

## اثر مقدار بار و فشار باد یک لاستیک با گوشت سخت بر برخی عوامل مرتبط با فشردگی خاک اندازه‌گیری شده در مخزن خاک

احمد شریفی مالواجردی<sup>۱\*</sup> - محمد یونسی الموتی<sup>۲</sup> - احمد محسنی منش<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۰/۹/۳۰

تاریخ پذیرش: ۹۱/۴/۲۷

### چکیده

عوامل زیادی در ایجاد فشردگی خاک مؤثر هستند. یکی از این عوامل، واکنش خاک به فشارهای وارده به خاک به وسیله لاستیک و ابزار درگیر با خاک است. در این تحقیق با استفاده از یک لاستیک سخت<sup>۴</sup> تأثیر بار و فشار باد لاستیک بر برخی عوامل مرتبط با فشردگی خاک شامل: عمق و اثر لاستیک، شاخص مخروط و شاخص مقاومت افقی خاک در لایه های مختلف توسط یک حسگر اندازه گیر پروفیل فشردگی خاک<sup>۵</sup> در مخزن خاک<sup>۶</sup> با بافت لوم شنی، اندازه گیری شد. این حسگر شامل هشت عدد لبه های گوه ای شکل (فلپ) مجهز شده به استرین گیج بود که بر روی پیشانی یک شاخه زیرشکن نصب گردیده و عمق کار آن ۴۵ سانتی متر بود. این تحقیق با استفاده از آزمایش فاکتوریل در دو سطح بار لاستیک (۶/۳ کیلو نیوتن و ۲۳/۹ کیلو نیوتن) و سه سطح فشار باد (۳۲۴، ۵۲۴ و ۷۲۴ کیلو پاسکال) و با ۳ تکرار، در قالب طرح کاملاً تصادفی، به اجرا در آمد. با کاربرد حسگر اندازه گیر فشردگی خاک، فشردگی خاک در لایه های مختلف از سطح خاک تا عمق ۴۵ سانتی متری و با فواصل ۵ سانتی متر اندازه گیری شد. نتایج نشان داد فشردگی خاک ناشی از میزان بار عمودی وارد بر لاستیک در لایه های زیرین بیشتر از لایه های سطحی خاک بود. در حالیکه اثر فشار باد لاستیک عکس این موضوع را نشان داد و در عمق های سطحی (در دو سطح بار استفاده شده) بزرگتر از اثر آن در عمق های زیرین خاک بود. با افزایش میزان بار، مقادیر عرض اثر لاستیک، عمق اثر لاستیک و شاخص مخروط افزایش یافت. هم چنین با افزایش مقدار فشار باد، مقدار عرض اثر لاستیک کاهش و عمق اثر لاستیک و شاخص مخروط خاک افزایش یافتند.

**واژه های کلیدی:** بار محوری، حسگر، فشار باد، فشردگی خاک، لاستیک

### مقدمه

(Chancellor, 1975). توزیع فشار در سطح تماس لاستیک و خاک به میزان بار، فشار باد لاستیک، درصد رطوبت و جرم مخصوص ظاهری اولیه خاک بستگی دارد (Mohsenimanesh and Ward, 2007 and 2010; Chancellor, 1975; Sohne, 1958). در همین راستا (Mohsenimanesh and Ward, 2007) توزیع تنش های تماسی بین لاستیک و خاک را در اثر بارها و فشار بادهای مختلف با استفاده از حسگرهای فشاری بررسی نمودند. آنها نتیجه گرفتند که اگر از فشار باد استاندارد استفاده شود فشردگی خاک حداقل خواهد شد. محققین روش های متعددی را برای اندازه گیری تنش عمودی لاستیک بر خاک، با استفاده از روش های مختلف ارائه نموده اند.

(Mohsenimanesh and Ward, 2007 and 2010; Arvidsson and Keller, 2007; Raper *et al.*, 1995; Reaves and Cooper, 1960; Sohne, 1958; Keller and Arvidsson, 2004; Schjønning *et al.*, 2008; Schjønning and Lawanda, 2010)

تردد ماشین های کشاورزی و ادوات سنگین لایه سختی را در زیر قسمت شخم خورده شده ایجاد می کند و با فشردگی ساختن آن موجب افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک می گردد. نتیجه این عمل کاهش نفوذ پذیری خاک، کم شدن توسعه ریشه های گیاه و کاهش عملکرد محصول است. عوامل زیادی در ایجاد فشردگی خاک مؤثر هستند. یکی از عوامل، فشار و تغییر شکل های وارده به خاک به وسیله تراکتورهای چرخ لاستیکی و چرخ زنجیری است

۱، ۲ و ۳- استادیار پژوهش، وزارت جهاد کشاورزی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج، ایران

(\*- نویسنده مسئول: (Email: ahmadsharifi47@yahoo.com

4- Stiff carcass tyre

5- Soil compaction profile sensor

6- Soil bin

سطح تماس لاستیک و عرض خط اثر لاستیک در دو نوع خاک لومی-شنی و لومی-رسی در یک کانال خاک بررسی شد. محققان برای انجام آزمایش‌های خود از یک لاستیک تراکتور کشاورزی نوع رادیال (Goodyear 18.4 R38 Dyna) استفاده نمودند. نتایج نشان داد که با افزایش فشار باد از ۴۱ به ۱۲۴ کیلوپاسکال، عرض اثر لاستیک تا ۸٪ کاهش و با افزایش بار دینامیکی از ۱۳/۱ به ۲۵/۳ کیلو نیوتن، عرض اثر لاستیک تا ۸٪ افزایش می‌یابد. آنها همچنین دریافته‌اند که افزایش باد لاستیک، سطح تماس را به میزان ۱۸٪ کاهش می‌دهد در حالیکه با افزایش بار دینامیکی، سطح تماس تا ۲۸٪ افزایش می‌یابد (Raper et al., 1995). افزایش فشار باد و بار دینامیکی هر دو باعث افزایش سطح توزیع فشار داخلی لاستیک و خاک می‌گردد که در نزدیکی مرکز لاستیک متمرکز شده است (Reaves and Cooper, 1960). تأثیر سه فشار باد لاستیک (۳۰۰، ۴۵۰ و ۶۰۰ کیلو پاسکال) و ۱ و ۵ بار عبور ماشین برداشت و حمل و نقل چوب درختان جنگلی بر عمق اثر لاستیک و فشردگی خاک بررسی شد. نتایج نشان داد، مقادیر فشار باد تأثیر معنی داری بر عمق اثر لاستیک نداشته ولی با افزایش تعداد عبور ماشین این عمق افزایش می‌یابد. هم چنین مقدار شاخص مخروط خاک در عمق یک تا ۱۰ سانتی متر در فشار باد‌های مختلف معنی دار نگردید (Eliasson, 2005; Botta et al., 2009).

کاربرد لاستیک با گوشت سخت در ادوات دنباله بند و حمل و نقل مزرعه ای و ماشین‌های حمل کودهای دامی مایع و جامد می‌باشد. تفاوت این لاستیک با لاستیک‌های رایج کشاورزی در میزان فشار باد، بار، الگوی آج و سختی بالای گوشت لاستیک می‌باشد. این لاستیک در حداکثر فشار باد ۷۹۳ کیلو پاسکال (۱۱۵ پوند بر اینچ مربع) و بار ۵۴/۲ کیلونیوتن (۵۵۳۴ کیلوگرم) قابلیت کار دارد. هدف از تحقیق انجام شده بررسی و تعیین اثر مقدار بار و فشار باد یک لاستیک با گوشت سخت بر عوامل مرتبط با میزان فشردگی خاک شامل عرض و عمق اثر لاستیک، شاخص مخروط خاک و شاخص مقاومت افقی خاک در لایه‌های مختلف است.

## مواد و روش‌ها

به منظور تعیین تأثیر بار و فشار باد یک لاستیک با گوشت سخت بر برخی عوامل مرتبط با فشردگی خاک شامل: عرض و عمق اثر لاستیک، آزمایشی در مخزن خاک دانشکده سلیسو دانشگاه کرانفیلد انگلستان انجام شد. مقادیر شاخص مخروط خاک و نیروی مقاوم افقی خاک در لایه‌های مختلف پس از عبور لاستیک به ترتیب با فروسنج عمودی و یک حسگر اندازه گیر پروفیل فشردگی خاک، اندازه گیری شدند (Sharifi et al., 2007). برای این منظور یک لاستیک سخت رادیال (Michelin) (18R, 22.5XL) (شکل ۱، چپ) در

سوهن (۱۹۵۸) اثر بار محوری لاستیک بر فشردگی خاک را برای چهار اندازه لاستیک در یک فشار باد معین مورد بررسی قرار داد و مشاهده کرد که با افزایش بار محوری، عمق لایه‌های فشرده در نیمرخ خاک افزایش می‌یابد. وی همچنین نتیجه گرفت که فشردگی خاک ناشی از بارهای سنگین محوری (بیشتر از ۱۰ تن بر محور) روی خاک‌های مرطوب می‌تواند تا عمق ۶۰ سانتی متر گسترش یابد. بررسی اثر ترکیبات مختلفی از بار و فشار لاستیک بر فشردگی خاک نشان داد که افزایش فشار باد باعث افزایش معنی داری در جرم مخصوص ظاهری خاک در نزدیکی سطح خاک شده و اثر کمتری در عمق خاک دارد (Smith and Dickson, 1990; Ansoorge and Godwin, 2007 and 2008). در تحقیق دیگری اثر چهار بار ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلونیوتن و سه فشار باد ۱۰۰، ۲۴۰ و ۳۸۰ کیلوپاسکال را بر فشردگی خاک در خاک رسی یک کانال خاک با استفاده از یک لاستیک ترلبرگ<sup>۱</sup> (26.5-600/55) مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاهش فشار باد باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری، مقاومت به نفوذ خاک و عمق خط اثر لاستیک تحت یک بار ثابت می‌گردد. این سه عامل به ویژه جرم مخصوص ظاهری همیشه به طور سازگار کاهش پیدا نمی‌کنند و مشخص شد که بیشتر از فشار باد به بار لاستیک وابستگی دارند. نتایج همچنین نشان داد که هم بار و هم فشار باد لاستیک اثر معنی داری بر جرم مخصوص ظاهری، اندازه خط اثر لاستیک و شاخص مخروط خاک دارند (McDonald et al., 1996).

فشار تماس زمین که غالباً معادل مجموع فشار باد لاستیک و فشار گوشت لاستیک برای تراکتورهای چرخ لاستیکی است (Plackett, 1984)، تأثیر مهمی روی فشردگی سطحی تا عمق تقریبی ۱۵ سانتی متر دارد و با تقسیم بار محور بر کل سطح تماس لاستیک‌ها محاسبه می‌شود. بار محوری یک عامل مهم ایجاد فشردگی عمقی خاک تا عمق تقریبی ۴۰ سانتی متر است. بار محور روی یک تراکتور توسط وزن آن تراکتور تعیین می‌گردد (McPhee, 2004). در تحقیقات دیگری اثر فشار باد لاستیک بر فشردگی خاک بررسی شد. در این بررسی ترکیبات مختلفی از بار و فشار لاستیک را در آزمایش‌ها به کار گرفتند و دریافته‌اند که افزایش فشار باد باعث افزایش معنی داری در جرم مخصوص ظاهری خاک در نزدیکی سطح خاک شده و اثر کمتری در عمق خاک دارد. (Smith and Dickson, 1990; Ansoorge and Godwin, 2007 and 2008). فشار باد ۴۱ و ۱۲۴ کیلو پاسکال و دو بار دینامیکی ۱۳/۱ و ۲۵/۳ کیلو نیوتن را بر تغییر شکل خاک، توزیع فشار داخلی لاستیک و خاک،

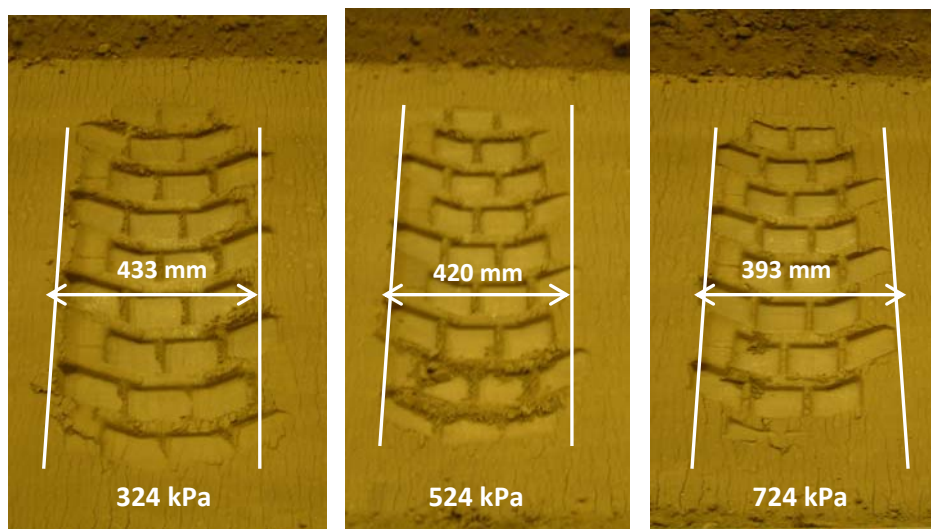
(شکل ۲). آزمایشات از طریق طرح فاکتوریل با دو فاکتور بار لاستیک (در دو سطح) و فشار باد لاستیک (در سه سطح) و با ۳ تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. برای مقایسه میانگین ها، از آزمون دانکن استفاده شد.

حسگر اندازه گیر نیمرخ فشردگی خاک (شکل ۱، راست)، در امتداد طول مخزن خاک کشیده شد و نیروی افقی خاک در نیمرخ خاک زیر خط اثر لاستیک اندازه گیری شد و افزایش تغییرات نیرو با عمق را زیر خط اثر لاستیک نشان داد. این حسگر شامل هشت عدد لبه های گوه ای شکل (فلپ) مجهز شده به استرین گیج بود که بر روی پیشانی یک شاخه زیر شکن نصب گردیده و عمق کار آن ۴۵ سانتی متر بود. (Sharifi et al., 2007)

بارهای ۶/۳ کیلو نیوتن (۶۴۲ کیلوگرم) و ۲۳/۹ کیلو نیوتن (۲۴۴۲ کیلوگرم) و سه فشار باد ۳۲۴ کیلو پاسکال (۴۷ پوند بر اینچ مربع)، ۵۲۴ کیلو پاسکال (۷۶ پوند بر اینچ مربع) و ۷۲۴ کیلو پاسکال (۱۰۵ پوند بر اینچ مربع) بر اساس توصیه کارخانه سازنده در شرایط متفاوت خاک مزرعه ای و جاده ای خاکی انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفت. بار وارد بر لاستیک بوسیله قراردادن وزنه هایی بر روی طرفین شاسی حامل لاستیک تأمین گردید. خاک در رطوبت ۱۰ درصد توسط واحد آماده کننده خاک در یک مخزن خاکی با خاک لومی-شنی و با دو بار عبور غلتک تهیه شد. سپس سه خط اثر لاستیک بطور عرضی در طول مخزن به فواصل مساوی که فشردگی هر کدام بر دیگری اثر نداشته باشد، با سه فشار باد و تحت اثر دو بار ذکر شده فوق ایجاد شد



شکل ۱- حسگر نیمرخ فشردگی خاک (راست) و لاستیک سخت (چپ)  
**Fig.1.** Soil compaction profile sensor (right) and stiff tyre (left)



شکل ۲- نمونه ای از خط اثرهای ایجاد شده توسط لاستیک سخت در سه فشار باد و یک بار ثابت ۶/۳ کیلو نیوتن  
**Fig.2.** Track lines created by stiff tyre at three inflation pressures and load of 6.3 kN

شده. همچنین از دستگاه فرسوخ عمودی (پنترومتر)

برای اندازه گیری عرض و عمق اثر لاستیک از خط کش استفاده

است. اما تأثیر فشار باد لاستیک در عرض اثر لاستیک معنی دار نبوده، در حالیکه این تأثیر در عمق اثر لاستیک در سطح ۱٪ معنی دار است. با تغییر مقدار فشار باد لاستیک در سه مقدار ۳۲۴، ۵۲۴ و ۷۲۴ کیلوپاسکال، اختلافی در عرض اثر لاستیک به وجود نمی آید در حالیکه عمق فشرده شدن خاک در هر سه فشار باد فوق دارای اختلاف معنی دار است. در تحقیق دیگری نتایج مشابهی در خصوص تأثیر تردد های مختلف بر عمق اثر لاستیک بدست آمده است. البته تأثیر متقابل بار و فشار باد لاستیک نیز در عرض اثر لاستیک اختلاف معنی دار نداشت ولی این تأثیر در عمق اثر لاستیک در سطح ۵٪ معنی دار گردید که می توان گفت به همان تأثیر بار ارتباط دارد (Botta et al., 2009). شاخص مخروط در بارها و مقادیر مختلف فشار باد در هر چهار دامنه عمق ذکر شده در سطح ۱٪ دارای اختلاف معنی دار است. بطوریکه این میزان تأثیر تا عمق ۴۰ سانتی متری ملاحظه می گردد. تأثیر متقابل بار و فشار باد بر شاخص مخروط خاک نیز در عمق های ذکر شده در سطح ۵٪ معنی دار است.

(ASAE Standard S3133, 2003) برای اندازه گیری شاخص مخروط خاک تا عمق ۴۰ سانتی متری استفاده گردید. میانگین مقادیر شاخص مخروط خاک در عمق های ۰ تا ۱۰، ۱۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۴۰ سانتی متر محاسبه و در تجزیه و تحلیل در نظر گرفته شد.

## نتایج و بحث

تجزیه واریانس اثر بار و فشار باد لاستیک بر عرض و عمق اثر لاستیک و شاخص مخروط خاک در جدول ۱ ارائه شده است. از عوامل مؤثر و مهم در فشرده گی خاک که توسط یک لاستیک به وجود می آید عرض و عمق اثر لاستیک است. بطوریکه در جدول ۱ ملاحظه می گردد، تأثیر بار عمودی وارده بر لاستیک بر عرض و عمق اثر لاستیک، هر دو در سطح ۱٪ معنی دار است. این بدین خاطر است که مهم ترین عامل ایجاد فشرده گی در خاک وجود بار عمودی وارد بر لاستیک است. نتایج تحقیقات (Keller and Arvidson, 2007; Arvidson and Keller, 2004) هم بیانگر همین موضوع

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر بار و فشار باد لاستیک بر عرض اثر لاستیک، عمق اثر لاستیک و شاخص مخروط خاک

Table 1- Analysis of variance of the effect of load and inflation pressure of tyre on the rut width and depth, and CI

میانگین مربعات (MS)							
شاخص مخروط Cone Index (30-40 cm) (MPa)	شاخص مخروط Cone Index (20-30 cm) (MPa)	شاخص مخروط Cone Index (10-20 cm) (MPa)	شاخص مخروط Cone Index (0-10 cm) (MPa)	عمق اثر لاستیک Rut Depth (mm)	عرض اثر لاستیک Rut Width (mm)	درجه آزادی Degree of Freedom	منابع تغییرات Source of Variations
0.37 **	0.42**	0.43 **	**0.118	839.60**	3355.56**	5	فاکتور
0.70 **	0.80 **	0.95**	0.247**	3362.0 **	13230.22**	1	بار
0.5 **	0.65 **	0.60**	0.170**	**414.50	800.22 ns	2	فشار باد Inflation Pressure
0.00056 ns	0.0033 *	0.0068 ns	0.0017 *	**3.50	973.56 ns	2	بار × فشار باد Load × Inflation Pressure
0.00092	0.00076	0.0033	0.00037	0.50	330.22	12	خطا Error

ns و \*\* و \* به ترتیب عبارتند از: معنی دار در سطح ۵٪، معنی دار در سطح ۱٪، عدم اختلاف معنی دار

افقی در عمق های پایین تر خاک معنی دار نشده است، اما در عمق بالای خاک ۱۰ تا ۲۰ سانتی متر معنی دار شده است. مهمترین عامل در ایجاد فشرده گی در لایه های پایین خاک وجود بار عمودی لاستیک است و فشار باد تنها بر عمق های سطحی تأثیر گذار است که این موضوع با توجه به نتایج بدست آمده و معنی دار شدن تأثیر بار بر نیروی افقی در عمق های پایین تر تأیید می گردد. نتایج کارهای دیگران هم این مطلب را تأیید می نماید. (Arvidson and Keller, 2007; Mohsenimansh and Ward, 2007)

جدول ۲ تجزیه واریانس اثر مقادیر بار و فشار باد لاستیک بر نیروی افقی را نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می گردد تأثیر بار در عمق صفر تا ده سانتی متر معنی دار نبوده در حالیکه این تأثیر در عمق ده تا سی سانتی متر و در سطح ۱٪ معنی دار و در عمق سی تا چهل سانتی متر در سطح ۵٪ معنی دار گردیده است. بطور کلی تأثیر بار از عمق ۱۰ تا ۴۰ سانتی متری بر نیروی افقی لایه های مختلف خاک معنی دار بوده که در عمق های ۱۰ تا ۳۰ سانتی متر تأثیر آن بیشتر از عمق ۳۰ تا ۴۰ سانتی متری است. تأثیر فشار باد بر نیروی

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر مقادیر بار و فشار باد لاستیک بر نیروی افقی

Table 2- Analysis of variance of the effect of tyre load and inflation pressure on the horizontal force

میانگین مربعات (MS)				درجه آزادی Degree of Freedom	منابع تغییرات Source of Variations
نیروی افقی Horizontal Force (30-40 cm) (N)	نیروی افقی Horizontal Force (20-30 cm) (N)	نیروی افقی Horizontal Force (10-20 cm) (N)	نیروی افقی Horizontal Force (0-10 cm) (N)		
2151.6 ns	1299.8*	598.8*	19.8 ns	5	فاکتور
10278.4*	6223.6**	1980.7**	33.4 ns	1	بار
88.5 ns	860.1 ns	297.1*	24.0 ns	2	فشار باد Inflation Pressure
151.3 ns	45.2 ns	209.6 ns	8.6 ns	2	بار × فشار باد Load × Inflation Pressure
1468/1	393/9	76/2	9/1	12	خطا Error

ns و \*\* و \*\*\* به ترتیب عبارتند از: معنی دار در سطح 5٪، معنی دار در سطح 1٪، عدم اختلاف معنی دار

نگرفته اند و دارای اختلاف معنی دار هستند. مقدار عمق اثر لاستیک با افزایش میزان بار و فشار باد، افزایش پیدا کرده است. این حالت نیز برای شاخص مخروط خاک برای کلیه بارهای وارد به لاستیک و فشار بادهای مختلف صادق بوده و میانگینهای آن دارای اختلاف معنی دار هستند. بطوریکه مقدار شاخص مخروط خاک با افزایش بار و فشار باد لاستیک افزایش یافته است. Eliason (2005) نیز تنها نتیجه گرفت که در عمق صفر تا ده سانتی متری خاک مقادیر شاخص مخروط خاک معنی دار نگردید. این عدم اختلاف معنی دار می تواند بدلیل وجود بار محوری و تأثیر کمتر آن در عمق های سطحی خاک نسبت به پایینی خاک بوده که در نتیجه باعث شده است مقادیر شاخص مخروط خاک که بیانگر مقاومت مکانیکی خاک است معنی دار نگردد.

جدول ۳ تأثیر میزان بار و فشار باد لاستیک بر میانگین مقادیر عرض و عمق اثر لاستیک و شاخص مخروط خاک در عمق های مختلف را نشان می دهد. همانگونه که ملاحظه می گردد، عرض اثر لاستیک در دو بار عمودی ۶/۴ و ۲۳/۹ کیلونیوتن در یک گروه معنی داری قرار نگرفته و این در حالی است که در فشار بادهای ۳۲۴ و ۵۲۴ کیلو پاسکال، این مقدار عرض اثر لاستیک در گروه معنی داری قرار گرفته است و اختلاف معنی داری پیدا نکرده اند. با افزایش مقدار بار، عرض اثر لاستیک افزایش و با افزایش میزان فشار باد این مقدار کاهش یافته است. میانگین عمق اثر لاستیک در دو نوع بار دارای اختلاف معنی دار و در دو گروه مختلف a و b قرار دارند. در صورتیکه سه نوع فشار باد لاستیک نیز در یک گروه معنی دار قرار

جدول ۳- مقایسه میانگین مقادیر عرض و عمق اثر لاستیک و شاخص مخروط خاک در عمق های مختلف در میزان بار و فشار باد های مختلف لاستیک

Table 3- Mean comparison of rut width, rut depth and cone index at different depths at different tyre loads and infation pressures

شاخص مخروط Cone Index (30-40 cm) (MPa)	شاخص مخروط Cone Index (20-30 cm) (MPa)	شاخص مخروط Cone Index (10-20 cm) (MPa)	شاخص مخروط Cone Index (0-10 cm) (MPa)	عمق اثر لاستیک Rut Depth (mm)	عرض اثر لاستیک Rut Width (mm)	عامل آزمایش Experiment Factor
2.38 <sup>b</sup>	2.66 <sup>b</sup>	2.51 <sup>b</sup>	1.31 <sup>b</sup>	32 <sup>b</sup>	393 <sup>b</sup>	میزان بار
2.78 <sup>a</sup>	3.08 <sup>a</sup>	2.98 <sup>a</sup>	1.52 <sup>a</sup>	59 <sup>a</sup>	448 <sup>a</sup>	Load (kN)
2.25 <sup>c</sup>	2.51 <sup>c</sup>	2.40 <sup>b</sup>	1.25 <sup>c</sup>	38 <sup>c</sup>	431 <sup>a</sup>	فشار باد
2.64 <sup>b</sup>	2.94 <sup>b</sup>	2.84 <sup>c</sup>	1.46 <sup>b</sup>	45 <sup>b</sup>	422 <sup>a</sup>	524
2.85 <sup>a</sup>	3.15 <sup>a</sup>	3.00 <sup>a</sup>	1.59 <sup>a</sup>	55 <sup>a</sup>	408 <sup>a</sup>	724 Inflation Pressure (kPa)

برای هر عامل آزمایش، میانگینها در هر ستون با حروف انگلیسی مشابه، با هم اختلاف معنی داری ندارند.

مختلف خاک در میزان بار و فشار بادهای مختلف لاستیک را نشان

جدول ۴ مقایسه میانگین مقادیر نیروی افقی در عمق های

بیشترین تأثیر را در فشردگی خاک در لایه‌های زیرین نسبت به لایه‌های سطحی خاک دارد. در صورتیکه مقدار فشار باد در عمق ۱۰ تا ۲۰ سانتی متر بیشترین تأثیر را گذاشته است و در دیگر لایه‌های خاک تأثیر معنی داری نداشته است. برخی از تحقیقات انجام شده نیز مبین همین مطلب می‌باشند (Keller and Arvidson, 2004; Raper *et al.*, 1995; Reaves and Cooper, 1960)

می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌گردد، تأثیر میزان بار در عمق صفر تا ۱۰ سانتی متر معنی دار نبوده ولی در عمق‌های ۱۰ تا ۴۰ سانتی متر، اختلاف معنی دار شده است. به هر حال در لایه‌های پایین خاک اثر بار لاستیک چشمگیرتر از اثر فشار باد لاستیک است و این در حالی است که اثر فشار باد لاستیک در لایه‌های سطحی خاک مشهود می‌باشد. این موضوع نیز مورد انتظار بود که میزان بار

**جدول ۴- مقایسه میانگین مقادیر نیروی افقی در عمق‌های مختلف خاک در میزان بار و فشار باد‌های مختلف لاستیک**

**Table 4-** Mean comparison of horizontal force values at different tyre load and inflation pressures

نیروی افقی Horizontal Force (30-40 cm) (N)	نیروی افقی Horizontal Force (20-30 cm) (N)	نیروی افقی Horizontal Force (10-20 cm) (N)	نیروی افقی Horizontal Force (0-10 cm) (N)	عامل آزمایش Experiment Factor
347.1 <sup>b</sup>	233.5 <sup>b</sup>	67.4 <sup>b</sup>	14.8 <sup>a</sup>	میزان بار Load (کیلو نیوتن)
394.9 <sup>a</sup>	270.7 <sup>a</sup>	88.3 <sup>a</sup>	17.5 <sup>a</sup>	23.9
<sup>a</sup> 367.0	248.5 <sup>a</sup>	70.9 <sup>b</sup>	14.9 <sup>a</sup>	324
371.5 <sup>a</sup>	251.8 <sup>a</sup>	77.7 <sup>ab</sup>	15.0 <sup>a</sup>	524
374.6 <sup>a</sup>	256.0 <sup>a</sup>	85 <sup>a</sup>	18.4 <sup>a</sup>	724
				Inflation Pressure (کیلو پاسکال)

برای هر عامل آزمایش، میانگین‌ها با حروف انگلیسی مشابه، با هم اختلاف معنی‌داری ندارند.

بزرگتر از اثر آن در عمق‌های ۱۰-۴۰ سانتی متر به ویژه در حالت بار ۲۳/۹ کیلونیوتن و فشار باد ۷۲۴ کیلو پاسکال است. این نتیجه مشابه نتایج تحقیقات دیگران است (Chancellor, 1975; Sohne, 1958; Mohsenomanesh, 2007 and 2010) که دلیل آن وجود تمرکز تنش در لایه‌های سطحی خاک زیر لاستیک است که بیش از مقدار آن در لایه‌های پایین تر می‌باشد.

در جدول ۵ ملاحظه می‌گردد که اثر متقابل بار و فشار باد لاستیک، تنها تأثیر معنی دار خود را در عمق اثر لاستیک و شاخص مخروط خاک نشان داده است. در جدول ۶ تأثیر متقابل بار و فشار باد بر مقدار نیروی افقی لازم برای تغییر شکل خاک فقط در بار ۲۳/۹ کیلو نیوتن و در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متری خاک قابل رؤیت است. این تفاوت بین فشار بادهای ۳۲۴ و ۷۲۴ کیلو پاسکال بخوبی مشخص است. بطور کلی اثر بار و فشار باد بر نیمرخ خاک در عمق‌های ۱۰-۰ سانتی متر، نزدیک سطح خاک و زیر لاستیک،

**جدول ۵- مقایسه اثر متقابل بار و فشار باد بر میانگین مقادیر عرض و عمق اثر لاستیک و شاخص مخروط خاک در اعماق مختلف**

**Table 5-** Comparison of interaction effects of load and inflation pressure on the mean of rut width, rut depth and CI at different depths of soil

شاخص مخروط شاخص مخروط شاخص مخروط شاخص مخروط				عرض اثر لاستیک عمق اثر لاستیک		نوع تیمار Treatment	میزان بار
Cone Index (30-40 cm) (MPa)	Cone Index (20-30 cm) (MPa)	Cone Index (10-20 cm) (MPa)	Cone Index (0-10 cm) (MPa)	Rut Depth (mm)	Rut Width (mm)	فشار باد Inflation Pressure (kPa)	Load (kN)
2.04 <sup>c</sup>	2.28 <sup>c</sup>	2.20 <sup>c</sup>	1.14 <sup>c</sup>	<sup>c</sup> 25	413 <sup>a</sup>	324	6.4
2.45 <sup>b</sup>	2.75 <sup>b</sup>	2.61 <sup>b</sup>	1.36 <sup>b</sup>	31 <sup>b</sup>	400 <sup>a</sup>	524	
2.64 <sup>a</sup>	2.95 <sup>a</sup>	2.74 <sup>a</sup>	1.45 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40	367 <sup>a</sup>	724	
2.45 <sup>c</sup>	2.74 <sup>c</sup>	2.60 <sup>a</sup>	1.37 <sup>c</sup>	51 <sup>c</sup>	449 <sup>a</sup>	324	23.9
2.82 <sup>b</sup>	3.13 <sup>b</sup>	3.06 <sup>c</sup>	1.56 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 58	443 <sup>a</sup>	524	
3.05 <sup>a</sup>	3.37 <sup>a</sup>	3.27 <sup>b</sup>	1.72 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 69	450 <sup>a</sup>	724	

اعداد با حروف انگلیسی مشابه در هر ستون، با هم اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۶- مقایسه اثرات متقابل بار و فشار باد بر میانگین مقادیر نیروی افقی وارد بر خاک در اعماق مختلف

Table 6- Comparison of interaction effects of load and inflation pressure on the mean of horizontal force values at different depths of soil

نیروی افقی Horizontal Force (30-40 cm) (N)	نیروی افقی Horizontal Force (20-30 cm) (N)	نیروی افقی Horizontal Force (10-20 cm) (N)	نیروی افقی Horizontal Force (0-10 cm) (N)	نوع تیمار Treatment	
				فشار باد Inflation Pressure (kPa)	میزان بار Load (kN)
344.4 <sup>a</sup>	228.2 <sup>a</sup>	63.0 <sup>a</sup>	12.5 <sup>a</sup>	324	6.4
348.1 <sup>a</sup>	231.6 <sup>a</sup>	67.7 <sup>a</sup>	14.9 <sup>a</sup>	524	
348.9 <sup>a</sup>	240.6 <sup>a</sup>	71.3 <sup>a</sup>	16.9 <sup>a</sup>	724	23.9
401.1 <sup>a</sup>	268.7 <sup>a</sup>	78.8 <sup>b</sup>	17.4 <sup>a</sup>	324	
385.1 <sup>a</sup>	271.5 <sup>a</sup>	84 <sup>ab</sup>	15.1 <sup>a</sup>	524	
398.5 <sup>a</sup>	271.9 <sup>a</sup>	102.2 <sup>a</sup>	20.0 <sup>a</sup>	724	

اعداد با حروف انگلیسی مشابه در هر ستون ، با هم اختلاف معنی داری ندارند .

بزرگتر از اثر آن در عمق‌های پایینی خاک بود. بین سه فشار باد ۳۲۴، ۵۲۴ و ۷۲۴ کیلو پاسکال در بارهای عمودی ۶/۳ و ۲۳/۹ کیلونیوتن هنگام استفاده از لاستیک سخت در عمق‌های سطحی تفاوت معنی داری وجود داشت. با افزایش میزان بار، مقادیر عرض اثر لاستیک، عمق اثر لاستیک و شاخص مخروط هر سه افزایش داشتند. هم چنین با افزایش مقدار فشار باد، مقدار عرض اثر لاستیک کاهش و عمق اثر لاستیک و شاخص مخروط خاک افزایش یافتند. بطور کلی می توان گفت که فشردگی خاک حاصل از بارها و فشار بادهای مختلف در این لاستیک توسط شاخص مخروط بخوبی تشخیص داده شد.

### نتیجه گیری

اثر بار و فشار باد یک لاستیک سخت رادیال (18R, 22.5XL, 20PR) بر فشردگی یک خاک لومی- شنی در مخزن خاک در دو بار عمودی و سه فشار باد لاستیک بررسی گردید. نتایج نشان داد که میزان بار بیشترین تاثیر را در فشردگی خاک در لایه های زیرین نسبت به لایه های سطحی خاک دارد. در صورتیکه اثر فشار باد لاستیک در عمق‌های سطحی در بارهای ۶/۳ و ۲۳/۹ کیلونیوتن

### منابع

1. Ansorge, D., and R. J. Godwin. 2007. The effect of tyres and a rubber track at high taxle loads on soil compaction, part 1: Single axle-studies. Biosystems Engineering, 98 (1): 115-126.
2. Ansorge, D., and R. J. Godwin. 2008. The effect of tyres and a rubber track at high axle loads on soil compaction, part 1: Multi axle machine studies. Biosystems Engineering, 99 (3): 338-347.
3. Arvidson, A., and T. Keller. 2007. Soil stress as affected by wheel load and tyre inflation pressure. Soil and Tillage Research, 96: 284-291.
4. Botta, G. F., A. Tolon Becerra., and F. Bellora Tourn. 2009. Effect of the number of tractor passes on soil rut depth and compaction in two tillage regimes. Soil and Tillage Research, 103: 381-386.
5. ASAE Standard S3133. 2003. Soil cone penetrometer, Revised Feb 04, St. Joseph, MI: ASAE.
6. Chancellor, W. J. 1975. Compaction of soil by agricultural equipment. University of California, 53 p.
7. Eliasson, L. 2005. Effect of forwarder tyre pressure on rut formation and soil compaction. Silva Fennica, 39 (4): 549-557.
8. Keller, T., and J. Arvidsson. 2004. Technical solution to reduce the risk of subsoil compaction: effects of dual wheels, tandem wheels and tyre inflation pressure on stress propagation in soil. Soil and Tillage Research, 79 (2): 191-205.
9. McDonald, T., T. Way., B. Lofgren, and F. Seixas. 1996. Load and inflation pressure effects on soil compaction of forwarder tires. In: Proceedings of the Joint Conference of Canadian Woodlands Forum, Canadian Pulp and Paper Association and International Union of Forest Research Organizations. Quebec City, 6-8 September. 67-70.
10. McPhee, J. 2004. Soil compaction. Available from:

- <http://www.dpiwe.tas.gov.au/inter.nsf/WebPages/TTAR-5DSVB7?open>. Accessed 20 July 2009.
11. Mohsenimanesh, A., and S. M. Ward. 2007. On-the-move monitoring of soil-tire interaction on soft soil using wireless data acquisition. *Transaction of the ASAE* 50 (6): 1919-1925.
  12. Mohsenimanesh, A., and S. M. Ward. 2010. Estimation of a three-dimensional tyre footprint using dynamic soil–tyre contact pressures. *Journal of Terramechanics* 47: 415-421.
  13. Plackett, C. W. 1984. The ground pressure of some agricultural tyres at low load and with zero sinkage. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 29: 159-166.
  14. Raper, R. L., A. C. Bailey, E. C. Burt, T. R. Way, and P. Liberati. 1995. Inflation pressure and dynamic load effects on soil deformation and soil-tire interface stresses. *Transactions of the ASAE*, 38 (3): 685-689.
  15. Reaves, C. A. and A. W. Cooper. 1960. Stress distribution in soils under tractor loads. *Agricultural Engineering*, 41 (31): 20-21.
  16. Sharifi, A., R. J. Godwin, M. J. O'Dogherty, and M. L. Dresser. 2007. Evaluating the performance of a soil compaction sensor. *Soil Use and Management* 23: 171-177.
  17. Schjønning, P. M. Lamande., F. A. Tøgersen, J. Arvidsson., and T. Keller. 2008. Modeling effects of tyre inflation pressure on the stress distribution near the soil-tyre interface. *Biosystems Engineering*, 99 (1): 119-133.
  18. Schjønning, P. and M. Lamande. 2010. A note on the vertical stresses near the soil-tyre interface. *Soil and Tillage Research*, 108 (1-2): 77-82.
  19. Smith, D. L. O., and J. W. Dickson. 1990. Contribution of vehicle and ground pressure to soil compaction. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 46: 13-29.
  20. Sohne, W. H. 1958. Fundamental of pressure distribution and soil compaction under tractor tires. *Agricultural Engineering*, 39: 276-281.