ در انباره‌ی خاک

حمید تقوی فر^{۱*} - عارف مردانی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۱۴

چکیده

در تحقیق حاضر اثر کشش خالص چرخ محرک بر روی تنش عمودی ایجاد شده زیر چرخ مورد مطالعه قرار گرفت. از این رو سرعت پیشروی در سه سطح ۰/۸، ۱ و ۱/۲ متر بر ثانیه، بار عمودی روی چرخ محرک 220/65R21 در سه سطح ۰/۲، ۳ و ۴ کیلو نیوتن و لغزش در سه سطح ۸، ۱۲ و ۱۵ درصد مورد استفاده قرار گرفتند تا مقدار نیروی کشش و تنش عمودی در سه عمق ۰/۱، ۰/۱۵ و ۰/۲ متری اندازه‌گیری شوند. آزمون‌ها در طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی بر روی خاک رسی لومی با رطوبت ۱۲٪ با سه تکرار انجام شدند. تنش عمودی از طریق یک سامانه‌ی ساخته شده تنش‌سنج و نیروی کششی نیز از طریق ۴ عدد لودسل افقی نصب شده بین چرخ و کشنده‌ی چرخ اندازه‌گیری شدند. بررسی‌های انجام شده در سطح آماری ۱٪ نشان دادند که نیروی کششی باعث افزایش تنش عمودی زیر چرخ می‌گردد و بیشترین تنش عمودی زیر چرخ با مقدار ۷۸ کیلو پاسکال در عمق ۰/۱ متر مربوط به کشش بیشینه‌ی خالص حاصل شده تحت تأثیر بار ۴ کیلو نیوتن، لغزش ۱۵ درصد و سرعت ۰/۸ متر بر ثانیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: انباره‌ی خاک، تنش عمودی، چرخ محرک، کشش خالص، لغزش

مقدمه

است که برای کاهش فشردگی خاک در سطح و عمق خاک باید تنش در سطح خاک کاهش یابد. چرخ به دلیل نقش اساسی آن در ارتباط ماشین با خاک، از عوامل مهم تأثیرگذار بر ایجاد تنش در سطح تماس ماشین با خاک می‌باشد. از این رو پارامترهای چرخ از جمله وزن روی چرخ، سرعت حرکت، فشار باد و لغزش چرخ مورد توجه محققین در این حوزه بوده است. از طرف دیگر چرخ در معرض تمامی نیروها و گشتاورهای تأثیرگذار بر حرکت ماشین می‌باشد و دینامیک ماشین به صورت قابل ملاحظه‌ای متأثر از نیروها و گشتاورهای وارده به چرخ می‌باشد. علاوه بر این، چرخ در حرکت، فرمان‌پذیری و بازده کششی ماشین نیز نقشی اساسی دارد. مورد اخیر، بازده کششی، مهمترین فاکتور بررسی بازده تراکتور کشاورزی می‌باشد.

در تحقیقی توسط محمدزاده و همکاران (Mohammadzadeh et al., 2013) تأثیر فشار باد، بار روی چرخ و هندسه مانع بر روی نیروی مقاومت غلتشی درون انباره خاک بررسی شد و گزارش گردید که نیروی کششی لازم برای گذراندن مانع به صورت خطی، با افزایش سرعت پیشروی و ارتفاع مانع بیشتر می‌گردد. همچنین بری کوترمارش (Coutermarsh, 2007) اثر سرعت‌های متفاوت در محدوده‌ی بین ۲/۱ تا ۴/۶ متر بر ثانیه را بر روی مقاومت غلتشی در سه بار اعمالی روی چرخ در خاک شنی خشک مورد تحقیق قرار داد. در آزمایش‌های این محقق از یک آزمونگر که به پشت یک تریلر

پارامترهای کششی چرخ محرک از مهمترین شاخص‌های ارزیابی کیفیت عملکردی تراکتورهای کشاورزی محسوب می‌شوند. بازده کششی بالا به منظور بهره‌وری اقتصادی در کاهش مصرف سوخت مد نظر طراحان ماشین‌های کشاورزی می‌باشد. در اثر تقابل چرخ و خاک تغییراتی نیز در ساختار فیزیکی و مکانیکی خاک به وجود می‌آید که به فشردگی خاک منتج می‌شود و باعث کاهش چشمگیر تولید محصول در مزرعه می‌شود. از مؤلفه‌های مؤثر در ایجاد فشردگی خاک، تنش‌های ایجاد شده به وسیله‌ی تردد ماشین‌های کشاورزی و نیروهای وارده بر خاک می‌باشند. در حالی که افزایش بازده کششی ماشین‌های کشاورزی مطلوب می‌باشد، در عین حال کاهش حدالامکان تنش‌های ایجاد شده در خاک نیز باید در نظر گرفته شود و مصالحه‌ای بین یک عامل مطلوب و نامطلوب صورت پذیرد.

تحقیقات بسیاری در گذشته برای ذخیره‌ی داده‌های تنش و کرنش در اثر تردد ماشین‌های کشاورزی و خارج جاده‌ای و مرتبط کردن این پدیده‌ها با فشردگی خاک انجام شده‌اند. مشخص شده

۱ و ۲ - به ترتیب دانشجوی دکترا و استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه ارومیه

* - نویسنده مسئول: (Email: ha.taghavifar@urmia.ac.ir)

فاکتورهای مؤثر در کاهش مقدار تنش در خاک پرداخته‌اند تا مقدار فشردگی حاصل از انتشار تنش در خاک را کاهش دهند. تمرکز تحقیق حاضر با در نظر گرفتن پارامترهای بار، سرعت و لغزش قابل تنظیم که دارای مکانیزمی نوین در سیستم مورد استفاده است، بررسی نقش پارامترهای کششی در ایجاد تنش عمودی در پروفیل خاک در محیط کنترل‌شده‌ی آزمایشگاهی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

انباره خاک موجود در گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه ارومیه که در این تحقیق استفاده شد، در جهت طولی ۲۴ متر، عرض کانال تا ۲ متر و عمق ۱ متری بود و شرایط مناسب برای آزمایشات با حذف اثرات مرزی را فراهم کرد. از مکانیزم انتقال توان زنجیری به دلیل توانایی بهتر انتقال توان برای حرکت حامل مجموعه‌ی حاضر استفاده شد. همانطور که در شکل ۱ مشخص است، حرکت حامل بر روی ریل از طریق زنجیر به واسطه‌ی چهار بلبرینگ^۱ چرخ‌ی انجام می‌شود که البته وظیفه‌ی حمل بار حامل را نیز بر عهده دارند. شاسی حامل از دو قسمت تشکیل شده است که قسمت اول وظیفه‌ی حمل وزن حامل را دارد و بلبرینگ‌های چرخ‌ی متصل به آن قابلیت حرکت مجموعه‌ی حامل را درون ریل مهیا می‌کند. خاک پس از هر آزمایش به منظور انجام آزمون بعدی فرآوری و آماده شد.

از یک الکتروموتور سه فاز با توان ۲۲ کیلووات که در یک انتهای انباره‌ی خاک قرار داشت استفاده شد. از یک اینورتر^۲ مدل SV 220 IS5-2NO, 380V ساخت شرکت LG برای کنترل الکتروموتور استفاده شد که با تغییر ترکیب ولتاژ- فرکانس تغذیه‌ی الکتروموتور میزان دور آن را به صورت پیوسته و در تعداد سطوح مختلف فراهم می‌آورد که در نتیجه فرآیندهای راه اندازی، متوقف سازی و نیز جهت چرخش الکتروموتور قابل کنترل گشته و سطوح مختلف سرعت برای حامل قابل دسترسی می‌باشد. در این تحقیق چرخ محرک 220/65R21 مورد استفاده قرار گرفت.

یک پیچ قدرت^۳ از قسمت بالا به شافتی که به صورت عرضی به قسمت قابل لولاشدن حامل وصل است متصل گردید و از قسمت پایین به یک لودسل به ظرفیت ۲۰۰۰ کیلوگرمی مدل Bongshin به صورت سری متصل شد. لودسل مذکور نیز از قسمت پایین به شاسی چرخ متصل گردید. برای ایجاد نیروی کششی در چرخ محرک مورد ارزیابی، یک الکتروموتور با توان ۵/۵ کیلووات و یک جعبه دنده با نسبت کاهندگی ۱ به ۷/۵ استفاده شد (شکل ۱).

متصل شده بود استفاده شد. تحقیقات وی حاکی از افزایش ابتدایی و کاهش قابل توجه ضریب کشش موجود در اکسل با افزایش سرعت می‌باشد. برای محاسبه‌ی تنش‌های ایجاد شده در خاک و فشردگی متعاقب آن تحقیقات گسترده‌ای انجام شده‌اند.

شریفی و همکاران (Sharifi Malvajerdi et al., 2013) تأثیر بار و فشار باد بر برخی عوامل مرتبط با فشردگی خاک به عنوان محصول تنش‌های ایجاد شده در خاک از جمله عمق و اثر چرخ، شاخص مخروط و شاخص مقاومت افقی خاک در لایه‌های مختلف توسط یک حسگر اندازه‌گیر پروفیل فشردگی خاک در انباره خاک با بافت لوم شنی اندازه‌گیری شد و نتایج نشان داد فشردگی خاک ناشی از میزان بار عمودی وارد بر لاستیک در لایه‌های زیرین بیشتر از لایه‌های سطحی خاک بود. نگوین و همکاران (Nguyen et al., 2008) تنش عمودی زیر چرخ‌های محرک را با استفاده از کرنش سنج‌های نصب شده در زیر اکسل چرخ‌های عقب تراکتور محاسبه کردند. آزمایش آن‌ها در حالت ثابت بودن تراکتور و ترکیب‌هایی از فشار باد و وزن روی چرخ متفاوت انجام شد. تنش‌های محاسبه شده در این آزمایش، تنش‌های عمودی و مماسی در محل تماس چرخ با خاک را نیز شامل بود. توماس کلر (Keller, 2005) به بررسی مدلی برای پیش‌بینی اندازه‌ی سطح تماس و پخش‌شدگی تنش در زیر چرخ در اثر پارامترهای چرخ پرداخت و این کار را برای ۲۹ ترکیب مختلف از بار چرخ و خواص چرخ انجام داد و سطح تماس و تنش عمودی توزیع شده زیر چرخ را اندازه‌گیری کرد. براساس نتایج به دست آمده ویژگی‌های سطح تماس و تنش توزیع شده به عوامل مختلفی از جمله پارامترهای چرخ، بار اسمی روی چرخ، فشار باد، عرض و قطر چرخ بستگی دارد و همچنین نتیجه گرفت که، توزیع طولی تنش عمودی به وسیله‌ی یک تابع توانی و توزیع عرضی تنش عمودی به وسیله‌ی یک تابع زوال تعریف می‌شود. لودسل‌های فشاری به تعداد ۵ عدد ابتدا در محفظه‌هایی با ابعاد نشان داده شده در شکل قرار گرفتند و تا نصف رد چرخ در جهت عمود بر حرکت در عمق ۰/۱ متری خاک دفن شدند به نحوی که یکی در مرکز رد چرخ و یکی در لبه‌ی چرخ و سه لودسل دیگر به فواصل مساوی در بین آنها قرار گرفتند. در تحقیق دیگری که توسط پیتکا و همکارانش (Pytka et al., 2006) انجام شد، اثر فشار باد و بار روی چرخ بر روی مقاومت غلتشی و تنش به صورت جداگانه و بدون در نظر گرفتن برهم‌کنش این دو پارامتر مهم صورت گرفت و گزارش شد که افزایش بار و کاهش فشار باد باعث بهبود کشش می‌گردند.

بررسی منابع مشخص کرد که مطالعات مختلفی در حوزه‌ی ارزیابی پارامترهای کششی در آزمون‌های مزرعه‌ای و یا شرایط آزمایشگاهی با رویکرد افزایش بازده کششی تراکتورها انجام شده است. مطالعات مرتبط با مقاومت مکانیکی خاک نیز به بررسی

1- Ball bearing
2- Invertor
3- Power bolt



شکل ۱- شماتیکی از مجموعه‌ی انباره‌ی خاک و آزمونگر تک چرخ مورد استفاده در آزمایشات
Fig.1. Schematic diagram of the soil bin and single-wheel tester being applied

محکم شده است. شکل‌های ۲ و ۳ به ترتیب سامانه‌ی تنش‌سنج مورد استفاده و نحوه‌ی قرارگیری تنش‌سنج در عمق هدف را نشان می‌دهند.

اندازه‌گیری‌هایی که در تحقیق حاضر توسط لودسل‌های S شکل انجام می‌شدند باید برای تحلیل و ارزیابی ثبت و ذخیره‌سازی می‌شدند. هر یک از لودسل‌های مربوط به سامانه‌ی تنش‌سنجی به صورت مستقیم به یک نمایشگر Bongshin متصل شدند. به همین ترتیب لودسل‌های موجود در پروفیل تنش‌سنج نیز به صورت مجزا هر یک به یک عدد از نمایشگرهای دیجیتالی متصل شدند در حالی که یک عدد نمایشگر هم برای اندازه‌گیری بارهای دینامیکی متغیر ایجاد شده در حال حرکت اختصاص یافت. داده‌ها از طریق دیتالاگر به کامپیوتر انتقال یافتند. این تحقیق در قالب رابطه‌ی بین کشش چرخ محرک و تنش عمودی ایجاد شده زیر چرخ در اثر پارامترهای بار عمودی روی چرخ در سه سطح (۲، ۳ و ۴ کیلونیوتن)، سرعت پیشروی در سه سطح (۰/۸، ۱ و ۱/۲ متر بر ثانیه)، لغزش در سه سطح (۸، ۱۲ و ۱۵ درصد) و عمق‌های مختلف (۰/۱، ۰/۱۵ و ۰/۲ متر) در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی مورد آزمایش و بررسی قرار گرفت. داده‌های مربوط به تکرارهای تیمارها میانگین‌گیری شدند و مورد استفاده قرار گرفتند. از نرم افزار SAS^۱ برای تجزیه و تحلیل آماری در سطح آماری ۱٪ استفاده شد.

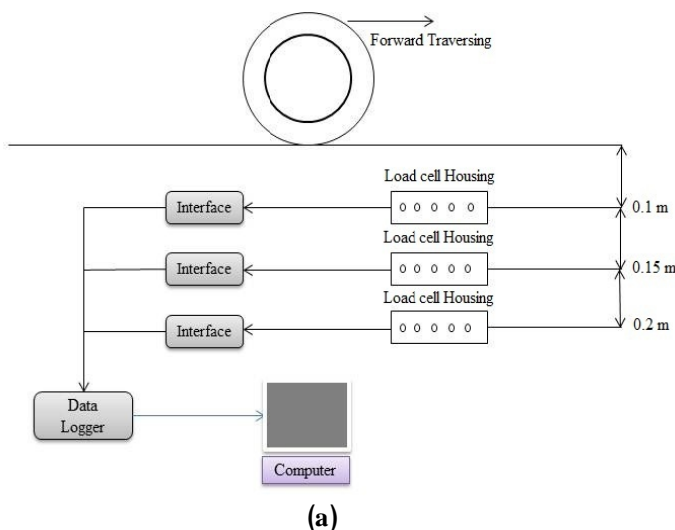
برای کنترل سرعت دورانی خروجی الکتروموتور محرک چرخ نیز از یک عدد اینورتر ۵/۵ کیلووات با نام تجاری LS ساخت شرکت LG استفاده شد. با توجه به سامانه‌های در نظر گرفته شده برای سرعت حامل و آزمونگر، لغزش چرخ به عنوان یکی از پارامترهای مورد نظر برای بررسی اثر ایجاد شده در سطوح مختلف لغزش بر تنش‌های عمودی در خاک در نظر گرفته شد. به منظور دستیابی به سطوح مطلوب از لغزش از سرعت‌های خطی خروجی از الکتروموتورهای در نظر گرفته شده برای حامل و آزمونگر و اختلاف سرعت‌های خطی بین آنها استفاده گردید. اندازه‌گیری تنش‌های عمودی با استفاده از یک سامانه‌ی مجهز به لودسل و نمایشگر و نیز دیتالاگر برای ثبت داده‌های به دست آمده انجام گرفت. شاسی سیستم از یک محفظه‌ی تو خالی با مقطع مربعی شکل شامل چهار عدد لودسل ۲۰۰ کیلوگرمی که با فواصل ۱۲/۵ سانتی‌متری از یکدیگر قرار داشتند استفاده شد. قسمت فوقانی این محفظه متشکل از یک پوشش از جنس MDF با سوراخ‌کاری‌های تعبیه شده برای جاسازی ابزارهای تنش‌سنجی بود. لودسل‌های مذکور از یک سو به سوپاپ‌های اندازه‌گیر تنش و از سوی دیگر به کف پروفیل با پیچ نصب شدند. قبل از نصب لودسل‌ها، کالیبراسیون لودسل‌ها انجام گرفت. در این سیستم از یک پروفیل با ابعاد استاندارد مقطع ۰/۱۲×۰/۱۲ متر به عنوان شاسی استفاده شد. تعداد ۴ عدد لودسل با ظرفیت ۲۰۰ کیلوگرمی به صورت طولی در خط مرکزی شاسی تنش‌سنج نصب شدند. به منظور جلوگیری از هرگونه انحراف جانبی سوپاپ و حرکت در راستای قائم، سر سوپاپ از داخل یک صفحه از جنس MDF به ضخامت ۱۰ میلی‌متر عبور داده شده است. سر دیگر لودسل‌ها با یک عدد پیچ M8 به صفحه مقابل پروفیل



شکل ۲- سامانه اندازه‌گیری تنش زیر چرخ محرک با درپوش از جنس MDF با سوراخ‌کاری‌های مورد نیاز برای نصب لودسل
Fig.2. Stress measuring transducer with MDF cover pierced at different positions to hold the required load cells



(b)



(a)

شکل ۳- (a) نحوه‌ی قرارگیری پروفیل تنش‌سنج در راستای مسیر حرکت چرخ محرک و (b) شماتیک سیستم اندازه‌گیری تنش زیر چرخ محرک در عمق‌های مختلف

Fig.3. a) Situating the stress transducer alongside traversing direction and b) Schematic diagram of the data collecting system with stress transducer buried at the different depths

نتایج و بحث

در هر سه عمق مورد آزمایش در سطح آماری ۱٪ معنی‌دار می‌باشند. اثرات متقابل دوگانه پارامترهای ورودی در جداول ۱، ۲ و ۳ نیز در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشند. همچنین تأثیر متقابل سه‌گانه‌ی سرعت × لغزش × بار روی چرخ نیز در هر سه سطح عمق در سطح آماری ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. ضریب تبیین اصلاح‌شده برای کوواریانس‌های مربوط به جداول ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۰/۹۹۱، ۰/۹۸۷ و ۰/۹۹ می‌باشند.

به دلیل این که سطوح مختلف پارامتر عمق مستقل از یکدیگر نمی‌باشند، نتایج تحلیل کوواریانس بین نیروی کششی و تنش عمودی در سه بازه‌ی ۰-۰/۱ متری، ۰/۱۵-۰/۱ متری و ۰/۱۵-۰/۲ متری در جداول ۱، ۲ و ۳ ارائه شده‌اند. تأثیر سرعت در تنش نیز در عمق ۰/۱ متری در سطح آماری ۱٪ و در عمق‌های بیشتر در سطح آماری ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. تأثیر بار روی چرخ و لغزش بر روی تنش

جدول ۱- تحلیل کوواریانس تنش عمودی با کشش چرخ در عمق ۰-۰/۱ متری

Table 1- ANCOVA analysis of vertical stress and net traction at 0-0.1 m of depth

منبع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	P-value
Source of variation	Sum of squares	Degree of freedom	Mean Squares	
بار Wheel load	1129.158	2	564.579	109.378**
سرعت Velocity	11042.660	2	5521.330	1069.669**
لغزش Slippage	15250.667	2	7625.334	1477.286**
بار×سرعت Velocity× Wheel load	146.827	4	36.707	7.111**
بار×لغزش Wheel load×Slippage	348.153	4	87.038	16.862**
سرعت× لغزش Velocity× Slippage	1526.702	4	381.675	73.944**
بار×سرعت× لغزش Wheel load× Slippage× Velocity	210.744	8	26.343	5.104**
خطا Error	273.571	53	5.162	
کل Total	198180.828	81		

ضریب تبیین تصحیح شده=0.991

** معنی داری در سطح ۱ درصد

* and **:significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

جدول ۲- تحلیل کوواریانس تنش عمودی با کشش چرخ در عمق ۰/۱۵-۰/۱ متری

Table 2- ANCOVA analysis of vertical stress and net traction at 0.1-0.15 m of depth

منبع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	P-value
Source of variation	Sum of squares	Degree of freedom	Mean Squares	
سرعت Velocity	6972.200	2	3486.100	718.765*
بار Wheel load	930.396	2	465.198	95.915**
لغزش Slippage	10126.713	2	5063.357	1043.965**
بار×سرعت Velocity× Wheel load	146.429	4	36.607	7.548**
سرعت× لغزش Velocity× Slippage	1714.454	4	428.614	88.372**
بار×لغزش Wheel load×Slippage	533.880	4	133.470	27.519**
بار×سرعت× لغزش Wheel load× Slippage× Velocity	183.133	8	22.892	4.720**
خطا Error	257.056	53	4.850	
کل Total	107355.218	81		

ضریب تبیین تصحیح شده=0.987

* و ** به ترتیب معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد

* and **:significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

جدول ۳- تحلیل کوواریانس تنش عمودی با کشش چرخ در عمق ۰/۱۵-۰/۲ متری

Table 3- ANCOVA analysis of vertical stress and net traction at 0.15-0.2 m of depth

منبع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	P-value
Source of variation	Sum of squares	Degree of freedom	Mean Squares	
سرعت Velocity	3685.186	2	1842.593	1059.263*
بار Wheel load	398.719	2	199.359	114.607**
لغزش Slippage	4045.299	2	2022.649	1162.773**
بار×سرعت Velocity× Wheel load	117.855	4	29.464	16.938**
سرعت× لغزش Velocity× Slippage	263.031	4	65.758	37.803**
بار×لغزش Wheel load×Slippage	143.242	4	35.811	20.587**
بار×سرعت× لغزش Wheel load× Slippage× Velocity	45.731	8	5.716	3.286**
خطا Error	92.194	53	1.740	
کل Total	50208.530	81		

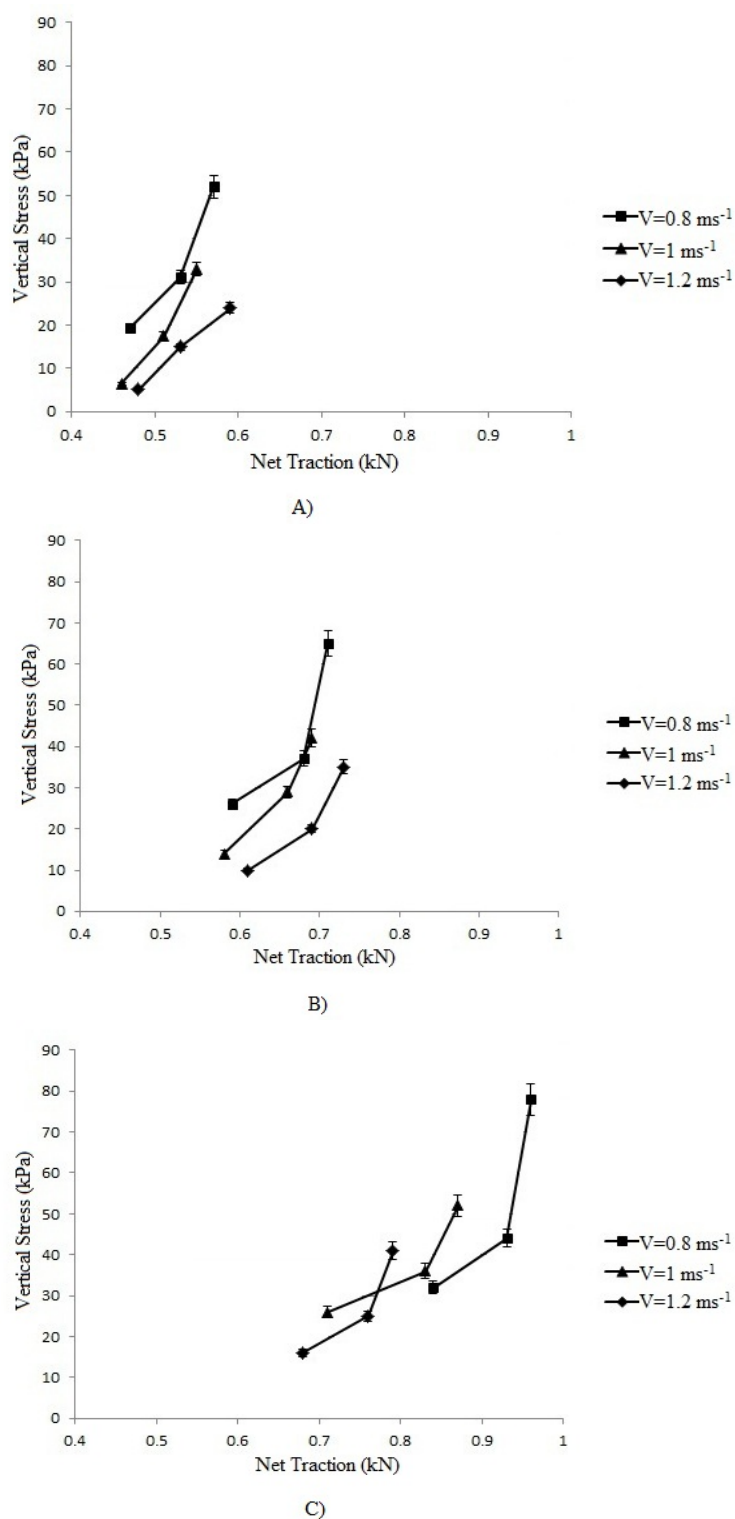
ضریب تبیین تصحیح شده=0.990

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد

* and **:significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

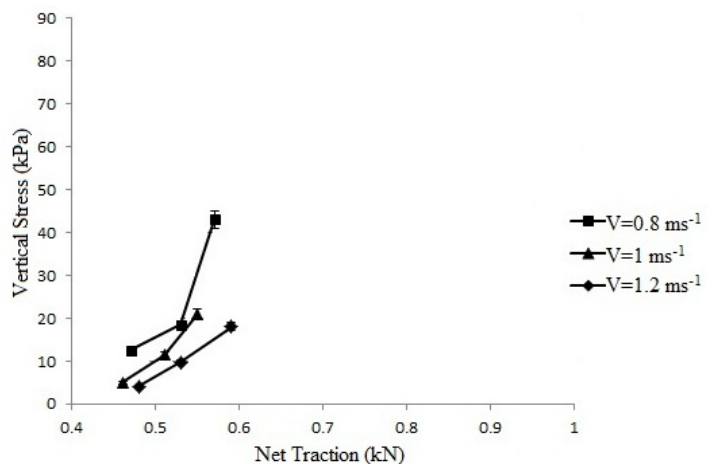
مقدار و ۰/۱ متری بیشترین مقادیر تنش بودند. نتایج مشابهی در مطالعات محققان دیگری نیز گزارش شده است (Schjønning and Lamandé 2010; Pytka, 2005; Pytka *et al.*, 2006; Arvidsson and Keller, 2007; Keller and Lamandé, 2010). با افزایش مقدار لغزش، مقدار تنش‌های برشی در سطح تماس افزایش می‌یابد که در عمق‌های بیشتر از سطح تماس، این تنش‌ها به تنش‌های عمودی تبدیل می‌شوند. در هر یک از شکل‌های مذکور بیشترین افزایش تنش عمودی در سرعت ۰/۸ متر بر ثانیه و در لغزش از ۱۲ تا ۱۵٪ اتفاق افتاده است. دلیل این امر را می‌توان در افزایش مدت تماس^۲ در سرعت‌های پایین دانست. از منظر مقاومت مکانیکی خاک نیز با افزایش بار روی چرخ، مقدار نیروی مقاوم برشی با ننگ داشتن خاک در بین آج لاستیک، افزایش می‌یابد که باعث افزایش نیروی کششی می‌شود که به نوبت خود باعث افزایش تنش‌های برشی سطحی خاک می‌شود. این تنش‌های برشی در عمق خاک به صورت تنش عمودی اثر خود را نشان می‌دهند که در نتیجه می‌توان افزایش تنش عمودی در عمق با افزایش نیروی کششی را توجیه کرد.

با توجه به شکل‌های ۴، ۵ و ۶ افزایش تنش عمودی با افزایش نیروی کششی قابل ملاحظه است. این روند برای هر سه سطح از عمق آزمایش شده صادق می‌باشد. افزایش نیروی کشش به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای عملکردی ماشین‌های کشنده مد نظر می‌باشد ولی در محدوده‌ی آزمایشات انجام شده افزایش نیروی کششی منجر به افزایش تنش عمودی می‌شود که این امر خود از عوامل مهم تأثیرگذار بر ایجاد فشردگی خاک می‌باشد. بیشترین مقدار تنش به‌دست آمده با ۷۸ کیلو پاسکال در عمق ۰/۱ متری، در بار ۴ کیلو نیوتن، سرعت ۰/۸ متر بر ثانیه و لغزش ۱۵٪ به‌دست آمد. این تیمار بیشترین مقدار افزایش نسبت به لغزش را با ۵۸٪ دارا می‌باشد که تحت تأثیر همین تیمار، بیشترین مقدار نیروی کششی نیز حاصل شد. طبق این مطالعه با افزایش بارگذاری مقدار تنش در هر دو عمق مورد مطالعه افزایش می‌یابد. این افزایش مقدار تنش به‌دلیل افزایش مقدار نیروی اعمالی به خاک در واحد سطح و کرنش بیشتر ایجاد شده در پروفیل خاک و در نتیجه انتشار تنش بیشتر در خاک بوده است. با افزایش مقدار عمق، انتشار تنش^۱ در عمق خاک دچار کاهش می‌شود و بدین ترتیب تنش‌های اندازه‌گیری شده در عمق ۰/۲ متری کمترین

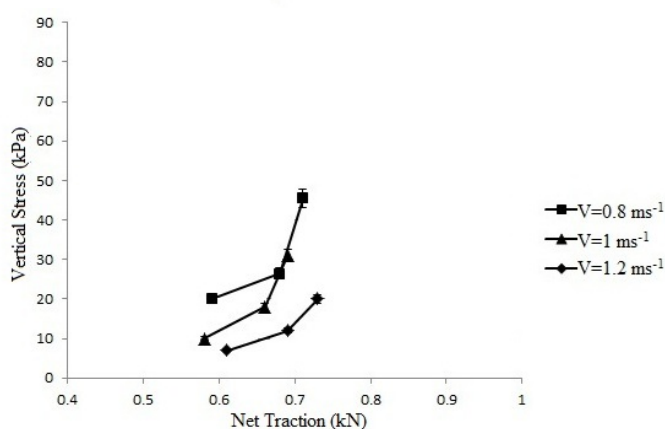


شکل ۴- اثر نیروی کشش بر روی تنش عمودی ایجاد شده در عمق ۰/۱ متری در سرعت‌های مختلف و بارهای (A) ۲ کیلونیوتن، (B) ۳ کیلونیوتن و (C) ۴ کیلونیوتن

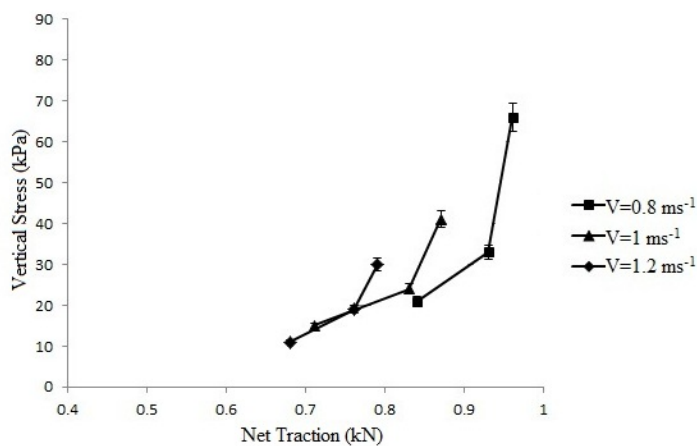
Fig.4. The effect of traction on soil vertical stress in 0.1 m at different velocities and wheel loads of A) 2, B) 3, and C) 4 kN



A)



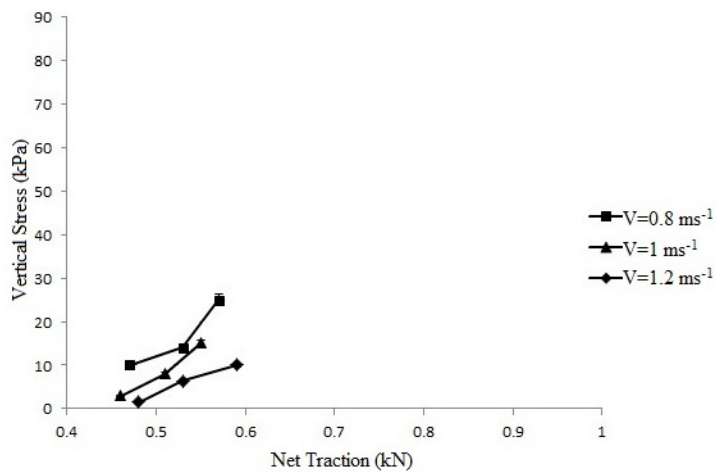
B)



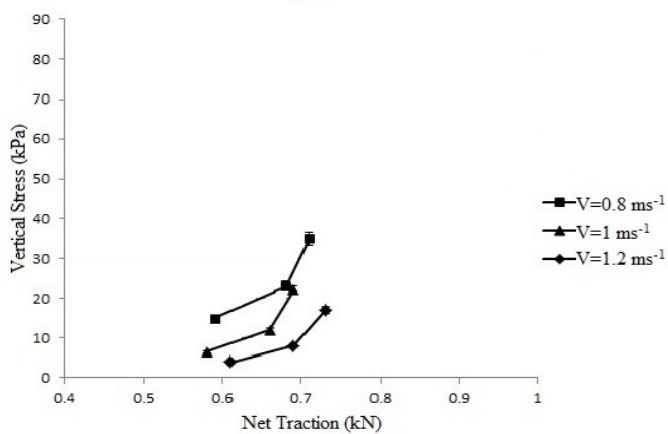
C)

شکل ۵- اثر نیروی کشش بر روی تنش عمودی ایجاد شده در عمق ۰/۱۵ متری در سرعت‌های مختلف و بارهای (A) ۲ کیلونیوتن، (B) ۳ کیلونیوتن و (C) ۴ کیلونیوتن

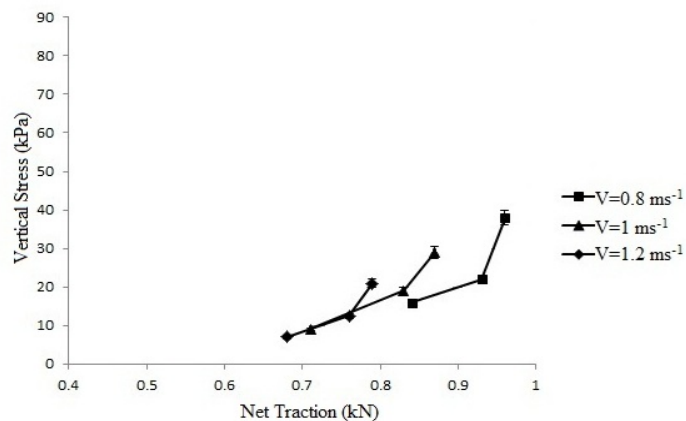
Fig.5. The effect of traction on soil vertical stress in 0.15 m at different velocities and wheel loads of A) 2, B) 3, and C) 4 kN



A)



B)



C)

شکل ۶- اثر نیروی کشش بر روی تنش عمودی ایجاد شده در عمق ۰/۱۵ متری در سرعت‌های مختلف و بارهای (A) ۲ کیلونیوتن، (B) ۳ کیلونیوتن و (C) ۴ کیلونیوتن

Fig.6. The effect of traction on soil vertical stress in 0.2 m at different velocities and wheel loads of A) 2, B) 3, and C) 4 kN

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر اثر کشش خالص چرخ محرک بر روی تنش عمودی ایجاد شده زیر چرخ مورد مطالعه قرار گرفت. بررسی‌های انجام شده در سطح آماری ۱٪ نشان دادند که نیروی کششی باعث افزایش تنش عمودی زیر چرخ می‌گردد و بیشترین تنش عمودی زیر چرخ با مقدار ۷۸ کیلوپاسکال در عمق ۰/۱ متر مربوط به کشش بیشینه‌ی خالص حاصل شده تحت تأثیر بار ۴ کیلونیوتن، لغزش ۱۵ درصد و سرعت ۰/۸ متر بر ثانیه می‌باشد.

(۱) پارامترهای سرعت، بار روی چرخ و لغزش اثر معنی‌داری بر روی تنش عمودی زیر چرخ داشتند که مقدار تنش عمودی با بار روی چرخ و لغزش رابطه‌ای مستقیم و با سرعت پیشروی رابطه‌ای عکس دارد. همچنین مشاهده شد که مقدار تنش با افزایش عمق دچار

کاهش می‌شود.

(۲) پارامترهای لغزش و بار روی چرخ دارای اثر معنی‌داری بر روی نیروی کششی می‌باشند به نحوی که با افزایش پارامترهای مذکور نیروی کششی افزایش می‌یابد. همچنین مشخص شد که سرعت پیشروی در سطح آماری ۱٪ بر روی نیروی کششی تأثیر ندارد.

(۳) تحلیل کوواریانس نیروی کششی و تنش عمودی زیر چرخ علاوه بر تأیید تأثیردار بودن نیروی کششی بر روی تنش عمودی در سطح آماری ۱٪ نشان داد که با افزایش نیروی کشش (به‌عنوان پارامتری مطلوب) تنش عمودی ایجاد شده (به‌عنوان پارامتری نامطلوب) دچار افزایش می‌شود که باید مصالحه‌ای بین این دو پارامتر برقرار گردد.

منابع

1. Arvidsson, J., and T. Keller. 2007. Soil stress as affected by wheel load and tire inflation pressure. *Soil and Tillage Research* 96: 284-291.
2. Coutermarsh, B. 2007. Velocity effect of vehicle rolling resistance in sand. *Journal of Terramechanics* 44 (4): 275-291.
3. Keller, T. 2005. A model for the prediction of the contact area and the distribution of vertical stress below agricultural tyres from readily available tyre parameters. *Biosystems Engineering* 92 (1): 85-96.
4. Keller, T., and M. Lamandé, 2010. Challenges in the development of analytical soil compaction models. *Soil and Tillage Research* 111 (1): 54-64.
5. Mohammadzadeh, H., A. Mardani, and A. Modarres Motlagh. 2013. Investigation of the Effects of Tire Inflation Pressure and Forward Speed of Driven Wheel on Horizontal Impact of Passing Rectangular Obstacle. *Journal of Agricultural Machinery* 3 (2): 114-122. (In Farsi).
6. Nguyen, V. N., T. Matsuo, S. Inaba, and T. Koumoto. 2008. Experimental analysis of vertical soil reaction and soil stress distribution under off-road tires. *Journal of Terramechanics* 45 (1): 25-44.
7. Pytka, J. 2005. Effects of repeated rolling of agricultural tractors on soil stress and deformation state in sand and loess. *Soil and Tillage Research* 82 (1): 77-88.
8. Pytka, J., J. Dąbrowski, M. Zajac, and P. Tarkowski. 2006. Effects of reduced inflation pressure and vehicle loading on off-road traction and soil stress and deformation state. *Journal of Terramechanics* 43 (4): 469-485.
9. Sharifi Malvajerdi, A., M. Younesi Alamouti, and A. Mohsenimanesh. 2013. The Effect of Load and Inflation Pressure of a Stiff-Carcass Tyre on selected Soil Compaction Related Factors. *Journal of Agricultural Machinery* 3 (1): 1-8. (In Farsi).
10. Schjønning, P., and M. Lamandé. 2010. A note on the vertical stresses near the soil-tyre interface. *Soil and Tillage Research* 108 (1): 77-82.

Investigating the effect of tractive parameters on imposed vertical stresses under driving wheel using a soil bin test rig facility

H. Taghavifar^{1*} - A. Mardani²

Received: 17-11-2013

Accepted: 04-01-2014

Introduction: Tire tractive parameters of the driving wheel are of the most substantial factors for the evaluation of the performance of agricultural tractors. Great tractive efficiency has called the attention of vehicle designers to attain economic efficiency owing to the minimization of fuel consumption. At terrain-tire interface, some soil physical-mechanical changes occur that lead to unwanted soil compaction. Of the influential parameters for the creation of soil compaction is the soil stresses formed owing to the wheeled vehicle trafficking. While the increase of tractive efficiency is desired, minimization of soil stresses should also be considered with the same importance to make a trade-off between the aforementioned parameters. There are numerous studies documented in the literature that deal with the measurement of soil stress/strain data due to the wheeled vehicle trafficking and also those works that address the correlation between the soil stress and soil compaction. It is recognized that in order to reduce soil compaction both at topsoil and subsoil levels, the soil stress at the soil-tire interface should be reduced. There are various parameters that affect the tractive efficiency and the soil stress creation such as wheel load, slip, tire inflation pressure, velocity, etc. On the other hand, the wheel is subjected to the torques and forces exerted to the vehicle and the vehicle dynamics are significantly affected by the soil-wheel interactions. Survey of the literature shows that numerous studies have focused on the evaluation of tractive efficiency both in field test and controlled conditions in laboratories with the intention of increasing tractive efficiency. The studies dedicated to the soil mechanical strength are more engaged with the approaches to minimize the soil stress propagation. The present study considers both factors and considers the most influential tire parameters such as wheel, velocity and slip to assess the relationship between traction and the soil vertical stress in a soil profile using a single-wheel tester and a soil bin facility.

Materials and methods: The soil bin in Department of Mechanical Engineering of Urmia University was used in this study. This soil bin is featured 24 m in length, 2 m in width and 1 m in depth including a single-wheel tester and the carriage. A chain system was used for the power transmission from the electromotor to the carriage. The carriage was able to move alongside the soil bin through four ball bearings which also hold the weight of the carriage. The utilized tire in the study was a 220/65R21 driving wheel. One load cell was situated vertically to measure the wheel load and four S-shaped load cells were horizontally situated between the single-wheel tester and the carriage to measure the traction force. An electric motor was used to empower the carriage while another electric motor was used to empower the wheel tester. The difference between the linear velocities of the carriage and the wheel-tester provided the desired levels of slip. A housing including four load cells situated at the distances of 12.5 cm was used to measure the soil vertical stress transmission in the soil profile. The system was buried at the desired depth in the path of wheel traversal. Under the aforesaid treatments, the experiments were undertaken with the purpose of simultaneous measurement of soil stress propagation and traction force and finally the correlation between these parameters.

Results and discussion: The results were analyzed using the statistical analysis at 1% significance level. The results showed that an increase in traction force leads to an increment of vertical soil stress. It was also recognized that the reduction in the velocity leads to the increase in soil stress which is due to the greater contact duration between the soil and the tire. Also, an increase in wheel load results in an increase of soil stress which has a linear correlation with the traction force. Furthermore, it was deduced that the increase in depth leads to a reduction of soil vertical stresses.

Conclusions: The present study is aimed at investigating the effect of net traction force on the imposed vertical stress under the 220/65R21 driving wheel. Hence, velocity at three levels (i.e. 0.8, 1, 1.2 m s⁻¹), wheel load at three levels (i.e. 2, 3, and 4 kN) and slippage at three levels (i.e. 8, 12, and 15%) were considered to obtain traction force and soil vertical stress at three depths of 0.1, 0.15 and 0.2 m. Experiments were carried out in the complete randomized block design with three replicates on clay loam soil at 12% moisture content. The vertical stress was measured using a manufactured soil stress transducer where the net traction was measured using four horizontally installed load cells

1- Ph.D. Candidate, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Urmia University, Iran

2- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Urmia University, Iran

(* - Corresponding Author Email: Hamid.taghavifar@gmail.com)

between the tester rig and the carriage. A correlation was developed between soil stress and traction force. The results revealed that vertical stress increases with respect to increase of wheel load and slippage, whereas vertical stress decreases by increase in depth and velocity. Additionally, it was found that wheel load and slippage bring about increased traction force while velocity has no significant effect on traction force at 1% significance level. Finally, it was deduced that an increase of traction force results in an increase of vertical stress transmission.

Keywords: Driving wheel, Net traction, Slippage, Soil bin, Vertical stress