ارزیابی و مقایسه بازده کششی تراکتورهای مسی فرگوسن (MF 285) و یونیورسال (U 650) در اجرای شخم با گاوآهن برگردان‌دار

محمد لغوی و احمد ملاصادقی[۱]

چکیده

بازده کششی دو نوع تراکتور میان قدرت متداول در ایران، یعنی تراکتورهای مسی فرگوسن ۲۸۵ و یونیورسال ٦٥٠ در عملیات شخم توسط گاوآهن برگردان‌دار ارزیابی و مقایسه گردید. آزمون مزرعه‌ای در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز به صورت فاکتوریل در چارچوب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در مزرعه‌ای با بافت خاک لوم‌رسی‌شنی و میانگین رطوبت ۱۸ درصد در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه نوع یا وضعیت تراکتور (یونیورسال ٦٥٠، مسی فرگوسن ۲۸۵ بدون سنگین‌سازی چرخ‌ها و مسی فرگوسن ۲۸۵ با سنگین کردن چرخ‌ها توسط آب نمک) و سه سطح عمق شخم سطحی (۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر)، متوسط (۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر) و عمیق (۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر) بود. سرعت اجرای شخم در کلیه تیمارها در حدود چهار کیلومتر در ساعت ثابت نگه داشته شد. پارامترهای مورد اندازه‌گیری و مقایسه شامل نیروی کشش مال‌بندی، مقاومت کششی، درصد لغزش چرخ‌های محرک و بازده کششی تراکتور بود.

نتایج نشان داد که عمده‌ترین اختلاف بین سه نوع یا وضعیت تراکتورها مربوط به لغزش چرخ‌های محرک است، به طوری که میانگین درصد لغزش در سه سطح شخم در مورد تراکتور یونیورسال ٦٥٠ کمترین (۱۲/٦٪) و در تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ بدون سنگین‌سازی چرخ‌ها بیشترین (۲۷٪) بود، که با سنگین‌سازی چرخ‌های محرک به ۱۷/۷ درصد کاهش یافت. هم‌چنین، در حالی که افزایش درصد لغزش تراکتور یونیورسال ٦٥٠ با افزایش عمق شخم شدید نبود (۹/۷٪ به ۱٦/٥٪)، تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ سنگین‌سازی نشده شدیدترین تغییرات را نشان داد (۱۱٪ به ٤۸٪). تجزیه و تحلیل آماری بازده کششی تیمارها نشان داد که تغییر معنی‌داری در بازده کششی تراکتور یونیورسال ٦٥٠ با افزایش عمق شخم حاصل نگردید، و با میانگین بازده ۷۳/۸٪ دارای عملکرد مطلوبی بود، در حالی که بازده کششی تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ سنگین‌سازی نشده، که در شرایط شخم سطحی بیش از ۷۵٪ بود، با افزایش عمق شخم به ٤٦٪ کاهش یافت. سنگین‌سازی چرخ‌های محرک تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ روند نزولی بازده کششی را با افزایش عمق به طور چشم‌گیری بهبود بخشید، و حداقل آن را به حدود ٦۳٪ ارتقا داد. به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵، چنانچه سنگین‌سازی نگردد، تنها در انجام عملیات خاک‌ورزی سطحی بازده مطلوب دارد، و برای شخم متوسط و عمیق باید از تراکتور یونیورسال ٦٥٠ و یا مسی فرگوسن ۲۸۵ سنگین شده استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: *بازده کششی، تراکتور، گاوآهن برگردان‌دار، لغزش چرخ، مقاومت غلتشی*

---

۱. به ترتیب دانشیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.2.20.9]

مقدمه

با رشد روزافزون جمعیت، محدودیت منابع آبی و خاکی، و نیاز فزاینده به افزایش بازده تولید محصولات کشاورزی، نقش و اهمیت مکانیزاسیون کشاورزی به ویژه در کشورهای در حال توسعه ابعاد گسترده‌تری می‌یابد. تراکتور به عنوان اصلی‌ترین منبع در تولید توان مکانیکی در کشاورزی مکانیزه جایگاه ویژه‌ای را به خود اختصاص می‌دهد.

متداول‌ترین کاربرد تراکتورها در کشاورزی ایران، استفاده از توان مال‌بندی آنها در اجرای عملیات خاک‌ورزی و مخصوصاً شخم توسط گاوآهن برگردان‌دار است. در میان سه روش بهره‌برداری از توان تراکتور، یعنی توان محور توان‌دهی، توان هیدرولیکی و توان کششی (مال‌بندی)، روش سوم متداول‌ترین، ولی عموماً به علت نامناسب بودن شرایط فیزیکی خاک و یا محدودیت درگیری مناسب چرخ‌های محرک با خاک، کم‌بازده‌ترین آنها می‌باشد. با توجه به اهمیت بازده کششی به عنوان مهم‌ترین شاخص استفاده بهینه از انرژی تراکتور، که به صورت نسبت توان مال‌بندی به توان محوری چرخ‌های محرک تعریف می‌شود، ارزیابی و مقایسه آن به روش‌های تجربی و تحلیلی همواره مورد توجه پژوهندگان بوده است.

نتایج پژوهش‌های انجام شده گویای اتلاف ۲۰ تا ۵۵ درصد توان انتقال یافته به چرخ‌های محرک تراکتور و در مرحله تبدیل آن به توان کششی می‌باشد (٦). هرچند، در یک مورد با استفاده از روشی تجربی-تحلیلی، اتلاف حدود ۷۰ درصد توان محوری در مرحله تبدیل به توان مال‌بندی تخمین زده شده است (۱۲). بخشی از این انرژی تلف شده صرف متراکم نمودن خاک و تخریب شرایط فیزیکی مناسب آن برای رشد و توسعه ریشه می‌شود، و نهایتاً ممکن است موجب کاهش عملکرد محصولات کشاورزی گردد (۱۳).

مؤثرترین راه برای بهنیه‌سازی و اصلاح عملکرد کششی تراکتورها ایجاد هماهنگی مناسب بین توان، بار وارد بر چرخ‌های محرک، سرعت پیش‌روی تراکتور و مقاومت کششی ادوات یا لغزش چرخ‌ها می‌باشد. پژوهندگان بسیاری تلاش نموده‌اند تا روابط لازم بین این پارامترها را به منظور بهینه‌سازی عملکرد کششی تعیین نمایند (۷، ۸، ١٤ و ١٦).

دامیر و ویلانز (۷) تأثیر ترکیبات گوناگونی از بار محوری و سرعت پیش‌روی را بر بازده کششی مورد بررسی قرار دادند، و به این نتیجه رسیدند که در محدوده‌ای از سرعت پیش‌روی که برای انجام عملیات خاک‌ورزی توصیه گردیده است، در نسبت وزن به توان محوری (kN/kW) ۰/۵۹، بازده کششی بهینه می‌گردد. در پژوهش دیگری، جی-کلاف و همکاران (۹)، با استفاده از نتایج آزمایش‌هایی که در ۱۷۰ مزرعه در شرایط خاک‌های انگلیس انجام گردید، مدلی تجربی برای تخمین عملکرد کششی تراکتورهای دوچرخ محرک معرفی نمودند. این مدل توسط محمود و جی-کلاف (۱۲) برای تخمین بازده کششی تراکتورهای مورد استفاده در شرایط کشاورزی پاکستان به کار رفت، و آنان بازده کششی تراکتورها را در شرایط آن کشور حدود ۳۰ درصد گزارش کردند. لغوی و شاکر (۱۱) با استفاده از همین مدل، عملکرد کششی سه نوع تراکتور متداول در منطقه زرقان فارس (مسی فرگوسن ۲۸۵، یونیورسال ٦٥٠ و جاندیر ۳۱٤۰) را بررسی نموده و میانگین تلفات قدرت در تبدیل توان محوری به توان مال‌بندی را به طور میانگین ۵۷٪ برآورد نمودند. ملاصادقی (۵) میزان اعتبار این مدل را در پیش‌بینی بازده کششی تراکتورها در شرایط خاک‌های لوم‌رسی‌شنی استان فاس با اندازه‌گیری مستقیم مقاومت کششی ادوات، مقاومت غلتشی و درصد لغزش چرخ‌ها، و سپس محاسبه بازده کششی مورد بررسی قرار داد. وی دریافت که این مدل بازده کششی تراکتورهای یونیورسال ٦٥٠ را در حدود ۸ درصد، و از آن فرگوسن ۲۸۵ را برحسب آن که چرخ‌های محرک آن با آب سنگین شده و یا نشده باشد، به ترتیب ۱۵/٦ و ۳۵ درصد کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌نماید.

مدلی توسط ولف و همکاران (۱۵) برای پیش‌بینی عملکرد کششی چرخ‌های محرک تراکتور در خاک‌های در شرایط سخت (در شرایطی که شاخص مخروطی خاک بزرگ‌تر از ۱/٤ مگا پاسکال بوده و یا عمق فرورفتگی چرخ در خاک کوچک‌تر از

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.2.20.9]

ارتفاع آج لاستیک باشد) ارائه گردیده است. این مدل بر پایه تجزیه و تحلیل تنش‌های برشی و عمودی در صفحه تماس بین لاستیک و خاک استوار بوده، و علاوه بر مقاومت برشی خاک، انعطاف‌پذیری آج‌های لاستیک را نیز در پیش‌بینی شاخص‌های عملکرد کششی ملحوظ می‌دارد. اعتبار این مدل با مقایسه نتایج حاصل از آزمون مزرعه‌ای، با استفاده از دستگاه آزماینده کشش چرخ (Wheel traction tester) و مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل ارزیابی گردید. نتایج این ارزیابی حاکی از تخمین مناسب شاخص‌های عملکرد کششی در شرایط خاک سخت بوده است. به نظر می‌رسد این مدل بتواند عملکرد کششی تراکتورها را در شرایط خاک‌های ایران، که عموماً به علت فقر مواد آلی و کمی رطوبت در ردیف خاک‌های سخت قرار می‌گیرند (۲)، با درجه اعتبار بالاتری پیش‌بینی نماید، ولی تاکنون اقدامی در این خصوص صورت نگرفته است.

در مورد ارزیابی عملکرد کششی تراکتورهای متداول در ایران پژوهش‌هایی انجام گردیده است، که از آن جمله می‌توان به بررسی تأثیر عواملی نظیر بار عمودی وارد بر محور محرک، فشار باد لاستیک و عمق شخم بر میزان لغزش چرخ‌های محرک تراکتورهای جاندیر ۲۰٤۰، مسی فرگوسن ۲۸۵ و یونیورسال ٦٥۰ توسط الماسی و همکاران (۱) اشاره نمود، که نشان داده است در مجموع تراکتور یونیورسال ٦٥۰ با میانگین لغزش چرخ ۱۱/۸ درصد، کمترین و مناسب‌ترین میزان لغزش را داشته است.

در پژوهش دیگری توسط معصومی و لغوی (٤)، عملکرد کششی تراکتورهای مسی فرگوسن ۲۸۵ و یونیورسال ٦٥۰ در اجرای عملیات خاک‌ورزی به وسیله گاوآهن‌های برگردان‌دار و قلمی ارزیابی و مقایسه گردید. در این پژوهش لغزش چرخ‌های محرک، میزان مصرف سوخت و ظرفیت مزرعه‌ای در عملیات خاک‌ورزی به عنوان شاخص‌هایی از عملکرد کششی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تراکتور مسی فرگوسن در مقایسه با یونیورسال دارای لغزش چرخ و مصرف سوخت بیشتر و ظرفیت مزرعه‌ای کمتری بود. عملکرد کششی ضعیف تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵، به رغم توان لگامی بالاتر آن، ناشی از وزن کمتر، کوتاه‌تر بودن فاصله دو محور و بیشتر بودن فشار باد چرخ‌های محرک آن تشخیص داده شد.

در دو پژوهش اخیر، بازده کششی تراکتورها، که مهم‌ترین شاخص عملکرد کششی محسوب می‌شود، مستقیماً اندازه‌گیری و مقایسه نگردیده است، بلکه پارامترهایی که بر بازده کششی مؤثرند، نظیر لغزش چرخ یا بار وارد بر محورها، مورد بررسی قرار گرفته است. در پژوهش لغوی و شاکر (۱۱) نیز همان گونه که قبلاً ذکر گردید، بازده کششی تراکتورها با استفاده از مدل به دست آمده در شرایط خاک کشورهای اروپایی برآورد گردیده است، که لزوماً با شرایط خاک‌های ایران سازگاری ندارد. بنابراین، در این پژوهش با اندازه‌گیری مستقیم نیروی کشش مال‌بند با مقاومت غلتشی و درصد لغزش چرخ‌های محرک تراکتور، بازده کششی تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ در دو وضعیت سنگین‌سازی شده و نشده، و تراکتور یونیورسال ٦٥۰ در اجرای عملیات شخم توسط گاوآهن برگردان‌دار، در سه سطح از عمق شخم ارزیابی و مقایسه گردیده است. در این بررسی از تراکتور یونیورسال ٦٥۰ بدون سنگین‌سازی چرخ‌های محرک استفاده گردید، زیرا در پژوهش‌های قبلی (۱ و ٤) درصد لغزش چرخ‌های محرک و عملکرد کششی آن در حالت سنگین نشده نیز در حد مطلوب گزارش گردیده است.

مواد و روش‌ها

آزمون‌های مزرعه‌ای در ایستگاه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز (باجگاه)، در ۱٦ کیلومتری شمال غربی شیراز اجرا گردید. گندم آبی آخرین محصول کشت شده در زمین محل اجرای طرح بود، که پس از برداشت آن با کمباین، کاه و بقایای گیاهی توسط ماشین بسته‌بندی علوفه جمع‌آوری و پس‌ماند آن در حد ممکن سوزانده شده بود. بافت خاک لوم‌رسی‌شنی، و شیب زمین در دو جهت طولی و عرضی در حدود دو در هزار بود.

در این پژوهش از آزمایش فاکتوریل، در چارچوب طرح

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.2.20.9]

بلوک‌های کامل تصادفی با ۹ تیمار (سه نوع یا حالت تراکتور × سه عمق شخم) در سه تکرار استفاده گردید. میانگین رطوبت خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری در حدود ۱۸ درصد، بر مبنای وزن خشک، در کلیه پلات‌ها ثابت بود. در این آزمون تأثیر دو متغیر مستقل، یکی نوع یا حالت تراکتور، شامل تراکتور یونیورسال ۶۵۰ در وضعیت استاندارد توصیه شده و تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ در وضعیت عادی (بدون سنگین‌سازی چرخ‌ها) و در وضعیت سنگین‌سازی شده (پر نمودن چرخ‌های محرک با آب نمک)، و دیگری عمق شخم در سه محدوده ۱۰-۱۵ سانتی‌متری (سطحی)، ۱۵-۲۰ سانتی‌متری (متوسط) و ۲۰-۲۵ سانتی‌متری (عمیق) بر بازده کششی تراکتورها به عنوان متغیر وابسته، بررسی گردید.

پارامترهای اصلی مورد اندازه‌گیری در طی آزمون‌ها عبارت بودند از، نیروی کشش مال‌بندی، نیروی مقاومت غلتشی چرخ‌های تراکتور، و درصد لغزش چرخ‌های محرک. آزمایش‌ها در طول ۲۷ کرت هر یک به طول ۱۵۰ متر و عرض چهار متر اجرا گردید. هر دو تراکتور عمر کاری نسبتاً مشابهی داشتند، و مجهز به لاستیک‌های چرخ‌های عقب از نوع معمولی و دارای آج‌های سالم بودند. فشار باد لاستیک‌ها بر اساس توصیه کارخانه سازنده، در مورد تراکتور یونیورسال ۶۵۰ برابر با ۹۵ کیلو پاسکال، و در مورد تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵، در هر دو وضعیت بارگذاری، برابر با ۷۰ کیلو پاسکال بود. برای سنگین‌سازی لاستیک‌های تراکتور مسی فرگوسن، ۷۵ درصد حجم داخلی لاستیک با محلول آب نمک با غلظت وزنی ۳۰ درصد پر گردید.

گاوآهن مورد استفاده یک دستگاه گاوآهن برگردان‌دار سه خیش، با عرض مؤثر ۱۱۰ سانتی‌متر بود. برای تثبیت عمق شخم‌های مورد نظر در طول کرت‌های آزمایشی، از چرخ تنظیم عمق استفاده گردید، و پیش از آغاز آزمایش تنظیم‌های طولی و عرضی با دقت انجام شد.

برای اندازه‌گیری نیروی کششی مال‌بندی و مقاومت غلتشی تراکتور از روش کشش دو تراکتوری و استفاده از دینامومتر مال‌بندی بر طبق روش RNAM (Regional Network for Agricultural Machinery) استفاده گردید. چگونگی اجرای این روش توسط لغوی و اشرفی‌زاده (۳) گزارش شده است. دینامومتر به کار رفته یک دستگاه لودسل فشاری مدل CLP-5B مجهز به مانیتور دیجیتال بود، که روی یک قاب مثلثی قابل اتصال به بازوهای تراکتور کشنده سوار می‌شد. نیروی کشش مال‌بندی با استفاده از اهرم‌بندی خاصی به صورت یک نیروی فشاری معادل بر لودسل اعمال می‌گردید. با توجه به تغییرات شدید و سریع مقاومت کششی ادوات، در طول هر کرت بیش از چهل داده ثبت، و میانگین آنها به عنوان مقاومت کششی کرت منظور شد.

درصد لغزش چرخ‌های محرک به روش استاندارد RNAM و استفاده از رابطه ۱ تعیین گردید.

$$S(\%) = [(A - B) / A] \times 100 \qquad [1]$$

در این رابطه S(%) درصد لغزش چرخ محرک، A مسافت طی شده در گردش مقدار معینی (۱۰ دور) از دوران چرخ محرک در حالت بدون بار کششی، و B مسافت طی شده در گردش همان تعداد دوران چرخ محرک در زیر بار می‌باشد. برای تعیین سرعت پیش‌روی واقعی تراکتور در حین شخم، زمان پیمودن مسافت توسط کرونومتر اندازه‌گیری، و با تقسیم مسافت بر زمان، سرعت پیش‌روی محاسبه گردید. با توجه به این که در این آزمایش، سرعت پارامتری ثابت در نظر گرفته شده بود، و با توجه به محدودیت سرعت در اجرای شخم عمیق، در کلیه تیمارها دنده انتخابی برای پیش‌روی دنده دو سنگین انتخاب، و دور موتور با اهرم گاز دستی در حدود دور متعارف (۱۸۰۰ و ۲۰۰۰ دور دقیقه به ترتیب برای تراکتورهای یونیورسال و مسی فرگوسن) نگاه داشته شد. میانگین سرعت پیش‌روی در کلیه تیمارها در حدود چهار کیلومتر در ساعت بود، که سرعت معمول در اجرای عملیات شخم با گاو آهن برگردان‌دار در شرایط خاک‌های ایران می‌باشد.

با استفاده از مقادیر به دست آمده برای نیروی کششی ناخالص (P+R)، مقاومت غلتشی چرخ‌های تراکتور (R) و

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.2.20.9]

درصد لغزش چرخ‌های محرک (S)، و بـه کـارگیـری رابطـه ۲، بازده کششی (T.E.) که عبارت است از نسبت توان مال‌بندی بـه توان محوری چرخ‌هـای محـرک، بـرای هـر آزمـایش محاسـبه گردید (۱۰).

$$T.E. = [P / (P + R)] (1 - S) \quad [۲]$$

در این رابطه S به صورت اعشاری وارد می‌شود.

نتایج حاصل بر مبنـای آزمـایش فـاکتوریل و بـا اسـتفاده از آنالیز واریانس مورد تجزیـه و تحلیـل قـرار گرفـت، و مقایسـه میانگین‌های مقاومت غلتشی، درصد لغزش چرخ‌های محـرک و بازده کششی تراکتورها در سطوح مختلف عمق شخم بـه روش دانکن و با کمک نرم‌افزار MSTATC انجام گردید.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریـانس آثـار اصلـی و متقـابل نـوع یـا حالت تراکتور و عمق شخم بر مقاومت غلتشی، درصـد لغـزش چرخ‌های محرک و بازده کششی تراکتورهـا در جـدول ۱ ارائـه گردیده است.

مقاومت غلتشی

نتایج نشان می‌دهد که عامل نوع یا حالت تراکتور اثر معنـی‌داری بر نیروی مقاومت غلتشی به جای گذاشته است. به سخن دیگر، نوع یا حالت تراکتور بـا احتمـال ۹۵ درصـد بـر مـیزان نـیروی مقاومت غلتشی تراکتور مؤثر است، در حـالی کـه عـامل عمـق شخم اثر معنی‌داری را بر مقـاومت غلتشـی نشـان نمی‌دهـد. بـا توجه به اندازه‌گیـری مقـاومت غلتشـی در حـالتی کـه گاوآهـن خارج از خاک قرار دارد، معنـی‌دار نبـودن اثـر عمـق شـخم بـر مقاومت غلتشی بدیهی به نظر می‌رسد. تأثیری که عمق شخم بر نیروی مقاومت غلتشی ممکن است داشته باشد، از آن جا ناشـی می‌شود که با افزایش عمق شخم (که منجر به افزایـش مقـاومت کششی می‌گردد)، پدیده انتقال وزن واقع شده و سهم بیشتری از وزن تراکتور بر محور چرخ‌های محرک (عقب) اعمال مـی‌گردد. این امر گرچه منجر به افزایش مقاومت غلتشی چرخ‌های عقـب می‌گردد، ولی از آن جـا کـه تقریبـاً همیـن وزن از روی محـور چرخ‌های جلو برداشته می‌شـود، نـیروی مقـاومت غلتشـی آنـها کاهش یافته، و در نهایت تغییر چندانی در مقاومت غلتشـی کـل تراکتور حاصل نمی‌گردد.

مقایسه میانگین‌های مقاومت غلتشی در سطوح مختلف نـوع یا حالت تراکتور و عمق شخم با استفاده از آزمون چند دامنـه‌ای دانکن (جدول ۲)، نشان می‌دهد که پر نمودن لاسـتیک تراکتـور مسی فرگوسن از آب نمک، موجب افزایـش معنـی‌دار مقـاومت غلتشی آن گردیده است. این پدیده ناشی از تـأثیر افزایـش بـار عمودی چرخ بر مقاومت غلتشی آن می‌باشـد، زیـرا بـر اسـاس بررسی‌های تجربی و روابط ارائه شـده بـرای محاسـبه مقـاومت غلتشی (۱۳)، این نـیرو بـا بـار عمـودی وارد بـر چـرخ نسـبت مستقیم دارد. نکته شایان توجه دیگر در جدول ۲، نبود اختـلاف معنی‌دار بین مقاومت غلتشی تراکتور مسی فرگوسـن در حـالت سنگین شده، و تراکتور یونیورسال، به رغـم وجـود اختـلاف در میزان بار عمـودی وارد بـر محورهـای محـرک آن دو می‌باشـد (۲۹/۱ و ۳۱/۸ کیلونیوتن، بـه ترتیـب بـرای تراکتورهـای مسـی فرگوسن سنگین شده و یونیورسال). این پدیده را می‌توان ناشی از تفاوت در ابعاد فیزیکی چرخ‌های محـرک آنـها دانسـت، بـه نحوی که تراکتور یونیورسال، به دلیـل دارا بـودن لاسـتیک‌های قطورتر (در نتیجـه طـول تمـاس بـزرگ‌تـر) از تراکتـور مسـی فرگوسن (به ترتیب ۱/۵۷ و ۱/٤٦ متر)، به رغم بزرگ‌تـر بـودن بار عمودی آن، دارای مقاومت غلتشی یکسان با تراکتـور مسـی فرگوسن می‌باشد. به سخن دیگر، کاهش مقاومت غلتشی ناشـی از قطورتر بودن چرخ‌ها (۱۳)، افزایش مقاومت غلتشی ناشـی از بزرگ‌تر بودن بار عمودی محور را خنثی نموده است.

لغزش چرخ‌های محرک

جدول ۱ گویای معنی‌دار بودن آثار اصلی هر دو فاکتور نـوع یـا حـالت تراکتـور و عمـق شـخم، و اثـر متقـابل آنـها بـر لغـزش چرخ‌هـای محـرک در سـطح احتمـال ۱٪ می‌باشـد. جـدول ۳ مقایسه میانگین‌های درصد لغزش چـرخ‌هـای محـرک را در

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.2.20.9]

جدول ۱. میانگین مربعات آثار اصلی و متقابل نوع یا حالت تراکتور و عمق شخم بر مقاومت غلتشی، درصد لغزش چرخ‌های محرک و بازده کششی تراکتور

منابع تغییر	درجات آزادی	میانگین مربعات		
		مقاومت غلتشی	درصد لغزش	بازده کششی
تراکتور (T)	۲	۰/۱۵*	٤٨٨/٢٤**	٢٦٥/٨٨**
عمق شخم (D)	۲	۰/۰۲ns	۹۸۰/۱۹**	٤٨٧/٦٢**
اثر متقابل (T×D)	٤	۰/۰۱ns	۱۸۷/۸۲**	١٥٤/٤٩**
خطای آزمایش	١٦	۰/۰۹	٤/۰۱	٣/٧٤

*، ** و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵٪، ۱٪ و غیر معنی‌دار.

جدول ۲. مقایسه میانگین‌های مقاومت غلتشی (بر حسب کیلونیوتن) در سطوح مختلف نوع یا حالت تراکتور و عمق شخم

نوع یا حالت تراکتور	عمق شخم (سانتی‌متر)			
	(۱۵-۱۰)	(۲۰-۱۵)	(۲۵-۲۰)	میانگین X
مسی فرگوسن ۲۸۵ (سنگین نشده)	۱/۹۹^{b}	۱/۸۳^{b}	۱/۸٤^{b}	۱/۸۹^{B}
مسی فرگوسن ۲۸۵ (سنگین شده)	۲/۳٦^{a}	۲/۲۹^{a}	۲/۳۲^{a}	۲/۳۲ ^{A}
یونیورسال ٦٥٠	۲/۲۹^{a}	۲/۲۸^{a}	۲/۲۳^{a}	۲/۲۷ ^{A}
میانگین x	۲/۲۲^{A}	۲/۱۳ ^{A}	۲/۱۳ ^{A}	

میانگین‌هایی که با حروف کوچک مشترک نشان داده شده‌اند دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند (دانکن ۵٪).
میانگین‌های x که با حروف بزرگ مشترک نشان داده شده‌اند دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند (دانکن ۵٪).

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های لغزش چرخ‌های محرک (درصد) در سطوح مختلف نوع یا حالت تراکتور و عمق شخم

نوع یا حالت تراکتور	عمق شخم (سانتی‌متر)			
	(۱۵-۱۰)	(۲۰-۱۵)	(۲۵-۲۰)	میانگین X
مسی فرگوسن ۲۸۵ (سنگین نشده)	۱۱/۰^{ef}	۲۲/۳^{c}	٤٨/۱^{a}	۲۷/۱^{A}
مسی فرگوسن ۲۸۵ (سنگین شده)	۱۰/۰^{f}	۱۵/۹^{de}	۲۷/۳^{b}	۱۷/۷^{B}
یونیورسال ٦٥٠	۹/۷^{f}	۱/۷^{def}	١٦/٥^{d}	۱۲/٦^{C}
میانگین x	۱۰/۲^{C}	١٦/٦^{B}	۳۰/٦^{A}	

میانگین‌هایی که با حروف کوچک مشترک نشان داده شده‌اند دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند (دانکن ۵٪).
میانگین‌های x که با حروف بزرگ مشترک نشان داده شده‌اند دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند (دانکن ۵٪).

سطوح مختلف نوع یا حالت تراکتور و عمق شخم، با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۱٪ نشان می‌دهد. تراکتور مسی فرگوسن سنگین نشده با میانگین لغزش ۲۷٪ بیشترین، و تراکتور یونیورسال با میانگین لغزش ۱۲/٦٪ کمترین لغزش چرخ‌های محرک را داشته‌اند. تراکتور مسی فرگوسن سنگین شده با میانگین ۱۷/۷٪ به طور معنی‌داری کمتر از حالت سنگین نشده آن و بیشتر از تراکتور یونیورسال لغزش چرخ داشته است. عامل اصلی این پدیده را می‌توان تفاوت بار وارد بر محورهای محرک

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.2.20.9]

(عقب) این تراکتورها (به ترتیب ۲۵، ۲۹/۱ و ۳۱/۸ کیلونیوتن برای تراکتورهای مسی فرگوسن سنگین نشده، سنگین شده و یونیورسال) دانست.

اختلاف میانگین‌های لغزش چرخ‌های محرک در سطوح مختلف عمق شخم نیز با احتمال ۹۹٪ معنی‌دار است، به طوری که در عمق شخم سطحی (۱۰-۱۵ سانتی‌متر) کمترین لغزش (۱۰/۲٪)، و در شخم عمیق (۲۰-۲۵ سانتی‌متر) بیشترین مقدار لغزش (۳۰/٦٪) واقع گردیده است. نیاز تراکتور به نیروی گیرایی (Traction) بالاتر چرخ با خاک با افزایش عمق شخم و افزایش درصد لغزش چرخ‌های محرک با افزایش نیروی گیرایی مورد نیاز (۱۳) توجیه کننده این پدیده می‌باشد. جدول ۳ نشان می‌دهد که در شخم سطحی درصد لغزش در هر سه نوع یا حالت تراکتور یکسان بوده، ولی با افزایش عمق شخم تفاوت‌ها مشخص‌تر گردیده و در شخم عمیق بسیار معنی‌دار شده است. به سخن دیگر، تأثیر نوع یا حالت تراکتور بر درصد لغزش چرخ در سطوح مختلف عمق شخم یکسان نبوده و این امر نشان دهندهٔ وجود اثر متقابل عمق شخم و نوع تراکتور است. این پدیده را می‌توان ناشی از تفاوت تراکتورها در بار محوری و طول تماس چرخ‌های محرک با خاک دانست. این دو عامل موجب می‌گردند ظرفیت ایجاد نیروی گیرایی تراکتورها متفاوت باشد، به طوری که در شخم سطحی و تا حدودی متوسط، ظرفیت کشش تراکتورها با مقاومت کششی گاوآهن انطباق مناسب داشته و لغزش در حد متعارف باشد. با افزایش بیشتر عمق شخم، در مورد تراکتور مسی فرگوسن این تعادل به هم خورده، به طوری که ظرفیت ایجاد نیروی گیرایی چرخ‌ها جوابگوی کشش مال‌بندی مورد نیاز نبوده و در نتیجه لغزش چرخ به شدت افزایش می‌یابد.

جدول ۳ هم‌چنین نشان می‌دهد تراکتور مسی فرگوسن در هر دو حالت، به هنگام افزایش عمق شخم از سطحی به متوسط، و سپس به عمیق، با افزایش معنی‌داری در درصد لغزش چرخ‌های محرک مواجه گردیده است. این در حالی است که در تراکتور یونیورسال با همین تغییرات عمق شخم، افزایش معنی‌داری در لغزش چرخ‌ها به وجود نیامده است. این پدیده گویای برتری تراکتور یونیورسال نسبت به فرگوسن از لحاظ پایداری در کشش (Lugging ability) می‌باشد.

نکته شایان توجه این که در اجرای شخم سطحی، سنگین نمودن چرخ‌های تراکتور مسی فرگوسن منجر به تغییر معنی‌داری در درصد لغزش آن نگردیده است. این پدیده نشان می‌دهد که این تراکتور در اجرای شخم سطحی نیازی به سنگین کردن چرخ‌ها ندارد. دیگر این که، هر دو تراکتور در شخم سطحی دارای میزان لغزشی در حد توصیه شده (۱۰ تا ۱۵ درصد) می‌باشند (۱۳). در حالی که در شخم متوسط تنها تراکتور یونیورسال این حد از لغزش را حفظ نموده است، و تراکتور مسی فرگوسی در هر دو حالت بارگذاری با لغزشی بیش از مقدار توصیه شده رو به رو بوده است. در شخم عمیق، در حالی که لغزش تراکتور یونیورسال اندکی از حد توصیه شده فراتر رفته است، تراکتور مسی فرگوسن در هر دو حالت درصد لغزشی حدود ۲ تا ۳ برابر حد قابل قبول داشته است که فرسایش شدید لاستیک و تخریب ساختمان خاک از جمله عواقب نامطلوب آن می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که تراکتور مسی فرگوسن حتی با سنگین نمودن چرخ‌های محرک نیز قابل رقابت با تراکتور یونیورسال در اجرای شخم عمیق نبوده است.

بازده کششی

نتایج تجزیه واریانس آثار اصلی و متقابل نوع و حالت تراکتور و عمق شخم بر بازده کششی تراکتورها (جدول ۱) نشان می‌دهد که آثار اصلی هر دو فاکتور و اثر متقابل آن دو بر بازده کششی، در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. در جدول ٤ میانگین بازده کششی تراکتورها در سطوح مختلف نوع یا حالت، و هم‌چنین عمق شخم با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۱٪ مقایسه گردیده است. چنان که دیده می‌شود بیشترین بازده کششی مربوط به تراکتور یونیورسال و کمترین آن مربوط به تراکتور فرگوسن در حالت سنگین نشده است. بازده کششی تراکتور فرگوسن سنگین شده با میانگین ٦۹/٤٪ به

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.2.20.9]

جدول ٤. مقایسه میانگین‌های بازده کششی تراکتور (درصد) در سطوح مختلف نوع یا حالت تراکتور و عمق شخم

نوع یا حالت تراکتور	عمق شخم (سانتی‌متر)			
	(۱۵-۱۰)	(۲۰-۱۵)	(۲۵-۲۰)	میانگین X
مسی فرگوسن ۲۸۵ (سنگین نشده)	۷۵/۳^{a}	٦٧/٦^{b}	٤٦/١^{d}	٦٣/٠^{C}
مسی فرگوسن ۲۸۵ (سنگین شده)	۷٤/٤ ^{a}	۷/۸ ^{ab}	٦٢/٩^{b}	٦٩/٤^{B}
یونیورسال ٦٥٠	۷٥/١ ^{a}	۷۳/٥ ^{a}	۷۲/۸ ^{a}	۷۳/۸^{A}
میانگین x	۷٥^{A}	۷۰/٦^{B}	٦٠/٦^{C}	

میانگین‌هایی که با حروف کوچک مشترک نشان داده شده‌اند دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند (دانکن ۵٪).
میانگین‌های x که با حروف بزرگ مشترک نشان داده شده‌اند دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند (دانکن ۵٪).

طور معنی‌داری بزرگ‌تر از حالت سنگین نشده آن (٦٣٪) و کوچک‌تر از تراکتور یونیورسال (۷۳/۸٪) است. این پدیده را با توجه به نتایج قبلی، می‌توان به روند تغییرات درصد لغزش چرخ‌های محرک این تراکتور نسبت داد. تراکتور یونیورسال که بیشترین بازده کششی را با کمترین میانگین درصد لغزش نشان می‌دهد، دارای بیشترین بار (۳۱/۸ کیلونیوتن) روی محور محرک بوده، و تراکتور مسی فرگوسن سنگین نشده که کمترین بازده کششی با بیشترین میانگین درصد لغزش را دارد، کمترین بار (۲۵ کیلو نیوتن) وارد بر محور چرخ‌های محرک را تحمل می‌نماید. جدول ٤ هم‌چنین کاهش معنی‌دار بازده کششی را با افزایش عمق شخم نشان می‌دهد، که این روند نیز با توجه به افزایش معنی‌دار درصد لغزش با افزایش عمق شخم (جدول ۳) منطقی می‌باشد.

از نکات شایان توجه جدول ٤ معنی‌دار نبودن اختلاف بازده کششی سه نوع یا حالت تراکتور در اجرای شخم سطحی است، که در این حالت هر سه دارای بازده کششی زیاد و مطلوب می‌باشند. تراکتور مسی فرگوسن سنگین شده تا شرایط شخم متوسط (۱۰-۲۰ سانتی‌متر) و تراکتور یونیورسال تا شرایط شخم عمیق (۲۰-۲۵ سانتی‌متر) بازده کششی خود را بدون کاهش معنی‌دار حفظ می‌نمایند. این در حالی است که بازده کششی تراکتور مسی فرگوسن سنگین نشده با افزایش عمق شخم، به ویژه با رسیدن به شرایط شخم عمیق، به شدت کاهش یافته و به حدود ٤٦٪، که بازده بسیار نامطلوبی است، کاهش می‌یابد.

خاک‌های ایران عموماً به واسطه کمبود مواد آلی و قرار گرفتن در منطقه نیمه خشک، شرایط خاک‌های سخت را در عملیات خاک‌ورزی دارا می‌باشند، و بازده کششی بهینه برای خاک‌های سخت حدود ۷۰٪ توصیه گردیده است (١٦). ارقام جدول ٤ نشان می‌دهد که تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ سنگین نشده تنها در اجرای شخم سطحی (کار کششی سبک) و در حالت سنگین‌سازی شده در اجرای شخم‌های سطحی و متوسط دارای بازده کششی مطلوب می‌باشد. در حالی که تراکتور یونیورسال ٦٥٠ در اجرای شخم‌های عمیق (تا ۲۵ سانتی‌متر) نیز از بازده کششی مطلوبی برخوردار است.

منابع مورد استفاده

۱. الماسی، م.، ه. بهرامی و م. ج. شیخ داوودی. ١٣٦٩. اندازه‌گیری و مقایسه درصد لغزش چرخ‌های محرک (عقب) تراکتورهای متداول در خوزستان. مجله علمی کشاورزی ١٤ (١ و ٢): ١٠٣-١١٦.

۲. کلباسی، م. ۱۳۷۵. وضعیت مواد آلی در خاک‌های ایران و نقش کمبود کمپوست. خلاصه مجموعه مقالات پنجمین کنگره علوم خاک ایران، آموزشکده کشاورزی کرج، ۱۰ تا ۱۳ شهریور.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.2.20.9]

۳. لغوی. م. و س. ر. اشرفی‌زاده. ۱۳۷٦. مقاومت کششی، مقاومت ویژه و توان مال‌بندی مورد نیاز گاوآهن قلمی (چیزل) در سطوح مختلف رطوبت خاک و عمق شخم. علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۱(۲): ۸۵-۹٦.

٤. معصومی، ا. و م. لغوی. ۱۳۷۳. ارزیابی عملکرد کششی دو نوع تراکتور متداول در ایران. تحقیقات کشاورزی ایران ۱۳(۲): ۷۷-۹۵.

۵. ملاصادقی رکن‌آبادی، ا. ۱۳۷۸. ارزیابی و مقایسه بازده کششی دو تراکتور میان قدرت متداول در ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

6. Burt, E. C., P. W. L. Lyne, P. Meiring and J. F. Keen. 1983. Ballast and inflation effects on tire efficiency. Trans. ASAE 26(5): 1352-1357.
7. Domier, K. W. and A. E. Willans. 1977. Maximum or optimum tractive efficiency? ASAE Paper No. 77-1053. Annual meeting of the ASAE, NC, USA.
8. Dwyer, M. J. 1978. Maximizing agricultural tractor performance by matching weight tire size and speed to the power available. Proc. 6th Int. Conf. Terrian-Vehicle System, Vienna.
9. Gee-Clough, D., M. McAllister, M. Pearson and D. W. Evernden. 1978. The empirical prediction of tractor-implement field performance. J. Terramechanics 15: 81-94.
10. Liljedahl, J. B., W. M. Carleton, P. K. Turnquist and D. W. Smith. 1989. Tractors and Their Power Units. 4th ed., John Wiley & Sons, New York.
11. Loghavi, M. and M. Shaaker. 1999. Field tractive performance of three popular two-wheel drive tractors in Iran. Iran Agric. Res. 18: 41-54.
12. Mahmood, N. and D. Gee-Clough. 1989. Field performance of tractors in Pakiston. AMA. 20(4): 46-68.
13. Mckyes, E. 1985. Soil Cutting and Tillage. Elsevier Science Publisher, Amsterdam.
14. Wismer, R. D. and H. J. Luth. 1973. Off-road traction prediction for wheeled vehicles. J. Terramechanics 10: 49-62.
15. Wolf, D., I. Shmulevich and U. Mussel. 1996. Wheel traction prediction on hard soil. Trans. ASAE 39(4): 1275-1283.
16. Zoz, F. M. 1972. Predicting tractor field performance. Trans. ASAE 15(2): 249-255.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.2.20.9]