نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹٤ - کرج

بررسی اثر تعداد عبور چرخ بر نیروی کششی و تراکم خاک

پرویز تومرایی[۱]، عارف مردانی[۲*] ، آرش محبی[۲] و فرناز زهی سعادت[۳]

۱، ۲و ۳ به ترتیب دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی پردیس دانشگاه ارومیه، استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه ارومیه و دانش آموخته مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه ارومیه

ایمیل مکاتبه کننده: a.mardani@urmia.ac.ir

چکیده

در این تحقیق به بررسی تاثیر دفعات عبور یک چرخ محرک بر پارامترهای کششی و همچنین شرایط مکانیکی خاک در محیط سویل بین پرداخته شده است. تراکم ناشی از تردد چرخهای ماشینهای کشاورزی امروزه در قالب یک محدودیت کاربرد ماشین در مزارع رخ نشان داده است و مدیریت آن ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق با اعمال سطوح مختلف بار دینامیکی روی چرخ و در سرعت های پیشروی مختلف تاثیر تعداد دفعات عبور چرخ بر مشخصات سختی خاک تاثیر افزایشی با روند نسبتا خطی مشاهده شده است. افزایش ظرفیتهای زمین گیرایی و ضریب کشش ناخالص در اثنای افزایش تردد نیز در آزمایشات انجام شده مشاهده گردید.

واژه های کلیدی: چرخ، تردد، کشش، تراکم خاک، سویل بین.

مقدمه

چرخ, نشانه مشهوری از تولد صنعت و شکل‌گیری تمدن بشر است, به‌گونه‌ایی که اختراع چرخ, به عنوان استعاره‌ایی درخور, برای آغاز ورود جدی فناوری به جای‌جای گستره زندگی در جوامع انسانی به‌کار می‌رود. اصطلاح ماشین, با وجود اطلاق عمومی آن به بیشتر بخشهای صنعت, واژه‌ای است که ذهن شنونده را در نخستین قدم, به سمت و سوی وسائط نقلیه و ساخته‌های سیار دست بشر می‌کشاند و این در حالی است که حرکت, به عنوان مهمترین مشخصه‌ی این سازه های صنعتی, به واسطه عواملی صورت می‌پذیرد که عمده‌ترین آنها چرخ است. یک چرخ ممکن است تنها وظیفه تحمل بخشی از وزن یک ماشین را بر دوش داشته باشد و یا اینکه علاوه بر این وظیفه, تامین کشش و راه‌اندازی ماشین

را هم برعهده داشته باشد. عوامل موثر بر عملکرد یک چرخ, سالها پس از ساخته شدن چرخ‌های نخستین مورد توجه قرار گرفته است و شاید در آغاز, صرفا گرد بودن و استحکام کافی داشتن برای یک چرخ کافی بوده باشد اما امروزه طراحی و به‌کارگیری چرخ‌ها با وسواس قابل ملاحظه‌ایی دنبال می‌شود. عملکرد یک چرخ, طی فرایند درگیری با زمین, علاوه بر شرایط بارگذاری و چگونگی سطح زیرین چرخ, تحت تاثیر هندسه و ساختار فیزیکی چرخ هم قرار دارد. مطالعه پارامترهای موثر بر عملکرد چرخ, بیشتر در ارتباط با بهینه سازی مصرف انرژی است.

تحقیقات متعددی در دنیا در خصوص مکانیک زمین‌گیرایی و عوامل موثر بر آن انجام گرفته و مدل‌های پیش‌بینی چندی تدوین شده است. مهم‌ترین نیرو در دستگاههای کشنده نظیر تراکتور، نیروی کششی یا مالبندی آنهاست. نیروی کششی که توسط یک تراکتور به‌وجود می‌آید نتیجه برهم کنش بین خاک و تایر آن تراکتور است. توان کششی حاصلضرب نیروی مالبندی در سرعت پیشروی تراکتور می‌باشد. در دستگاههای کشنده برون جاده‌ای به دلایل مختلف، سرعت پیشروی محدود است. بنابراین برای دستیابی به توان کششی بالا و انجام کار هایی نظیر شخم که به نیروی مالبندی بالا نیاز دارند، باید نیروی زمین گیرایی را افزایش داد. در اثر اعمال و افزایش این نیرو توسط تایر بر خاک تغییر فرم برشی درخاک یا به بیان دیگر لغزش افزایش می یابد که حاصل آن کاهش میزان پیشروی است که از مهمترین عوامل محدود کننده ایجاد این نیرو می‌باشد زیرا با افزایش لغزش از میزان بهینه بازده زمین گیرایی کاهش می‌یابد.

علیرغم تحقیقات و کارهای زیادی که تاکنون در زمینه عملکرد زمین‌گیرایی صورت گرفته، هنوز روابط و مدلهای دقیقی که بتواند به طور عمومی مقادیرعمکرد زمین‌گیرایی را برای تمام وسایل زمین‌گیرا در اندازه ها و شرایط مختلف پیش‌بینی نماید ارائه نشده است. به طور کلی غالب مدلهای کشش براساس تعریف مشترکی از ضریب کشش خالص پایه گذاری شده است که عبارتند از نسبت کشش تولیدی چرخ محرک به بار روی چرخ.

ورود ماشین به مزرعه همواره مشکلاتی را پدید می‌آورد به طوری که تراکم خاک مهم ترین موضوعی است که در نگاه اول به نظر می‌رسد.

به هر حال برای کارهای کشاورزی به ناچار مجبوریم که ادوات و ماشین‌های کشاورزی را وارد مزرعه کنیم, اما این که برای ایجاد کشش بهتر است که سطح کمی از مزرعه تحت عبور وسیله نقلیه باشد و از آن مسیر چندین بار عبور صورت پذیرد یا اینکه از سطح بیشتری از مزرعه فقط یکبار عبور صورت پذیرد. برای محاسبه چگالی خاک بعد از عبورهای متعدد چرخ یا زنجیر, Lyasko فرمول(۱) را پیشنهاد کرد:

$$\gamma_N = \gamma_0 + \alpha * U_N \qquad (1)$$

تردد روی مقاومت غلتشی وسیله نقلیه تاثیر می‌گذارد, Letoshnev(1929) معادلات تجربی (۲) و (۳) را برای مقاومت غلتشی دو چرخ صلب پشت سر هم پیشنهاد کرد:

این محقق همچنین رابطه (٤) را برای مقاومت غلتشی چرخ های پشت سر هم پیشنهاد کرد

$$MR = \left(\frac{2}{3\sqrt{B * K}}\right) * \left[\left(\frac{2 * W_1}{\pi * D_1^{0.5}}\right) + \sqrt{\left(\frac{4 * W_1^2}{\pi^2 * D_1}\right) + \left(\frac{W_2^2}{D_2}\right)}\right]^{1.5} \quad (1)$$

که اگر شرایط مقابل برقرار باشد فرمول (٤) بصورت فرمول (٥) در خواهد آمد :

$$D_1 = D_2 = D \qquad W_1 = W_2 = W$$

$$MR = 1.64 * \left(\frac{W^{1.5}}{(B * K)^{0.5} * D^{0.75}}\right) \quad (2)$$

Garbari(1949) فرمولهای (٦) و (٧) و (٨) را برای یک حرکت متوالی که در این حرکت سه چرخ صلب یکسان پشت سر هم از یک مسیر عبور می‌کنند ارائه کرد

$$MR_1 = \frac{K * B * Z^2}{2} \quad (3)$$

$$MR_2 = 1.7 * \left(\frac{K * B * Z^2}{2}\right) \quad (4)$$

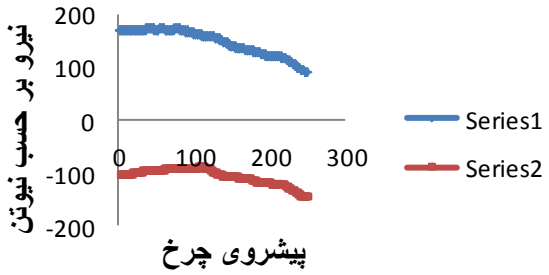
مواد و روشها

آزمایشات مربوط به بررسی اثر تردد چرخ با استفاده از آزمونگر تک چرخ و مجموعه سویل بین گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه ارومیه ب انجام رسیده است. شکل ۱ نمایی از آزمونگر چرخ مورد نظر را نشان داده است.

شکل۱-حامل سویل بین و آزمونگر تک چرخ مورد استفاده به همراه سیستم تحصیل داده

شکل ۲ -تکرار تردد چرخ در سویل بین

در آزمونگر تک‌چرخ محرک برای اندازه‌گیری پارامترهای کششی، چهار عدد لودسل به طور افقی به بازوهای اتصال چرخ متصل شد. با توجه به هم‌فاز بودن نیروها در لودسل‌های بازوهای بالایی و همچنین پایینی، دو لودسل بالایی(لودسلهای فشاری) به یک نمایشگر دیجیتال و دو لودسل پایینی(لودسلهای کششی) به یک نمایشگر دیجیتال متصل شد. مجموع نیروهای لودسل‌های افقی معادل نیروی کششی چرخ می‌باشد. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می-شود، بازوهای بالایی و پایینی تغییرات نیروی مشابهی دارند و با وجود اندکی اختلاف روند تغییرات نیروها در بازوهای بالایی و پایینی مشابه هم می‌باشد. تنظیمات لودسل ها به گونه ای بوده است که نیروی فشاری را به صورت منفی و نیروی کششی را به صورت مثبت نمایش داده اند. با توجه به این موضوع و نحوه اتصال بازوها به قاب دربرگیرنده چرخ، بر اثر بار روی چرخ و راه اندازی چرخ به صورت کشیده شدن یا هل داده شدن، بازوهای بالایی و پایینی ممکن است تحت تأثیر کشش یا فشار قرار گرفته باشند. شکل ۳ مربوط به تغییرات نیروی چهار بازوی افقی در یکی از آزمایش‌ها می‌باشد.



شکل۳ تغییرات نیرو در لودسل‌های چهارگانه و هماهنگی دوبه‌دوی لودسل‌های بالا و پایین

نتیجه گیری

آزمایشات در سه سطح سرعت (V) ، چهار سطح لغزش (i) ، دو سطح بار عمودی (W) ، چهار سطح شاخص مخروطی (CI) و چهار سطح تردد (m) انجام گرفتند. سرعت پیشروی توسط پانل اینورتر با توجه به سرعت مورد نیاز تنظیم گردید. لغزش مورد نظر از اختلاف سرعت تئوری چرخ آزمونگر و سرعت پیشروی واقعی به دست آمد. بار عمودی تایر هم با استفاده از پیچ قدرت روی چرخ تنظیم شد. البته باید به این نکته اشاره کرد که تغییرات بار عمودی متغیر بوده است. شاخص مخروطی با استفاده از پنترومتر مخروطی اندازه‌گیری شد. در جدول۱ سطوح مختلف سرعت، بار دینامیکی، لغزش، سختی خاک و تردد نشان داده شده است.

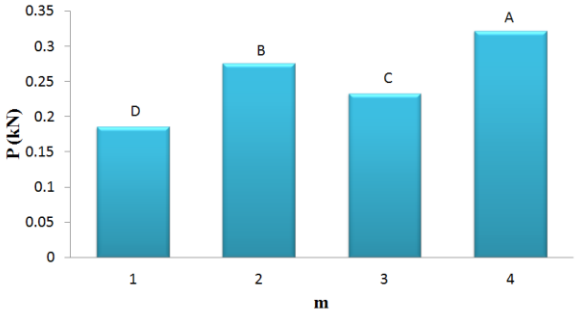
جدول۱- سطوح مختلف سرعت، بار دینامیکی، لغزش، سختی خاک و تردد

V (m/s)	۰/۳	۰/۵	۰/۷	-
W (kN)	۳/۷	٤/۷	-	-
i	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲۰
Ci (kPa)	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳	سطح ٤
m	۱ بار عبور	۲ بار عبور	۳ بار عبور	٤ بار عبور

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر تردد بر نیروی کششی، ضریب کشش، نقطه اثر نیروی وارده بر تایر و شاخص مخروطی

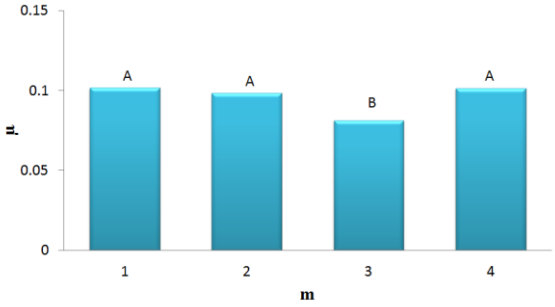
	m=1	m=2	m=3	m=4
P	۰/۱۸۵۲۳^{D}	۰/۲۷۵۹^{B}	۰/۲۳۲۹٤^{C}	۰/۳۲۱۹^{A}
μ	۰/۱۰۱۵۵۷^{A}	۰/۰۹۸۲۸^{A}	۰/۰۸۱۲۸۹^{B}	۰/۱۰۱۳٤٥^{A}
e	۰/۰۹۹۵۲۸^{C}	۰/۱۱٤۹۳٥^{B}	۰/۱۲۳۱٤۸^{A,B}	۰/۱۳۲۸٤٥^{A}
CI	۲/٤۷٦۹۲^{D}	۳/۱۹۰٤۸^{C}	۳/٥۷۸۱۳^{B}	۳/۸۰٦٤٥^{A}

نتایج مقایسه میانگین اثر تردد بر نیروی کششی، ضریب کشش، نقطه اثر نیروی وارده بر تایر و شاخص مخروطی در جدول ۲ ارائه شده است، در ادامه به شرح کامل پرداخته می‌شود. همان‌طور که نمودار ٤ نشان می‌دهد با افزایش تعداد تردد مقادیر نیروی کششی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. افزایش تعداد تردد در سطح احتمال ۱٪ دارای اختلاف معنی‌داری بر نیروی کششی آزمونگر تک‌چرخ محرک می‌باشد. افزایش تعداد عبور آزمونگر تک‌چرخ محرک باعث بهبود زمین‌گیرایی چرخ و همچنین کشش می‌گردد. این نتایج با نتایج هولم (۱۹۹۳) و برت (۱۹۸۰) مطابقت دارد.



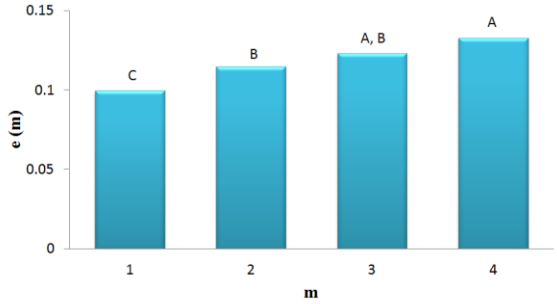
شکل٤ -نتایج اثر تردد بر نیروی کششی

همانگونه که در شکل ٥ملاحظه می‌شود، تردد تاثیر معنی‌داری در سطوح ۱ و ۲ و ٤ بر ضریب کشش ندارد و فقط در سطح ۳ تأثیر معنی‌داری بر ضریب کشش دارد.



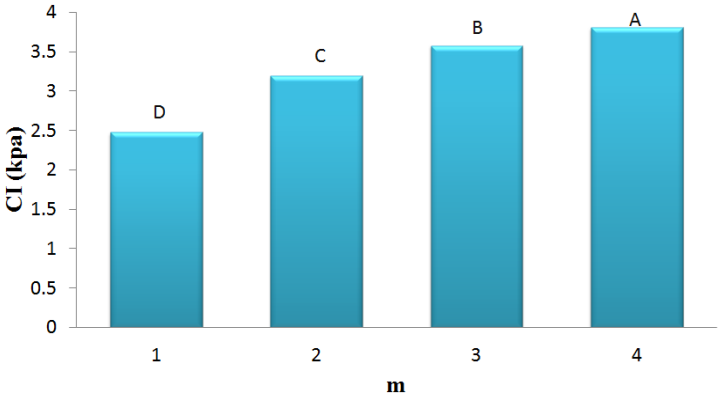
شکل٥ -نتایج اثر تردد بر ضریب کشش

با افزایش تردد، خاک زیرین تایر فشرده‌تر شده و در نتیجه محل نقطه اثر نیروها بزرگتر می‌شود. همانگونه که در شکل٦ ملاحظه می‌شود تردد تأثیر معنی‌داری بر محل نقطه اثر نیروها دارد.



شکل٦ -نتایج اثر تردد برنقطه اثر نیروها

مقایسه میانگین بین ترددهای مختلف برروی شاخص مخروطی خاک در سطح ۱٪ معنی‌دار بوده است. واضح است که یکی از مشکلات موجود در زمینه کشاورزی مکانیزه تراکم و فشردگی خاک می‌باشد که ادوات و ماشین‌های سنگین در حین عبور و مرور در زمین زراعی موجب تراکم خاک می‌شود. همان‌طور که نمودار ۷ نشان می‌دهد با افزایش تعداد تردد مقادیر شاخص مخروطی خاک به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. این نتیجه با نتایج به دست آمده توسط علیمردانی و صلح‌جو (۱۳۸۳) مطابقت دارد. با توجه به مشکلات ناشی از افزایش تراکم خاک، با کاهش عبور در مزرعه و برنامه ریزی صحیح می‌توان از افزایش تراکم خاک جلوگیری کرد. با افزایش سرعت حرکت تراکتور در زمان حرکت بروی خاک شخم خورده، تا حدی از تراکم خاک کم می‌شود. همچنین سنگین کردن بیش از حد چرخ‌های عقب تراکتور به منظور افزایش کشش باعث افزایش شدید تراکم خاک می‌شود. نتایج به دست‌آمده با نتایج پتل و ایندرا مانی (۲۰۱۱) کاملا مطابقت دارد.



شکل ۷ – نتایج اثر تردد برCI

با توجه به اینکه طی آزمایش‌های انجام شده پنج متغیر مستقل در دست بوده است به نظر می‌رسد که ترکیب سطوح مختلف این پنج متغیر ممکن است منجر به ظاهر شدن اثرات متقابل و ترکیبی گردد به گونه‌ای که نتایج تحلیل‌های مربوط به بررسی تک تک آنها را مخدوش و زیر سوال برد. بر همین اساس مطالعه اثرات ترکیبی هر چهار متغیر هم بایستی مورد ارزیابی قرار گیرد. بررسی اثرات متقابل متغیرهای سرعت پیشروی، بار روی چرخ، لغزش، تردد و CI ورودی بر نیروی کششی، ضریب کشش، نقطه اثر نیروی وارده بر تایر و CI خروجی آن در قالب یک طرح فاکتوریل با سه تکرار صورت گرفته است. تمامی اثرات دوگانه پارامترها تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱درصد را نشان می‌دهند.

جدول۳ - اثرات متقابل سرعت، لغزش، بار دینامیکی، تردد و **CI** ورودی بر نیروی کششی

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
v	2	1.9095176	0.9547588	77.69	<.0001
s	3	115.3999970	38.4666657	3130.21	<.0001
w	1	9.9317780	9.9317780	808.19	<.0001
ci(b)	3	1.3847971	0.4615990	37.56	<.0001
m	3	0.3773940	0.1257980	10.24	<.0001
v*ci(b)	6	1.1865388	0.1977565	16.09	<.0001
v*s	6	1.3242860	0.2207143	17.96	<.0001
v*w	2	1.5283512	0.7641756	62.18	<.0001
v*m	6	1.9731276	0.3288546	26.76	<.0001
s*m	9	1.9805759	0.2200640	17.91	<.0001
w*m	3	0.3293835	0.1097945	8.93	<.0001
ci(b)*m	4	0.2713204	0.0678301	5.52	0.0002
v*s*ci(b)	27	4.4522422	0.1648979	13.42	<.0001
v*s*w	9	2.2026783	0.2447420	19.92	<.0001
s*w*ci(b)	12	0.4174669	0.0347889	2.83	0.0009
v*w*ci(b)	6	0.8604942	0.1434157	11.67	<.0001
v*s*m	15	1.2396157	0.0826410	6.72	<.0001
v*w*m	4	0.2641284	0.0660321	5.37	0.0003
v*ci(b)*m	1	0.0022354	0.0022354	0.18	0.6699

منابع

1. Ageikin, J.S. 1987. Off-the-road mobility of automobiles. New Delhi: Amerind Pub. Co. [Translation from 1981 Russian book].
2. Ageikin, J.S. 1987. Off-the-road wheeled and combined traction devices: theory and calculations. New Delhi: Amerind Pub. Co. [Translation from 1972 Russian book].
3. Aksenov, P.V. 1989. Multi-axle automobiles. Moscow: Mashinostroenie; [in Russian].
4. Bekker, M.G. 1969. Introduction to terrain-vehicle systems. Ann Arbor, MI: University of Michigan Press;
5. Brixius, W.W. 1987. Traction prediction equations for bias-ply tires. ASA Paper No. 871622. St. Joseph, MI: ASAE.
6. Garbari, G. 1949. Off-road motion resistance of wheeled vehicles. Rome: ATA Rediconti; [in Italian].

7. Hohl, G.H. 2007. Military terrain vehicles. J Terramech;44:23–34.
8. Holm, I.C. 1993. Multi-pass behavior of wheels in soft soil, also in a curve. In: Proceedings of the 11 international conference of ISTVS, Nevada, USA; p. 222–32.
9. Jukov, A.V. 1989. Provotorov YI, Skotnikov VA, Lyasko MI, Ginsburg YV. Tractors for melioration, construction and forest works. Minsk: Uradjai; [in Russian].
10. Kharkhuta, N.Y.a. 1973. Machines for soil compaction. Leningrad: Mashinostroenie; [in Russian].
11. Ksenevich, I.P. Skotnikov, V.A. Lyasko, M.I. 1985. Undercarriage systems; soil; crop. Moscow: Agropromizdat; [in Russian].
12. Letoshnev, M.N. 1929. Interaction between wheeled cart and road. Leningrad; [in Russian].
13. Schmid IC. 1995. Interaction of vehicle and terrain – results from 10 years research at IKK. J Terramech;32(1):3–26.
14. Ul'yanov, N.A. 1969. Theory of self-propelled wheeled earthmoving machines. Moscow: Mashinostroenie; [in Russian].
15. Vasil'ev, A.V. Dokychaeva, E.N. Utkin-Lubovtsov, O.L. 1969. Effect of tracked tractor design parameters on tractive performance. Moscow: Mashinostroenie; [in Russian].
16. Wong, J.Y. Huang, W. 2006. Wheels vs. tracks – a fundamental evaluation from the traction perspective. J Terramech;43(1):27–42.
17. Wong, J.Y. 2001. Theory of ground vehicles. John Wiley & Sons, Inc.

Evaluating the effect of tyre multi- pass on traction and soil compaction

Abstract

A special algorithm has been developed to predict drawbar performance of a tractor taking into account all the necessary variables during field operation. The performance of tractor–implement system involves the effect of a number of variables on the whole tractor–implement–soil system. Considering all these, the genetic algorithm is able to predict the performance of whole operation for selecting the various parameters and obtaining the best traction efficiency. This model is capable of determining the maximum pull available in the given field condition and matches the performance of trailed implements. On the other hand, The model was able to predict optimum slip of tractor driven wheels under different conditions. It was predicted by the model that the maximum pull developed by a tractor is limited by gross traction in the soft soil.

Keywords: Genetic Algorithm, Traction, Tractor, Optimization.