تأثیر بار محوری و بار کششی بر بازده زمین گیرایی و مصرف سوخت دو تراکتور سنگین در اجرای شخم با گاوآهن برگردان دار چهار خیش نیمه سوار

علیرضا سلطانی قلعه جوقی و محمد لغوی[۱]

چکیده

بازده کششی و مصرف سوخت دو تراکتور سنگین متداول در ایران، تراکتورهای مسی فرگوسن ۳۹۹ و جان دیر ۴۲۳۰ در عملیات شخم با گاوآهن برگرداندار ارزیابی و مقایسه گردید. آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در مزرعه ای با بافت خاک رسی شنی و میانگین رطوبت ۱۸ درصد وزنی بر مبنای وزن خشک اجرا گردید. برای انجام این تحقیق از یک آزمایش فاکتوریل۳×۴ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار استفاده گردید. تیمارها شامل دو نوع تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ و تراکتورجان دیر ۴۲۳۰، هر یک در دو وضعیت از لحاظ بار محوری(بار محوری استاندارد و سنگین شده با وزنه آبی) و درسه عمق شخم، سطحی (۲۰-۱۵ سانتی‌متری)، متوسط(۲۵-۲۰ سانتی‌متری) و عمیق (۳۰-۲۵ سانتی‌متری) با گاوآهن برگردان دار چهار خیش بود. در کلیه تیمارها دور موتور در محدوده دور مشخصه (۲۰۰۰ و ۲۲۰۰ دور در دقیقه به ترتیب برای فرگوسن ۳۹۹ و جاندیر ۴۲۳۰) و سرعت پیشروی در محدوده۰/۵± ۴/۵ کیلو متر در ساعت ثابت نگه داشته شد. پارامترهای مورد ارزیابی شامل نیروی کشش مالبندی، نیروی مقاومت غلتشی چرخ‌های تراکتور، درصد لغزش چرخ‌های محرک تراکتور، بازده کششی و میزان مصرف سوخت تراکتورها بود. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، نشان داد که با سنگین کردن چرخ‌های محرک تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ می‌توان بازده کششی آنرا در اجرای شخم عمیق از ۳۶/۵٪ به ۵۳٪ افزایش داد ولی قابلیت رقابت با تراکتور جان دیر ۴۲۳۰ با بازدهی کششی ۶۴٪ در همان عمق شخم را ندارد. اما وضعیت سنگین شده این تراکتور در اجرای شخم سطحی و نیمه عمیق با در نظر گرفتن میزان مصرف سوخت کمتر، درحد رقابت با جان دیر ۴۲۳۰ می‌باشد. استفاده از تراکتور جان‌دیر ۴۲۳۰ سنگین شده برای اجرای شخم با گاو آهن برگردان دار در اجرای شخم سطحی به دلیل مصرف سوخت بیشتر صرفه اقتصادی ندارد و به‌دلیل داشتن درصد لغزش پایین تر از حد بهینه، موجب فشردگی خاک زراعی می‌گردد. در حالت کلی تراکتور فرگوسن ۳۹۹ برای بارهای کششی سبک و جان دیر ۴۲۳۰ برای بارهای کششی سنگین پیشنهاد می‌گردد. در صورت عدم استفاده در شرایط فوق، تراکتور فرگوسن ۳۹۹ با کاهش شدید بازده کششی و افزایش شدید در میزان مصرف سوخت مواجه خواهد بود و تراکتور جان‌دیر ۴۲۳۰ موجب فشردگی خاک زراعی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تراکتور، بازده کششی، مقاومت غلتشی، مصرف سوخت، درصد لغزش، گاوآهن برگردان دار

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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.40.10.5]

مقدمه

با رشد مکانیزاسیون و لزوم یکپارچه سازی مزارع کوچک به‌منظور بهره برداری موثرتر از ماشین‌های کشاورزی، دیگر تراکتورهای کوچک و میان قدرت متداول جوابگوی نیاز مزارع بزرگ و کشت و صنعت‌ها نمی‌باشد. لذا به‌کارگیری تراکتورهای سنگین در مزارع، امری ضروری و غیر قابل اجتناب خواهد بود. با توجه به وجود خط تولید تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ در داخل کشور و عدم وجود اطلاعات کافی در مورد توانایی‌های این تراکتور در شرایط آب و هوایی نیمه خشک و زمین‌های با شاخص مخروطی بالای ایران (به‌دلیل کمبود مواد آلی)، در این تحقیق، ارزیابی این تراکتور و مقایسه آن با تراکتور معتبر و آزمون شده جان دیر ۴۲۳۰ مورد بررسی قرار گرفت. عملکرد کششی تراکتورها توسط پارامترهایی چون بازده کششی و ضریب کشش دینامیکی شناخته می‌شود. بازده کششی به‌صورت درصدی از توان روی اکسل تراکتور که به توان مالبندی تبدیل می‌شود، بیان می‌گردد که متأثر از ضریب کشش، مقاومت غلتشی و درصد لغزش چرخ‌های محرک است(۱۰). چندین عامل بر ضریب کشش و مقاومت غلتشی چرخ‌های محرک تأثیر دارند که عبارت‌اند از: خصوصیات مکانیکی خاک، اندازه چرخ‌های محرک، فشار بادلاستیک، بار دینامیکی روی چرخ‌های محرک تراکتور و لغزش چرخ‌های محرک. بازده کششی مهم‌ترین پارامتر ارزیابی یک تراکتور می‌باشد و مقاومت غلتشی، فشار باد، اندازهٔ چرخ محرک و شرایط فیزیکی و مکانیکی خاک را از عوامل موثر بربازده کششی و میزان سوخت مصرفی ذکر کرده‌اند(۱۱). نتایج پژوهش‌های انجام شده گویای اتلاف توان ۵۵-۲۰٪ توان انتقال یافته به چرخ‌های محرک تراکتور در مرحله تبدیل آن به توان کششی می‌باشد(۸).

قابلیت یک نمونه خاک برای تحمل نیروی معلوم، قبل از این‌که تغییر شکل دائمی در ساختمان خاک ایجاد شود، مقاومت برشی خاک نامیده می‌شود(۲). عوامل مؤثر بر مقاومت برشی خاک عبارت‌اند از: مقدار رطوبت، چگالی توده، اندازهٔ ذرات و مقدار مواد آلی. در خاک کشاورزی افزایش مقاومت برشی با کاهش مقدار رطوبت از حد بالای خمیری به حد پایین به‌طور وضوح دیده می‌شود(۲). از نظر کشاورزی زمانی مجاز به استفاده از ماشین‌های کشاورزی در مزرعه هستیم که رطوبت خاک از حد معینی پایین تر باشد. این حد رطوبت را حد پایین خمیری (Lower plastic limit) می‌گویند. حد پایین خمیری در اصطلاح کشاورزان به حالت گاورو شدن زمین موسوم است(۴). تحقیقات انجام شده در مورد مقاومت غلتشی چرخ خودروها روی سطوح سخت، بیانگر آن است که مقاومت غلتشی با افزایش باد تایر و افزایش سفتی مؤثر تایر کاهش می‌یابد در حالی‌که در خاک‌های نرم کشاورزی عکس این مطلب صحت دارد(۱۴). مقاومت غلتشی چرخ‌های محرک تراکتور در سطوح مختلف بار محوری و نسبت انتقال جعبه دنده در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌دار نشان داده است، در صورتی‌که دور موتور حتی در سطح ۵٪ نیز بر مقاومت غلتشی چرخ‌های تراکتور تأثیر معنی‌داری نداشته است(۶). بازده کششی دو تراکتور میان قدرت متداول در ایران (مسی فرگوسن ۲۸۵و یونیورسال۶۵۰) در سطوح مختلف عمق شخم و دو وضعیت تراکتور مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به‌دست آمده با مدل‌های پیش بینی عملکرد تراکتور مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاکی ازعدم کارائی تراکتور مسی‌فرگوسن۲۸۵ در اجرای شخم عمیق حتی در حالت سنگین شده بود. تراکتور فوق تنها در حالت سنگین شده، با تراکتور یونیورسال ۶۵۰ در اجرای شخم سطحی و متوسط قابل رقابت بود(۵).

بنا بر تحقیقات گذشته، میزان توصیه شده برای سنگین نمودن محور محرک kN/kW ۱ است و کاهش این مقدار تا میزان kN/kW ۰/۸ در مزارع با وضعیت‌های مختلف مضرّ نمی‌باشد. اما کاهش آن به مقادیری کمتر از این مقدار سبب افت سریع در توان کششی تراکتور می‌گردد(۹). تحقیقاتی که در رابطه میزان مصرف سوخت با سرعت پیشروی و عمق کار در عملیات خاک‌ورزی با تراکتورهای دو چرخ محرک مورد بررسی قرار گرفته مبین این است که بهترین بازده سوخت در سرعت پیشروی ۱/۳ متر بر ثانیه (۴/۷ کیلومتر بر ساعت)

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.40.10.5]

حاصل گردید(۱۶).

اثرات بار محوری و سرعت پیشروی بر مصرف سوخت تراکتور چرخ لاستیکی بررسی شد و رابطه‌ای برای پیش بینی مصرف سوخت با سرعت پیشروی و بار محوری به‌صورت معادله زیر بیان شد.

$$F = ۲۷۶/۲۳۵ + ۰/۰۱۶۷۳(W) - ۶۱/۴۶۴(S) \quad [۱]$$

در این رابطه (F) سوخت مصرف شده در ۱۰۰ متر پیشروی بر حسب گرم، (W) وزن اضافه شده به محور محرک بر حسب کیلوگرم، (S) سرعت پیشروی بر حسب متر بر ثانیه بود و نشان می‌داد که میزان مصرف سوخت با اضافه شدن بار اعمالی به تراکتور به‌صورت خطی افزایش می‌یابد(۱۳). در مقایسه مصرف سوخت تراکتور ۳۹۹ تک دیفرانسیل تحت سنگین کننده‌های ۵۱۰ و ۱۲۳۶ کیلوگرم بر چرخ عقب، مصرف سوخت تراکتور سنگین‌تر در تمامی دنده‌ها بیش از تراکتور سبک‌تر بود و این میزان در دنده‌های 3LH و 1HL در سرعت‌های ۶/۶۶ و ۷/۹۲ حدود ۷۰ درصد بیشتر بود(۳).

نتایج بررسی مقدار سوخت تراکتور هنگام شخم با گاوآهن برگردان‌دار، نشان می‌دهد که با افزایش سرعت پیشروی تراکتور مقدار مصرف سوخت (برحسب لیتر بر هکتار) کاهش یافته است. لذا در اجرای عملیات شخم توصیه می‌گردد از سرعت‌های بالا یا به عبارتی دنده‌های سبک‌تر استفاده گردد، مشروط به این‌که محدودیتی از نظر قدرت و گشتاور موردنیاز نباشد(۶).

تحقیقات انجام شده با یک تراکتور دو چرخ محرک با اندازه‌های متفاوت چرخ‌ها و بارهای مختلف محوری، بر مقدار چگالی حجمی و شاخص مخروطی خاک، در اعماق صفر الی ۶۰ سانتی‌متری خاک زراعی نشان می‌دهد که فشردگی خاک سطحی با افزایش فشار باد لاستیک، افزایش می‌یابد و فشردگی خاک زیرین با افزایش بار محوری و مستقل از فشار بار لاستیک، افزایش می‌یابد. در ضمن خاک سطحی مقدار فشردگی بیشتری نسبت به خاک زیرین نشان داد(۷).

اهداف اصلی تحقیق به منظور بررسی عملکرد کششی و میزان مصرف سوخت تراکتورهای مسی فرگوسن ۳۹۹ و جان دیر ۴۲۳۰، شامل موارد زیر می‌باشد.

۱. بررسی و مقایسه بازده کششی، مصرف سوخت و نیز تأثیر عمل سنگین نمودن تایرها بر میزان عملکرد کششی آنها و ارایه پیشنهادات اصلاحی جهت نیل به شرایط بهینه از لحاظ بازده کششی.
۲. ارزیابی عملکرد کششی تراکتورها در سطوح مختلف نیروی کششی در اجرای شخم سطحی، متوسط و عمیق.

مواد و روش‌ها

آزمون‌ها در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در ۱۵ کیلومتری شمال غربی شیراز اجرا گردید. خاک مزرعه در حد رطوبت گاورو (حد خمیری پایین) معادل با ۱۸ درصد رطوبت وزنی بر مبنای وزن خشک قرار داشت و آزمون‌ها در شرایطی به‌عمل آمد که مزرعه در فصل زراعی قبل زیر کشت گندم رفته بود و بقایای گیاهی موجود در آن با عملیات آتش‌زنی سوزانده شده بود. کلاس بافت این خاک بر اساس مثلث بافت خاک با ۳۵ درصد شن، ۳۰ درصد سیلت و۳۵ درصد رس، لوم رسی (Clay Loam) تشخیص داده شده بود(۱).

پارامترهای مورد ارزیابی در آزمون مزرعه‌ای عبارت بود از: نیروی کشش مالبندی، نیروی مقاومت غلتشی، درصد لغزش چرخ‌های محرک تراکتور، بازده کششی، میزان مصرف سوخت و شاخص مخروطی خاک قبل و بعد از عبور تراکتورهای مسی‌فرگوسن ۳۹۹ و جان‌دیر ۴۲۳۰ تحت دو نوع بار محوری. تراکتورهای مورد ارزیابی دراین تحقیق تراکتورهای سنگین مسی‌فرگوسن ۳۹۹ (۱۱۰ اسب بخار) و جان دیر ۴۲۳۰ (۱۲۰ اسب بخار) بودند که توسط تراکتور سنگین‌تر جان دیر ۴۴۵۰ (۱۴۰ اسب بخار) تحت نیروی کششی قرارگرفتند. تراکتور جان دیر ۴۲۳۰ درمقایسه با فرگوسن ۳۹۹ دارای عمر کاری بیشتری بود (به ترتیب ۳۵۰۰ و ۱۸۰۰ ساعت), ولی در زمان آزمایش، سیستم سوخت‌رسانی و سایر اجزای آنها سالم بوده و هیچ‌گونه عیبی مشاهده نگردید. لاستیک‌های عقب آنها از نوع معمولی و

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.40.10.5]

آج‌های آنها درحد قابل قبولی بودند و در هر دو تراکتور از یک نوع تایر استفاده می‌شد. فشار باد هر یک از لاستیک‌های تراکتورها طبق توصیه کارخانه سازنده در دفترچه راهنمای تراکتوردر حدود ۱ بار تنظیم شد. جهت سنگین نمودن تراکتورها (افزایش بار محوری) ۷۵ درصد حجم تیوپ چرخ‌های عقب از آب پر شد. سپس باد لاستیک‌ها دوباره تنظیم گردید. در اجرای این تحقیق از گاوآهن برگرداندار چهار خیش نیمه سوار با عرض موثر ۱۶۵ سانتی‌متر که متداول ترین نوع گاوآهن مورد استفاده با این دو نوع تراکتور است، استفاده شد.

برای اندازه‌گیری مقادیر نیروی کشش خالص و مقاومت غلتشی از روش آزمون دو تراکتوری مطابق دستورالعمل RNAM (Regional Network for Agricultural Machinery) استفاده گردید(۱۵). پس از قرارگیری چرخ سمت راست دو تراکتور در شیار شخم قبلی و در یک راستا قرار گرفتن دو تراکتور، دستگاه نیروسنج پنج تن Novatech مدل CLP-5B مجهز به مانیتور دیجیتال توسط یک زنجیر بین دو تراکتور نصب گردید. در این وضعیت تراکتور کشند (جاندیر ۴۴۵۰) وظیفه کشش تراکتور مورد ارزیابی را به‌عهده داشت. در حالت اول، پس از رسیدن وسیله خاک‌ورز به عمق مورد نظر در داخل خاک، نیروی کششی بین دو تراکتور توسط لودسل اندازه‌گیری شد که همان نیروی کشش ناخالص بود. در مرحله بعد با بیرون آوردن وسیله خاک‌ورز از خا ک، آزمایش مشابه حالت قبل دنبال شد. در این حالت نیروی اندازه‌گیری شده، مقدار مقاومت غلتشی را نمایش می‌داد. تفاضل دو نیروی به‌دست آمده برابر با مقدار کشش خالص بود. قبل از ثبت داده‌ها بوسیله لودسل، برای رسیدن به عمق شخم مورد نظر و تراز بودن گاوآهن در آن عمق دقت زیادی می‌شد و بعد از رسیدن به سرعت پیشروی مناسب در محدوده۰/۵ ± ۴/۵ کیلومتر در ساعت، داده برداری شروع می‌شد.

در مرحله اندازه‌گیری در صد لغزش چرخ‌های محرک تراکتورهای مورد ارزیابی (مسی فرگوسن ۳۹۹ و جاندیر ۴۲۳۰) که در نیمه دوم طول هر پلات انجام شد، تراکتور کشنده (جاندیر ۴۴۵۰) از زمین خارج گردید و تراکتور مورد ارزیابی به تنهایی کار کشش گاوآهن را عهده دار بود. ابتدا نقطه‌ای از دیواره خارجی لاستیک‌های عقب با گچ علامت‌گذاری شد. سپس تراکتورهای مورد ارزیابی در دنده‌های مورد نظر(جهت ثابت نگه داشتن سرعت در محدوده ۰/۵ ± ۴/۵ کیلو متر در ساعت از دنده‌های مختلفی استفاده می‌شد) و دور مشخصه موتور(rpm ۲۲۰۰ برای جان دیر ۴۲۳۰و rpm ۲۰۰۰ برای فرگوسن ۳۹۹) قرار گرفت. مسافت‌هایی را که هر یک از چرخ‌های محرک سمت چپ و راست به ازای ۱۰ دور طی کرده بودند، اندازه‌گیری شد که میانگین این دو عدد عنوان مسافت طی شده چرخ‌های عقب در وضعیت بدون بار در نظر گرفته شد. کلیه این عملیات برای حالتی که گاوآهن در خاک قرار داشت، نیز انجام گردید و عدد نهایی به‌عنوان مسافت طی شده چرخ‌های محرک زیر بار ثبت شد. با توجه به فرمول زیر درصد لغزش چرخ‌های محرک محاسبه شد.

$$S = [(A - B)/A](۱۰۰) \qquad [۲]$$

در این رابطه (S) درصد لغزش چرخ‌های محرک، (A) مسافت طی شده به ازای ده دور گردش چرخ‌های محرک در حالت بدون بار، (B) مسافت طی شده به ازاء همان تعداد دور گردش چرخ‌های محرک زیر بار می‌باشد.

به منظور اندازه‌گیری سرعت پیشروی هنگام شخم و حرکت آزاد در مزرعه در طول کرت آزمایش، دو تیرک قرمز به فاصله ۴۰ متر از همدیگر نصب شدند. زمان طی شده در این فاصله توسط کرنومتر اندازه‌گیری و ثبت می‌گردید که با تقسیم مسافت طی شده بر این زمان سرعت تراکتور بر حسب متر بر ثانیه به‌دست می‌آمد.

برای اندازه‌گیری میزان سوخت مصرفی از یک شیر کنترل جهت و استوانه مدرج که در تحقیقات قبلی طراحی و ساخت شده بود استفاده شد(۱۲). برای این منظور در طول هر کرت دو تیرک به فاصله ۴۰ متر از یکدیگر نصب شد. با رسیدن چرخ جلوی تراکتور به تیرک اول، اهرم شیر کنترل جهت را کشیده و

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.40.10.5]

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

منابع تغییر	درجات آزادی	میانگین مربعات				
		نیروی کشش خالص	درصد لغزش	مصرف سوخت	بازده کششی	مقاومت غلتشی
تکرار	۲	ns۰/۰۰۱	۰/ ۵۲ ns	۱/۲۸ ns	۲/۲۲ ns	./ ۰۱۶ ns
تراکتور	۳	۰/۰۶*	۸۴۸/۲ **	۵/۶ **	۳۷۲/۱ **	/۴۵۶ **
عمق شخم	۲	۹۹/۸ **	۱۳۷۹**	۲۶۱/۷ **	۵۵۸/۰۵ **	----
اثر متقابل	۶	۰/۰۲ ns	۳۳۳/۵**	۲۱/۸ **	۱۱۳/۳۶**	----
خطای آزمایش	۲۲	./۰۱	۰/۶۴	۰/۰۲۵	۰/۸۷	./۰۰۱

** : وجود اختلاف در سطح ۱٪ * : وجود اختلاف در سطح ۵٪ ns : عدم وجود اختلاف

با عبور چرخ جلوی تراکتور از مقابل تیرک دوم اهرم بجای اول بر گشت داده می شد. اختلاف سطح سوخت قبل و بعد از طی مسافت ۴۰ متری مقدار سوخت مصرف شده را بر حسب میلی‌لیتر نشان می‌داد. برای اندازه‌گیری شاخص مخروطی خاک در دو عمق ۱۵-۰و cm ۳۰- ۱۵ از دستگاه نفوذسنج (Soil penetrometer) مدل SP – 1000 ساخت شرکت Findly-Irvine با مخروط استاندارد به قطر قاعده ۱۲/۸۳ میلی‌متر و زاویه راس ۳۰ درجه استفاده شد.

بازده کششی (T.E.) به‌صورت نسبتی از توان روی اکسل تراکتور که به توان مالبندی تبدیل می‌شود، بیان می‌گردد. برای تعیین مقدار بازده کششی تراکتورها از رابطه زیراستفاده شد.

$$T.E. = [P/(P+R)](۱-S) \qquad [۳]$$

در این رابطه، P مقدار کشش خالص(kN) ، R مقاومت غلتشی(kN) و S درصد لغزش چرخ‌های محرک به‌صورت اعشاری می‌باشد.

نتایج و بحث

پس از انجام آزمایش‌ها در مزرعه، مقادیرکشش خالص و مقاومت غلتشی برحسب کیلو نیوتن، درصد لغزش چرخ‌های محرک، میزان مصرف سوخت برحسب لیتر در هکتار و بازده کششی تراکتورها در نوع و حالت‌های مختلف برای هریک از پلات‌های آزمایشی محاسبه و در جداول مربوطه ثبت گردید. برای تجزیه آماری و تهیه جداول تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها از نرم افزار کامپیوتری MSTATC و روش دانکن استفاده گردید. تجزیه واریانس مربوط به نیروی کشش خالص، درصد لغزش، میزان مصرف سوخت، مقاومت غلتشی و بازده کششی تراکتورها در سطوح مختلف نوع یا وضعیت تراکتور و عمق شخم در جدول ۱ ارائه شده است.

نیروی کشش خالص

جدول۱ تجزیه واریانس مربوط به نیروی کشش خالص تراکتور در سطوح مختلف نوع یا وضعیت تراکتور و عمق شخم را نشان می‌دهد. فاکتور عمق شخم در سطح احتمال ۱٪ تأثیر معنی‌داری بر نیروی کشش تراکتورها داشته است. اما اثر متقابل دو فاکتور فوق بر نیروی کششی تراکتور معنی دار نبوده است. معنی دار شدن فاکتور تراکتور در سطح احتمال ۵٪ بر کشش خالص را می‌توان ناشی از فعال بودن سیستم کنترل کشش تراکتورها دانست. با فعال بودن سیستم کنترل کشش تراکتور، در طی مسیر شخم و بالا بودن مقدار مقاومت کششی هنگام کار با گاوآهن برگرداندار چهار خیش نیمه سوار، مقدار درصد لغزش چرخ‌های محرک متفاوت شده و در نتیجه سرعت واقعی پیشروی تغییر خواهد کرد. با توجه به این‌که

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.40.10.5]

جدول۲. مقایسه میانگین‌های نیروی کشش خالص (کیلو نیوتن)، در سطوح مختلف نوع یا وضعیت تراکتور و عمق شخم

عمق شخم »» / تراکتور	۱۵–۲۰ (cm)	۲۰–۲۵ (cm)	۲۵–۳۰ (cm)	میانگین
فرگوسن۳۹۹	۱۲/۵۹ d	۱۴/۵۷ c	۱۸/۱۷ b	۱۵/۱۱ B
جان دیر ۴۲۳۰	۱۲/۶۳ d	۱۴/۶۹ c	۱۸/۴۵ a	۱۵/۲۶ A
فرگوسن ۳۹۹ سنگین شده	۱۲/۶۸ d	۱۴/۶۰ c	۱۸/۲۲ b	۱۵/۱۷ B
جان دیر ۴۲۳۰ سنگین شده	۱۲/۶۸ d	۱۴/۶۹ c	۱۸/۴۹ a	۱۵/۲۹ A
میانگین	۱۲/۶۵ C	۱۴/۶۴ B	۱۸/۳۳ A	

میانگین‌هایی که با حروف کوچک مشترک نشان داده شده‌اند دارای اختلاف معنی دار نمی‌باشند (دانکن ۱٪).
میانگین‌هایی که با حروف بزرگ مشترک نشان داده شده‌اند دارای اختلاف معنی دار نمی‌باشند (دانکن ۱٪).

مقاومت کششی تابعی از سرعت پیشروی می‌باشد، لذا مقادیر کشش خاص در طی مسیر شخم با این گاوآهن، مقادیر متفاوتی را با فاکتور تراکتور نشان داده است.

جدول ۲ مقایسه میانگین‌های نیروی کشش خالص چرخ‌های محرک تراکتورها را (بر حسب کیلو نیوتن) در سطوح مختلف نوع یا وضعیت تراکتور و عمق شخم نشان می‌دهد. با سنگین کردن تراکتورها، میانگین نیروی کششی در سطوح مختلف عمق شخم تغییر معنی داری نداشته است. مقاومت کششی تابعی از عمق شخم می‌باشد و از آنجایی که تغییر بار محوری تاثیری بر عمق شخم ندارد، لذا عامل تراکتور تاثیری بر مقاومت کششی در اجرای شخم سطحی و متوسط نداشته است. علت وجود اختلاف معنی دار عامل نوع تراکتور بر مقاومت کششی، در اجرای شخم عمیق را می‌توان در حساسیت سیستم کنترل کشش تراکتورها به نیروی مقاومت کششی دانست. در عمق شخم‌های سطحی و نیمه عمیق به‌دلیل پایین بودن نیروی مقاومت کششی نسبت به شخم عمیق، سیستم کنترل کشش هنوز تحریک نشده است ولی با افزایش عمق شخم این سیستم فعال می‌شود. با توجه به این‌که سیستم کنترل کشش تراکتورهای مختلف، حساسیت متفاوتی دارند لذا در شخم عمیق تأثیر نوع تراکتور بر نیروی کشش خالص معنی دار بوده است.

درصد لغزش چرخ‌های محرک

جدول۱ تجزیه واریانس درصد لغزش چرخ‌های محرک تراکتور در سطوح مختلف نوع یا وضعیت تراکتور و عمق شخم را نشان می‌دهد. اثر هر دو فاکتور نوع یا وضعیت تراکتور و عمق شخم بر درصد لغزش معنی دار است. جدول۳ مقایسه میانگین‌های درصد لغزش چرخ‌های محرک در سطوح نوع یا وضعیت تراکتور و عمق شخم را در سطح احتمال ۱٪ نشان می‌دهد. هنگام اجرای شخم، تراکتور فرگوسن ۳۹۹ سنگین نشده با میزان لغزش ۵۹٪ بیشترین لغزش را در شخم عمیق و تراکتور جان دیر ۴۲۳۰ سنگین شده با میزان ۷٪ لغزش، کمترین لغزش را در شخم سطحی داشته است. محدوده قابل قبول برای میزان لغزش چرخ‌های محرک ۱۶–۸ درصد است و مقادیر کمتر از این حد موجب فشردگی خاک و مقادیر بیش از آن باعث کاهش بازده کششی، افزایش مصرف سوخت، تخریب ساختمان خاک و فرسایش شدید لاستیک‌ها می‌گردد(۱۷). لذا از اجرای عملیات شخم در عمق‌های بیش از ۲۰ سانتی‌متر با تراکتور فرگوسن ۳۹۹ تک دیفرانسیل سنگین نشده باید اجتناب نمود. اما با اضافه کردن آب به لاستیک‌های عقب فرگوسن ۳۹۹ به میزان ۷۵٪ حجم لاستیک (حدود ۶۳۰ کیلو گرم) شرایط اندکی بهبود یافته و اجرای عملیات شخم با گاو آهن برگرداندار چهار خیش نیمه سوار تا عمق ۲۵ سانتی‌متری قابل توصیه

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.40.10.5]

جدول۳. مقایسه میانگین‌های درصدلغزش چرخ‌های محرک تراکتور در سطوح مختلف نوع یا وضعیت تراکتور و عمق شخم

عمق شخم »» / تراکتور	۱۵–۲۰ (cm)	۲۰–۲۵ (cm)	۲۵–۳۰ (cm)	میانگین
فرگوسن۳۹۹	۱۲/۲۹ e	۲۰/۰۶ c	۵۸/۸۴ a	۳۰/۴۱ A
جان دیر ۴۲۳۰	۸/۲۵ f	۱۱/۲۲ e	۱۴/۶۵ d	۱۱/۳۷ C
فرگوسن ۳۹۹ سنگین شده	۱۰/۹۸ e	۱۵/۹۷ d	۳۴/۶۰ b	۲۰/۵۲ B
جان دیر ۴۲۳۰ سنگین شده	۷/۰۷ f	۸/۴۵ f	۱۱/۸۳ e	۹/۱۲ D
میانگین	۹/۶۵ C	۱۳/۹۲ B	۲۹/۹۸ A	

میانگین‌هایی که با حروف کوچک مشترک نشان داده شده‌اند دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند (دانکن ۱٪).

میانگین‌هایی که با حروف بزرگ مشترک نشان داده شده‌اند دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند (دانکن ۱٪).

می‌باشد. یعنی سنگین کردن تراکتور فوق، حدود ۵ سانتی‌متر به عمق شخم مجاز تراکتور مزبور می‌افزاید. اما درصد لغزش چرخ‌های محرک تراکتور جان دیر۴۲۳۰ در حالت سنگین نشده در اجرای شخم تا عمق ۳۰ سانتی قابل قبول می‌باشد. لذا نیازی به سنگین کردن این تراکتور نیست به‌خصوص که سنگین شده این تراکتور تا عمق شخم ۲۰ سانتی‌متری با لغزش ۷٪ ممکن است موجب فشردگی خاک گردد. بارهای دینامیکی روی محور محرک تراکتورهای فرگوسن۳۹۹ سنگین شده و جان دیر ۴۲۳۰ سنگین نشده به ترتیب مقادیر ۳۱/۶ و ۳۱ کیلو نیوتن اندازه‌گیری گردید اما در عمق شخم ۳۰–۲۵ سانتی‌متری این دو تراکتور اختلاف فاحشی در درصد لغزش چرخ‌های محرک دارند (جان دیر سنگین نشده ۱۴/۶۵٪ و فرگوسن سنگین شده ۳۴/۶٪). قابل ذکر است که در هر دو تراکتور از یک نوع لاستیک کاملاً مشابه (از نظر ابعاد و فشار باد لاستیک) استفاده می‌شد اما میزان سائیدگی آج‌های تایر تراکتور فرگوسن اندکی بیشتر ازتراکتور جان دیر بود. علت دیگر در افزایش درصد لغزش تراکتور فرگوسن را می‌توان در ساختار این تراکتور و تأثیر آن بر انتقال وزن و بار دینامیکی وارد بر چرخ‌های محرک دانست. برای تراکتورهای فرگوسن و جان دیر، فاصله دو محور جلو و عقب به‌ترتیب برابر ۲۵۸ و ۲۷۵ سانتی‌متر بود.

میزان مصرف سوخت

تجزیه واریانس مربوط به مصرف سوخت(لیتر در هکتار) در سطوح مختلف نوع یا وضعیت تراکتور و عمق شخم (جدول ۱) نشان می‌دهد که فاکتور تراکتور و عمق شخم و اثر متقابل آنها تأثیر معنی داری بر میزان مصرف سوخت دارد. جدول۴ مقایسه میانگین‌های میزان مصرف سوخت (برحسب لیتر در هکتار)، در سطوح مختلف نوع یا وضعیت تراکتور و عمق شخم رادر سطح احتمال۱٪ نشان می‌دهد. میزان سوخت مصرفی تمام تراکتورها با افزایش عمق شخم، افزایش یافته است اما بیشترین و کمترین میزان مصرف سوخت، هر دو مربوط به تراکتور فرگوسن ۳۹۹ سنگین نشده می‌باشد که بهنگام اجرای شخم در عمق‌های ۳۰–۲۵ و ۲۰–۱۵ به ترتیب با مقادیر ۳۱/۴۲ و ۱۵/۹۵ لیتر در هکتار واقع شده است. دلیل میزان مصرف سوخت کمتر در شخم سطحی با این تراکتور را می‌توان ناشی از پایین بودن وزن و توان اسمی این تراکتور دانست، چرا که این تراکتور با وزن کل ۳۸/۳ kN و توان ۱۱۰ اسب بخار در مقایسه با تراکتور جان دبر ۴۲۳۰ با وزن کل kN ۴۰ و توان ۱۲۰ اسب بخار نیاز به مصرف سوخت کمتری دارد. اما با سنگین تر کردن تراکتورها، افزایش میزان مصرف سوخت مشاهده می‌گردد که دلیل آن را می‌توان ناشی از افزایش مقاومت غلتشی (جدول ۶) در اثر افزایش بار محوری دانست. دلیل

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.40.10.5]

جدول ۴. مقایسه میانگین های مصرف سوخت (لیتر در هکتار) در سطوح مختلف نوع یا وضعیت تراکتور و عمق شخم

عمق شخم »» / تراکتور	۱۵–۲۰ (cm)	۲۰–۲۵ (cm)	۲۵–۳۰ (cm)	میانگین
فرگوسن۳۹۹	۱۵/۹۵ h	۱۹/۶۳ f	۳۱/۴۲ a	۲۲/۳۴ A
جان دیر ۴۲۳۰	۱۷/۸۹ g	۲۰/۳۷ f	۲۳/۱۰ d	۲۰/۴۵ C
فرگوسن ۳۹۹ سنگین شده	۱۷/۶۰ g	۱۹/۷۹ f	۲۷/۴۲ b	۲۱/۶۰ B
جان دیر ۴۲۳۰ سنگین شده	۱۸/۵۸ g	۲۱/۵۹ e	۲۴/۲۰ c	۲۱/۴۵ B
میانگین	۱۷/۵۰ C	۲۰/۳۴ B	۲۶/۵۳ A	

میانگین‌هایی که با حروف کوچک مشترک نشان داده شده اند دارای اختلاف معنی دار نمی‌باشند (دانکن ۱٪).
میانگین‌هایی که با حروف بزرگ مشترک نشان داده شده اند دارای اختلاف معنی دار نمی‌باشند (دانکن ۱٪).

مشاهده بیشترین میزان مصرف سوخت در تراکتور فرگوسن ۳۹۹ سنگین نشده در شخم عمیق را می‌توان ناشی از بالا بودن میزان درصد لغزش چرخ‌های محرک و پایین بودن بازده کششی تراکتور فوق دانست. چرا که این تراکتور در شخم عمیق با میزان لغزشی معادل ۵۹٪ و بازده کششی ۳۶/۵٪ دارای بیشترین میزان تلفات قدرت بوده و میزان مصرف سوخت بیشتری را برای اجرای عملیات شخم مصرف می‌کند. لذا قابل ذکر است که در تراکتور فرگوسن ۳۹۹ با سنگین کردن تراکتور در شخم عمیق بر خلاف تصور میزان چهار لیتر در هکتار از مصرف سوخت تراکتور کاسته شده است، چراکه با سنگین کردن این تراکتور میزان لغزش از ۵۹٪ به ۳۴/۶٪ کاهش یافته است.

بازده کششی

جدول ۱ تجزیه واریانس مربوط به بازده کششی را در سطوح مختلف نوع یا وضعیت تراکتور و عمق شخم نمایش می‌دهد. در سطح احتمال ۱٪ سطوح مختلف نوع یا وضعیت تراکتور، عمق شخم و اثر متقابل این دو فاکتور بر بازده کششی تأثیر معنی‌داری دارد. جدول ۵ مقایسه میانگین بازده کششی در سطوح مختلف نوع یا وضعیت تراکتور و عمق شخم را در سطح احتمال ۱٪ نشان می‌دهد. با افزایش عمق شخم برای هر نوع یا وضعیت تراکتور کاهش بازده کششی مشاهده می‌گردد که در این میان کمترین مقدار بازده کششی متعلق به تراکتور فرگوسن ۳۹۹ سنگین نشده در شخم عمیق و بیشترین بازده کششی مربوط به تراکتور جاندیر ۴۲۳۰ سنگین نشده در عمق شخم سطحی می‌باشد، که مقادیر مربوطه به ترتیب برابر با ۳۶/۵٪و ۷۰/۵٪ است. مطلب قابل ذکری که از این جدول استنتاج می‌گردد این است که برای تراکتور فرگوسن ۳۹۹ در شخم سطحی با سنگین نمودن چرخ‌های محرک عقب تراکتور، برخلاف تراکتور جان دیر ۴۲۳۰ و تحقیقات لغوی و ملا صادقی، که بر روی تراکتور فرگوسن ۲۸۵ و فرگوسن ۲۸۵ سنگین شده انجام داده‌اند، بازده کششی افزایش نشان داده است(۵). از این مطلب چنین می‌توان استنباط نمود که تراکتور فرگوسن ۳۹۹ سنگین نشده توانایی کشش گاوآهن چهار خیش را حتی در اجرای شخم سطحی، در حد بازده کششی مطلوب ندارد و بازده کششی ۶۴/۹٪ مقدار مطلوبی برای شخم سطحی نیست. لذا با سنگین نمودن این تراکتور و افزایش گیرایی چرخ‌ها با سطح زمین میزان بازده کششی به ۶۷/۱٪ رسیده است.

با توجه به این که میزان لغزش با بازده کششی رابطه عکس دارد، یعنی با افزایش میزان لغزش چرخ‌ها میزان بازده کششی کاهش می‌یابد، حتی با سنگین نمودن تراکتور فرگوسن۳۹۹ در

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.40.10.5]

جدول۵. مقایسه میانگین‌های بازده کششی (درصد) در سطوح مختلف نوع یا وضعیت تراکتور و عمق شخم

عمق››› / تراکتور	۱۵–۲۰ (cm)	۲۰–۲۵ (cm)	۲۵–۳۰ (cm)	میانگین
فرگوسن۳۹۹	۶۴/۹۳ de	۶۰/۴۳ g	۳۶/۵۴ I	۵۳/۹۷ C
جان دیر ۴۲۳۰	۷۰/۴۹ a	۶۶/۷۵ bc	۶۳/۹۹ ef	۶۷/۰۸ A
فرگوسن ۳۹۹ سنگین شده	۶۷/۱۰ bc	۶۳/۱۵ f	۵۳/۰۶ h	۶۱/۱۰ B
جان دیر ۴۲۳۰ سنگین شده	۶۹/۷۰ a	۶۷/۸۳ b	۶۵/۹۳ cd	A۶۸/۱۲
میانگین	۶۸/۰۶ A	۶۴/۵۴ B	۵۴/۸۸ C	

میانگین‌هایی که با حروف کوچک مشترک نشان داده شده‌اند دارای اختلاف معنی دار نمی‌باشند (دانکن ۱٪).

میانگین‌هایی که با حروف بزرگ مشترک نشان داده شده‌اند دارای اختلاف معنی دار نمی‌باشند (دانکن ۱٪).

حین اجرای شخم عمیق با گاوآهن برگردان‌دار میزان لغزش از ۵۹٪ به ۳۴/۵٪ رسیده. که باز هم درصد لغزش غیر قابل قبول و بازده کششی در حدود ۵۳٪ است که تا حداقل قابل قبول فاصله زیادی دارد. با توجه به جدول ۵ مشخص می‌گردد که تراکتور جان دیر ۴۲۳۰ فقط در اجرای شخم عمیق با سنگین نمودن تراکتور، بازده کششی آن به‌طور معنی داری افزایش یافته است ولی در مورد تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ در کلیه سطوح عمق شخم اعم از سطحی یا عمیق، بازده کششی با افزایش بار محوری (سنگین نمودن تراکتور) افزایش معنی داری داشته است. اگر بازده کششی ۶۵٪ به عنوان حد اقل بازده کششی قابل قبول فرض شود، در این صورت می‌توان نتیجه گرفت که تراکتور جان دیر ۴۲۳۰ فقط در اجرای شخم عمیق نیاز به سنگین کردن چرخ‌های محرک دارد ولی تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ سنگین نشده در هیچ‌یک ازسطوح عمق شخم، بازده کششی قابل قبول ندارد. ولی با سنگین نمودن آن در اجرای شخم سطحی بازده کششی در حد قابل قبولی قرار می‌گیرد. ولی برای اجرای شخم‌های عمیق تر باید از تراکتور سنگین‌تری مانند جان دیر ۴۲۳۰ استفاده نمود و یا تعداد خیش‌ها را از ۴ به ۳ کاهش داد.

مقاومت غلتشی

جدول ۱ تجزیه واریانس نیروی مقاومت غلتشی چرخ‌های محرک تراکتور در سطوح مختلف نوع یا وضعیت تراکتور به هنگام شخم با گاوآهن برگرداندار را نشان می‌دهد. با توجه به این‌که با روش آزمون دو تراکتوری امکان اندازه گیری مقاومت غلتشی در سطوح مختلف عمق شخم غیر ممکن است، برای تجزیه واریانس نیروی مقاومت غلتشی از طرح بلوک‌های کامل تصادفی از نوع یک فاکتوره استفاده گردیده است، در جدول تجزیه واریانس مقاومت غلتشی، تنها عامل تأثیر گذار نوع و وضعیت تراکتورها می‌باشد که در سطح احتمال ۱٪ دارای اثر معنی داری بر مقاومت غلتشی می‌باشد.

جدول ۶ مقایسه میانگین‌های مقاومت غلتشی (برحسب کیلو نیوتن) در نوع یا وضعیت‌های مختلف تراکتورها را نشان میدهد. با توجه به این‌که در تعیین نیروی مقاومت غلتشی تأثیرعمق شخم منظور نگردیده است، لذا در جدول میانگین‌ها، عمق شخم قید نشده است. از آنجایی که درآزمون مزرعه‌ای جهت تعیین مقاومت غلتشی ازروش آزمون دو تراکتوری استفاده گردیده است، بنابر این برای عمق‌های مختلف کاری تنها یک نیروی مقاومت غلتشی به‌دست می‌آید. در این جدول ارقام مربوط به مقاومت غلتشی، میانگین تکرارهای آزمایش برای هر نوع یا وضعیت تراکتورها می‌باشد و مبین آن است که با افزایش بار محوری(سنگین نمودن) تراکتورها اختلاف معنی داری در مقدار مقاومت غلتشی هر دو تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ و جان دیر ۴۲۳۰ مشاهده می‌شود و می‌توان نتیجه گرفت

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.40.10.5]

جدول۶. مقایسه میانگین های مقاومت غلتشی چرخهای محرک در سطوح مختلف نوع یا وضعیت تراکتور

تراکتور	میانگین مقاومت غلتشی(kN)
فرگوسن ۳۹۹	۴/۴ D
جان دیر ۴۲۳۰	۴/۶ C
فرگوسن ۳۹۹ سنگین شده	۴/۷ B
جان دیر ۴۲۳۰ سنگین شده	۵/۳ A

میانگین‌هایی که با حروف بزرگ مشترک نشان داده شده‌اند دارای اختلاف معنی دار نمی‌باشند (دانکن ۱٪).

جدول ۷. میانگین شاخص مخروطی خاک مزرعه آزمایشی در عمق صفر تا ۱۶ سانتی‌متری بر حسب کیلوپاسکال قبل وبعد از عبور تراکتورها

قبل از عبور تراکتورها	بعد ازعبور MF-399	بعد ازعبور MF-399 سنگین شده	بعد ازعبورJD-4230	بعد ازعبور JD-4230 سنگین شده
۱۳۵۴	۱۷۳۴	۲۲۴۸	۲۰۵۰	۲۴۸۰

که افزایش بار محوری موجب افزایش مقاومت غلتشی می‌گردد.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص مخروطی خاک

نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری شاخص مخروطی خاک در قبل و بعد از عبور تراکتور سنگین شده و سنگین نشده در عمق ۱۶- ۰ سانتی‌متری برحسب کیلو پاسگال، در جدول ۷ آورده شده است.

از آنجایی خاک با شاخص مخروطی بیش از ۱۴۰۰ کیلو پاسگال جزء خاک‌های متراکم بشمار میرود(۶)، با توجه به داده‌های بالا می‌توان نتیجه گرفت که خاک مزرعه مورد ارزیابی، تقریباً سنگین و متراکم بوده و عبور تراکتورها در وضعیت‌های مختلف بر میزان شاخص مخروطی خاک افزوده است. اما بیشترین افزایش شاخص مخروطی مربوط به بعد ازعبور تراکتور JD-4230 سنگین شده و کمترین افزایش شاخص مخروطی مربوط به بعد ازعبورتراکتور MF-399 سنگین نشده بوده که علت این امر ناشی از اختلاف وزن تراکتورها و درصد لغزش چرخ‌های محرک آنها می‌باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به این‌که بازده کششی تراکتور فرگوسن ۳۹۹ سنگین شده در اجرای شخم سطحی در محدوده قابل قبولی (بیش از ۶۵٪) قرار دارد(جدول ۵) و هم‌چنین به‌دلیل توان اسمی پایین تر نسبت به تراکتور جان دیر ۴۲۳۰، استفاده از این تراکتور در اجرای شخم سطحی با گاوآهن برگرداندار چهار خیش نیمه سوار پیشنهاد می‌شود. اما در اجرای شخم نیمه عمیق و عمیق تراکتور مسی ـ فرگوسن ۳۹۹ حتی در وضعیت سنگین شده نیز قابلیت رقابت با تراکتور جان دیر ۴۲۳۰ را ندارد. در حالت کلی تراکتور فرگوسن ۳۹۹ برای بارهای کششی سبک و تراکتور جان دیر۴۲۳۰ برای بارهای کششی سنگین پیشنهاد می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱. ابطحی، ع.، ن. کریمیان و م. صلحی. ۱۳۷۰. *گزارش مطالعات خاک شناسی نیمه تفضیلی اراضی منطقه باجگاه استان فارس*. انتشارات دانشگاه شیراز.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.40.10.5]

۲. الکوک، رالف. ۱۳۸۱. *سیستم‌های تراکتور و ادوات خاکورزی*. ترجمه علیمردانی، رضا. نشر علوم کشاورزی. تهران.

۳. باقری مرندی، م. و د. سعادت نژاد. ۱۳۸۱. تحقیق و بررسی نتایج آزمون تراکتورهای ITM-399 و ITM – 285 . گزارش تحقیقاتی مرکز توسعه مکانیزاسیون کشاورزی، وزارت کشاورزی، تهران.

۴. علیزاده، ا. ۱۳۷۸. *رابطه آب و خاک و گیاه*. دانشگاه امام رضا(ع)، مشهد.

۵. لغوی، م. و ا. ملاصادقی. ۱۳۸۱. ارزیابی و مقایسه بازده کششی دو تراکتور میان قدرت در ایران. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۶(۲): ۱۷۷-۱۸۶.

۶. ملکی، ع. ۱۳۸۱. تأثیر دور موتور، نسبت انتقال جعبه دنده و بار محوری بر عملکرد کششی و مصرف سوخت تراکتور فرگوسن ۲۸۵. پایان نامه کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

7. Botta, G. F., D. Jorajuria and L. M. Draghi. 2002. Influence of the axle load, tire size and configuration on the compaction of a freshly tilled clay soil. J. Terramechanics 39(1):47-54.
8. Burt, E. C. and P. W. L. Lune. 1985. Velocity effects on traction performance**.** Trans. ASAE. 28: 1729-1730**.**
9. Dwyer, K. J. 1978. Maximizing agricultural tractor performance by matching weight, tyre size and speed to the power available. Proc. 6th. Int. Conf. Int. Soc. Terrain – Vehicle System, Vienna.
10. Goering, C. E. and A. C. Hansen. 2004. Engine and Tractor Power. 4th Edition. ASAE Textbook No. 3. ASAE, St. Joseph, MI 49085-9659,USA.
11. Hauck, D., V. Hofman and H. Kucera. 1984. Traction – horsepower demonstration. ASAE Paper No. 84 – 1061, St. Joseph, MI 49085, U.S.A.
12. Masumi, A. A. and M. Loghavi. 1994. Evaluation and comparison of traction performance of two common tractors in Iran. Iran Agric. Res. 13: 77-95.
13. Matthes, R. K., W. F. Watson, I. W. Savelle and D. L. Sirois. 1988. Effect of load and speed on fuel consumption of a rubber-tired skidder. Trans. ASAE. 31(1): 37-39.
14. Placket, C. W. 1985. A reviw of force prediction method for off-road wheels. J. Agric. Eng. Res. 31: 1-29.
15. RNAM. Test Code and Procedure for Agricultural Machinery.1983. Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. Technical Series, No.12.
16. Wail Ullah, M. and S. S. Kofoed. 1987. Performance study of a two wheel tractor. A. M.A. 18(40):19-22.
17. Zoz, F. M. and R. D. Grisso. 2003. Traction and Tractor Performance. ASAE distinguished lecture series No.27. ASAE, St. Joseph, MI, 49085-9659, USA.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.40.10.5]