

تأثیر قفل دیفرانسیل بر میزان لغزش چرخ‌های محرک و مصرف سوخت تراکتور در اجرای شخم با گاواهن برگردان‌دار

سجاد رستمی^{۱*}، ابراهیم آقابابائی^۲، شاهین بشارتی^۳ و بهرام حسین‌زاده سامانی^۴

چکیده

این پژوهش برای بررسی تأثیر استفاده از قفل دیفرانسیل بر میزان لغزش چرخ‌های محرک و مصرف سوخت تراکتورهای ITM285 و ITM399 انجام شد. در این پژوهش، متغیرها شامل عمق شخم (دو سطح ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر) و قفل دیفرانسیل (استفاده و عدم استفاده از قفل دیفرانسیل) بودند. آزمایش‌ها به صورت طرح اسپلیت پلات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی سه تکرار اجرا شد. آزمایش‌ها در شرایط یکسان مزرعه‌ای و در حالت گاورو بودن زمین در مزرعه پژوهشی دانشگاه شهرکرد انجام شد. بررسی فاکتورها با اندازه‌گیری پارامترهای لغزش چرخ‌های محرک، مصرف سوخت تراکتور و زمان طی مسیر انجام شد. نتایج نشان داد که استفاده از قفل دیفرانسیل به هنگام شخم با گاواهن برگردان‌دار در تمامی تراکتورها سبب کاهش سوخت مصرفی و زمان طی مسیر شد. استفاده از قفل دیفرانسیل اثر معنی‌داری بر لغزش چرخ‌های محرک تراکتور داشت، به طوری که با استفاده از قفل دیفرانسیل در همه تراکتورها میانگین میزان لغزش چرخ‌های عقب سمت راست ۱۵/۵۷ درصد و لغزش چرخ‌های عقب سمت چپ ۲۵/۶۴ درصد کمتر شد. همچنین با افزایش عمق شخم میزان لغزش چرخ‌های محرک، مصرف سوخت و زمان طی مسیر در همه تراکتورها و در هر دو وضعیت قفل دیفرانسیل افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: تراکتور، عمق شخم، قفل دیفرانسیل، لغزش چرخ‌ها، مصرف سوخت.

ارجاع: رستمی س. آقابابائی ا. بشارتی ش. و حسین‌زاده سامانی ب. ۱۳۹۵. تأثیر قفل دیفرانسیل بر میزان لغزش چرخ‌های محرک و مصرف سوخت تراکتور در اجرای شخم با گاواهن برگردان‌دار. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۵(۲): ۲۹-۳۷.

۱- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۲- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۳- مربی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۴- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

* نویسنده مسئول: rostami.sajad@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۲۵

مقدمه

نقش انرژی در کارایی و توسعه کشاورزی بسیار تعیین‌کننده است. در سال‌های اخیر مصرف انرژی، به ویژه استفاده از سوخت‌های فسیلی در کشاورزی افزایش زیادی داشته است. در عملیات کشاورزی بیشترین مصرف سوخت مربوط به تراکتور است (Janulevicius & Damanauskas, 2015). عملکرد کششی یک تراکتور در مزرعه تأثیر عمده‌ای در مصرف سوخت و زمان صرف شده برای عملیات خاک‌ورزی دارد. در ضمن لغزش زیاد چرخ‌های کششی تراکتور در اثر برش لایه بالایی خاک و تبدیل آن به یک لایه بدون مقاومت که به شدت در معرض فرسایش قرار دارد، سبب وارد کردن خسارت به خاک می‌شود (Battiato & Diserens, 2013). پس، بهینه‌سازی عملکرد کششی تراکتور در مدیریت خاک‌ورزی بسیار مهم است (Janulevicius et al., 2013; Battiato & Diserens, 2013; Battiato et al., 2013; Damanauskas et al., 2015). یکی از قسمت‌های تراکتور که تا حد زیادی مشکلات مربوط به کشش را مرتفع ساخته، قفل دیفرانسیل است. قفل دیفرانسیل اجازه می‌دهد که تمام گشتاور برای یک چرخ (چرخ با کشش بیشتر) مصرف شود در صورتی که دیفرانسیل گشتاور را بین چرخ‌های محرک توزیع می‌کند (Rostami, 2003). پژوهش‌هایی در زمینه شبیه‌سازی تأثیر کنترل دیفرانسیل بر نرخ کار تراکتور از سوی داکوسن و همکاران انجام شد. نتایج این پژوهش‌ها نشان داد که حداکثر سرعت حرکت و حداکثر نرخ کار زمان قفل بودن دیفرانسیل است (Duquesne et al., 1995a,b). در بررسی دیگری سیستم کنترل لغزش خودکار چرخ برای تراکتورهای دو چرخ محرک در مزرعه بررسی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که این سیستم در مقایسه با سیستم کنترل کشش از سوی راننده، مصرف سوخت را به میزان ۲۰ تا ۳۰ درصد کاهش داد و ظرفیت مزرعه‌ای به میزان ۷ تا ۳۸ درصد افزایش و بازده کششی ۴ تا ۱۰ درصد بهتر شد (Pranav et al., 2012). در بررسی‌ای از سوی Fathollahzadeh et al. (2010) اثر تغییر عمق گاوآهن برگردان‌دار بر میانگین مصرف و مصرف لحظه‌ای سوخت تراکتور بررسی شد که نتایج نشان داد افزایش عمق از ۱۵ به ۲۵ سانتی‌متر سبب افزایش ۹/۶۶ درصدی و از ۱۵ به ۳۵ سانتی‌متر موجب افزایش ۲۴/۱ درصدی در مصرف سوخت شد. در پژوهش

دیگری نتایج اجرای شخم عمیق با تراکتور فرگوسن ۳۹۹ نشان داد این تراکتور در حالت تک دیفرانسیل و سنگین نشده با میزان ۵۹ درصد لغزش، بیشترین لغزش و در وضعیت دو دیفرانسیل و سنگین نشده با میزان ۱۵/۵ درصد لغزش، کمترین لغزش را داشته است (Loghavi & Mollasadeghi, 2002). در بررسی‌ای از سوی Ghobadian (2006) و Rostami & سیستم کنترل مکانیکی قفل دیفرانسیل تراکتور MF285 طراحی و ساخته شد. نتایج آزمایش‌های انجام شده با این سیستم نشان داد که مجموع لغزش چرخ‌های محرک تراکتور در هنگام انجام عملیات خاک‌ورزی توسط گاوآهن برگردان‌دار کم می‌شود. نتایج پژوهش‌های دیگر نشان داد که در عملیات شخم‌زنی با گاوآهن برگردان‌دار و دیسک، افزایش عمق شخم سبب افزایش مصرف سوخت می‌شود. همچنین در همه عمق‌ها افزایش لغزش سبب افزایش مصرف سوخت و کاهش ظرفیت مزرعه‌ای شده است (Moitzi et al., 2006; Moitzi et al., 2014). پژوهش‌های دیگری نیز تأثیر فشار باد لاستیک و افزودن وزنه بر عملکرد کششی تراکتور را بررسی کردند. کاهش فشار باد لاستیک‌ها و افزودن وزنه سبب بهبود عملکرد کششی شد. این در حالی است که مصرف ویژه سوخت با کاهش فشار باد لاستیک‌ها کاهش و با افزودن وزنه افزایش یافت (Monteiro et al., 2013; Kurkauskas et al., 2014; Damanauskas et al., 2015). در پژوهش دیگری روش جدیدی برای کنترل بهینه کشش پیشنهاد شد. این پژوهش بر اساس تخمین پارامترهای کشش از طریق بازخورد گشتاور محرک انجام شد. مدل حاصل از این پژوهش قادر به تخمین منحنی‌های مشخصه کامل نسبت کشش خالص در مقابل لغزش است (Osinenko et al., 2015). آمار گزارش شده در آمارنامه کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی (2011) نشان می‌دهد که بیشترین آمار ادوات خاک‌ورزی مربوط به گاوآهن برگردان‌دار یک‌طرفه با تعداد ۳۱۴۹۸۵ دستگاه (۴۰/۷۳ درصد از کل ادوات خاک‌ورزی) و بیشترین آمار تراکتورها مربوط به تراکتورهای فرگوسن (ITM) با تعداد ۲۰۲۴۴۲ دستگاه (۵۳/۵ درصد از کل تراکتورهای موجود در کشور) است (Anonymous, 2011). پس در این پژوهش تأثیر استفاده از قفل دیفرانسیل بر مصرف لغزش چرخ‌های محرک، میزان مصرف سوخت و مدت زمان طی مسیر این نوع تراکتور در

همه تراکتورها (جدول ۱) اندازه‌گیری لغزش چرخ‌های محرک، مصرف سوخت تراکتور و زمان طی مسیر در فاصله‌های طولی ۷۰ متر انجام شد.

برای اندازه‌گیری دقیق سوخت مصرفی، از یک ظرف مدرج پلاستیکی ۱۰۰۰ سی‌سی باریک و بلند استفاده شد. بدین منظور حجم سوخت موجود در استوانه در شروع و پایان هر تکرار ثبت و از تفاضل این دو عدد، میزان سوخت مصرفی محاسبه شد. در حین انجام آزمایش‌ها از این استوانه به عنوان جایگزین باک گازوئیل تراکتور استفاده شد.

هنگام عملیات شخم‌زنی با گاوآهن برگردان‌دار در دو عمق مختلف خاک‌ورزی بررسی شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در شرایط یکسان مزرعه‌ای و در رطوبت متوسط ۲۲ درصد در دو عمق شخم ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری با گاوآهن برگردان‌دار سه خیش با عرض کار ۱۱۰ سانتی‌متر و با چرخ تثبیت عمق در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد که دارای بافت خاک رسی لومی (۳۸ درصد رس، ۳۷ درصد سیلت و ۲۵ درصد شن) است، انجام شد. در

جدول ۱- مشخصات تراکتورها

تعداد سیلندر	تعداد چرخ‌های محرک	توان تراکتور (hp)	وزن (kg)	نوع تراکتور
۶	۴WD	۱۱۰	۳۵۸۶	ITM399
۴	۴WD	۷۵	۳۱۱۴	ITM285
۴	۲WD	۷۵	۲۸۱۲	ITM285

و عمق خاک ورزی به عنوان فاکتور فرعی به صورت فاکتوریل در نظر گرفته شدند. تجزیه و تحلیل آماری نتایج حاصل از آزمون‌ها با نرم‌افزار SAS در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تأثیر استفاده از قفل دیفرانسیل و تغییر عمق بر عملکرد تراکتور ITM 285 2WD

جدول ۲ نتایج حاصل از آزمون‌های انجام شده با تراکتور ITM 285 2WD را در دو حالت استفاده و عدم استفاده از قفل دیفرانسیل نشان می‌دهد. میزان سوخت مصرفی، زمان طی مسیر و لغزش چرخ عقب سمت راست در حالت استفاده از قفل دیفرانسیل نسبت به حالتی که از قفل دیفرانسیل استفاده نشد، کمتر بوده و تفاوت لغزش چرخ مذکور در دو حالت معنی‌دار نیست. اما تأثیر استفاده از قفل دیفرانسیل در هنگام عملیات شخم با گاوآهن برگردان‌دار بر لغزش چرخ عقب سمت چپ در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده و میزان تفاوت لغزش در دو حالت عدم استفاده از قفل و استفاده از قفل دیفرانسیل ۳۰/۲۴ درصد است. دلیل این امر درگیری کمتر چرخ عقب سمت چپ تراکتور نسبت به چرخ سمت راست آن به دلیل رطوبت کمتر سطح خاک، وزن کمتر روی چرخ و وجود

برای اندازه‌گیری میزان لغزش چرخ‌ها ابتدا روی چرخ‌های محرک تراکتور علامت‌گذاری شد و هر تراکتور بدون بار (حرکت تراکتور با گاوآهن بدون انجام شخم) روی زمین، مسیر ۷۰ متر را طی کرده و تعداد دور چرخ‌های محرک آن یادداشت و میزان لغزش چرخ‌ها از رابطه زیر محاسبه شد (Shrinivasa et al., 2009):

$$S = \frac{n_1 - n_0}{n_1} \times 100 \quad (1)$$

که در رابطه بالا S درصد لغزش چرخ محرک، n_0 تعداد دور چرخ محرک در حالت بدون بار و n_1 تعداد دور چرخ محرک در حالت بار است. در طول انجام آزمایش‌ها نیز در حالیکه تراکتور زیر بار (در حالت شخم زدن در دو عمق ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر) همین مسافت را طی کرد، تعداد دور چرخ‌های محرک، میزان سوخت ظرف مدرج در شروع و پایان حرکت و زمان صرف شده برای طی مسیر ۷۰ متر در دو حالت استفاده و عدم استفاده از قفل دیفرانسیل یادداشت شد.

تجزیه و تحلیل آماری

آزمایش‌ها به صورت طرح اسپلیت پلات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی برای هر تراکتور جداگانه در سه تکرار انجام شد، که تراکتورها به عنوان فاکتور اصلی و قفل دیفرانسیل

هماهنگی دارد (Ghobadian & Rostami, 2006;)
(Momeni Abkharaki et al., 2005).

بقایای گیاهی در زیر این چرخ و در نتیجه کاهش درگیری و افزایش لغزش آن نسبت به چرخ عقب سمت راست است. نتایج این پژوهش در این زمینه با پژوهش‌های قبلی

جدول ۲- مقایسه میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده در تراکتور ITM 285 2WD

مصرف سوخت (سی‌سی)	زمان طی مسیر (دقیقه)	لغزش چرخ عقب راست (درصد)	لغزش چرخ عقب چپ (درصد)	حالت قفل دیفرانسیل
۱۴۶/۷ ^a	۱:۳۳ ^a	۲۲/۵ ^a	۲۶/۷ ^a	عدم قفل
۱۳۵ ^a	۱:۲۹ ^a	۲۰/۵ ^a	۲۰/۵ ^b	با قفل

سوخت مصرفی برای این تراکتور در این آزمون حدود ۲ لیتر در هکتار (افزایش ۱۱/۲۵ درصدی) است. نتایج این پژوهش در زمینه افزایش سوخت مصرفی در اثر افزایش عمق خاک‌ورزی با نتایج پژوهش‌های دیگر همسو است (Moitzi et al., 2006; Fathollahzadeh et al., 2010;) (Karimi et al., 2012).

در جدول ۳ نتایج حاصل از آزمون‌های مختلف در دو عمق برای تراکتور ITM 285 2WD با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همان‌گونه که در این جدول دیده می‌شود با افزایش عمق، برای تراکتور مذکور همه موارد شامل میزان سوخت مصرفی، زمان طی مسیر، لغزش چرخ‌های عقب سمت راست و سمت چپ با افزایش همراه بوده ولی در هیچ‌کدام از موارد تفاوت معنی‌دار نبوده است. تفاوت در میزان

جدول ۳- مقایسه میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده در تراکتور ITM 285 2W در دو عمق متفاوت شخم

مصرف سوخت (سی‌سی)	زمان طی مسیر (دقیقه)	لغزش چرخ عقب راست (درصد)	لغزش چرخ عقب چپ (درصد)	عمق شخم (سانتی‌متر)
۱۳۳/۳ ^a	۱:۳۰ ^a	۲۰/۴ ^a	۲۲/۲ ^a	۲۰
۱۴۸/۳ ^a	۱:۳۱ ^a	۲۲/۷ ^a	۲۵ ^a	۳۰

عقب سمت راست ۳۰/۷ درصد و برای لغزش چرخ عقب سمت چپ ۳۸/۴ درصد است. نتایج به دست آمده در مورد این تراکتور در مقایسه با تراکتور ITM 285 2WD نشان می‌دهد میزان لغزش چرخ‌های عقب تراکتور چهار چرخ محرک کمتر از میزان لغزش چرخ‌های عقب تراکتور دو چرخ محرک است. با توجه اینکه توان تولیدی هر دو تراکتور یکسان است، اما در عین حال در این تراکتور به دلیل جفت دیفرانسیل بودن، توزیع توان در بین محورها بهتر انجام می‌شود (Serrano et al., 2009).

تأثیر قفل دیفرانسیل و تغییر عمق بر عملکرد تراکتور ITM 285 4WD به حالت چهارچرخ محرک
جدول ۴ نتایج حاصل از آزمون‌های انجام شده با تراکتور ITM 285 4WD با وضعیت چهار چرخ محرک را در دو حالت استفاده و عدم استفاده از قفل دیفرانسیل نشان می‌دهد. لغزش چرخ‌های عقب سمت راست و چپ به طور معنی‌داری در سطح ۵ درصد در حالت استفاده از قفل دیفرانسیل در مقایسه با حالت عدم استفاده از قفل دیفرانسیل کمتر شده است. این کاهش برای لغزش چرخ

جدول ۴- مقایسه میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده در تراکتور ITM 285 4WD به حالت چهار چرخ محرک

مصرف سوخت (سی‌سی)	زمان طی مسیر (دقیقه)	لغزش چرخ عقب راست (درصد)	لغزش چرخ عقب چپ (درصد)	لغزش چرخ‌های جلو (درصد)	حالت قفل دیفرانسیل
۱۲۳/۳ ^a	۱:۱۶ ^a	۸/۸ ^a	۹/۹ ^a	۱۶/۱ ^a	عدم قفل
۱۱۸/۳ ^a	۱:۱۶ ^a	۶/۱ ^b	۶/۱ ^b	۱۶/۴ ^a	با قفل

امر به دلیل نیاز به توان مال‌بندی بیشتر برای شخم زدن در عمق‌های زیادتر است (Moitzi et al., 2014; Janulevicius et al., 2013).

در جدول ۵ نتایج حاصل از آزمون‌های مختلف در دو عمق برای تراکتور ITM 285 4WD با یکدیگر مقایسه شده‌اند. با افزایش عمق برای تراکتور مذکور میزان سوخت مصرفی، زمان و لغزش همه چرخ‌ها با افزایش همراه بوده است. این

جدول ۵- مقایسه میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده تراکتور ITM 285 4WD (به حالت چهار چرخ محرک) در دو عمق متفاوت

عمق شخم (سانتی‌متر)	لغزش چرخ عقب چپ (درصد)	لغزش چرخ عقب راست (درصد)	لغزش چرخ جلو چپ (درصد)	لغزش چرخ جلو راست (درصد)	زمان طی مسیر (دقیقه)	مصرف سوخت (سی‌سی)
۲۰	۱۵/۸ ^a	۱۵/۹ ^a	۶/۱ ^b	۵/۴ ^b	۱:۱۵ ^a	۱۲۰ ^a
۳۰	۱۶/۸ ^a	۱۷/۴ ^a	۹/۹ ^a	۹/۵ ^a	۱:۱۶ ^a	۱۲۱/۷ ^a

دیفرانسیل استفاده نشد، کم شده است. اما، تفاوت در دو حالت معنی‌دار نیست. لغزش چرخ‌های عقب سمت راست و چپ به طور معنی‌داری در سطح ۵ درصد در حالت استفاده از قفل دیفرانسیل در مقایسه با حالت عدم استفاده از قفل دیفرانسیل کمتر شده است. Jenane et al. (1996) در پژوهشی که روی تراکتورهای چهارچرخ محرک انجام دادند به نتایج مشابهی رسیدند.

تأثیر استفاده از قفل دیفرانسیل و تغییر عمق در تراکتور ITM.285 4WD به حالت دو چرخ محرک
جدول ۶ نتایج حاصل از آزمون‌های انجام شده با تراکتور ITM 285 4WD با وضعیت دو چرخ محرک را در دو حالت استفاده و عدم استفاده از قفل دیفرانسیل نشان می‌دهد. میزان سوخت مصرفی و زمان طی مسیر در حالت استفاده از قفل دیفرانسیل نسبت به حالتی که از قفل

جدول ۶- مقایسه میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده تراکتور ITM 285 4WD به حالت دو چرخ محرک

حالت قفل دیفرانسیل	لغزش چرخ عقب چپ (درصد)	لغزش چرخ عقب راست (درصد)	زمان طی مسیر (دقیقه)	مصرف سوخت (سی‌سی)
عدم قفل	۴۶/۵ ^a	۴۵/۱ ^a	۲:۰۸ ^a	۲۰۸/۳ ^a
باقفل	۴۴ ^b	۴۴ ^b	۲:۰۱ ^a	۱۹۶/۷ ^a

می‌شود. پس، توصیه می‌شود هنگام عملیات خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار، همیشه از این تراکتور به صورت چهار چرخ محرک استفاده شود. در پژوهشی مشابهی که از سوی Soltani Ghalehjoghi & M. Loghavi (2006) انجام شد، تفاوت زیادی در لغزش چرخ‌های محرک در حالت چهارچرخ محرک نسبت به حالت دو چرخ محرک برای تراکتور MF399 به دست آمد.

بر اساس جدول ۷ در تراکتور ITM 285 4WD به حالت دو چرخ محرک با افزایش عمق در هیچ‌کدام از نتایج به دست آمده، تفاوت معنی‌دار نشده است. مقایسه نتایج حاصل از آزمایش‌های این تراکتور در دو حالت دو چرخ محرک و چهار چرخ محرک نشان می‌دهد به دلیل درگیر نبودن چرخ‌های جلو این تراکتور در حالت دو چرخ محرک، افزایش قابل ملاحظه‌ای در میزان لغزش چرخ‌های عقب، سوخت مصرفی و زمان صرف شده برای طی مسیر دیده

جدول ۷- مقایسه میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده تراکتور ITM285 4WD (به حالت دو چرخ محرک) در دو عمق متفاوت

عمق شخم (سانتی‌متر)	لغزش چرخ عقب چپ (درصد)	لغزش چرخ عقب راست (درصد)	زمان طی مسیر (دقیقه)	مصرف سوخت (سی‌سی)
۲۰	۴۵/۲ ^a	۴۴/۸ ^a	۲:۰۸ ^a	۱۹۶/۷ ^a
۳۰	۴۵/۳ ^a	۴۴/۲ ^a	۲:۱۰ ^a	۲۰۸/۳ ^a

تأثیر استفاده از قفل دیفرانسیل و تغییر عمق در

تراکتور ITM 399 4WD به حالت چهار چرخ محرک

جدول ۸ نتایج حاصل از آزمون‌های انجام شده با تراکتور ITM 399 4WD با وضعیت چهارچرخ محرک در دو حالت استفاده و عدم استفاده از قفل دیفرانسیل را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده لغزش چرخ‌های عقب سمت راست و لغزش چرخ‌های عقب سمت چپ در حالت استفاده از قفل دیفرانسیل در مقایسه با حالت عدم استفاده از قفل دیفرانسیل در سطح ۵ درصد

معنی‌دار شده و میزان لغزش درحالت استفاده از قفل دیفرانسیل در مقایسه با حالت عدم استفاده از قفل دیفرانسیل همانند سایر تراکتورها کمتر شده است. این امر نشان‌دهنده تأثیر مثبت استفاده از قفل دیفرانسیل در هنگام خاک‌ورزی است. در حقیقت استفاده از قفل دیفرانسیل سبب حذف عمل دیفرانسیل شده و در نتیجه توان بیشتر به چرخ سمت راست که درگیری بهتری دارد انتقال پیدا کرده و عملکرد تراکتور بهتر می‌شود (Rostami, 2003).

جدول ۸- مقایسه میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده تراکتور ITM 399 4WD به حالت چهار چرخ محرک

مصرف سوخت (لیتر در ساعت)	زمان (دقیقه)	ران (کیلومتر)	ران (کیلومتر)	ران (کیلومتر)	ران (کیلومتر)	ران (کیلومتر)
۱۹۸/۳ ^a	۱:۴۱ ^a	۵/۷ ^a	۵/۴ ^a	۶/۶ ^a	۵/۴ ^a	عدم قفل
۱۹۸/۳ ^a	۱:۴۲ ^a	۳/۵ ^b	۳/۵ ^b	۵/۸ ^a	۵/۲ ^a	باقفل

نتایج جدول ۹ برای مقایسه دو عمق شخم در تراکتور ITM 399 4WD را نشان می‌دهد که تغییر در میزان لغزش فقط در چرخ‌های جلو راست و چپ معنی‌دار بوده است و با افزایش عمق میزان این لغزش بیشتر شده

است. این امر نشان از ضرورت افزایش درگیری بیشتر چرخ‌های جلو با زمین برای کشش و غلبه بر مقاومت در مقابل حرکت بوده است.

جدول ۹- مقایسه میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده تراکتور ITM 399 4WD به حالت چهار چرخ محرک در دو عمق متفاوت

مصرف سوخت (لیتر در ساعت)	زمان (دقیقه)	ران (کیلومتر)	ران (کیلومتر)	ران (کیلومتر)	ران (کیلومتر)	ران (کیلومتر)
۱۸۶/۷ ^a	۱:۴۰ ^a	۴/۳۳ ^a	۴/۰۵ ^a	۴/۳ ^b	۳/۵ ^b	۲۰
۲۱۰ ^a	۱:۴۴ ^a	۴/۸۷ ^a	۴/۸۷ ^a	۸/۱ ^a	۷/۱ ^a	۳۰

تأثیر استفاده از قفل دیفرانسیل و تغییر عمق در

تراکتور ITM399 4WD به حالت دو چرخ محرک

جدول ۱۰ نتایج حاصل از آزمون‌های انجام شده با تراکتور ITM 399 4WD با وضعیت دوچرخ محرک را در دو حالت استفاده و عدم استفاده از قفل دیفرانسیل نشان می‌دهد. بر اساس جدول، زمان طی مسیر در حالت استفاده از قفل در مقایسه با عدم استفاده از قفل

دیفرانسیل معنی‌دار و کاهش یافته است. بنابر این استفاده از قفل دیفرانسیل سبب افزایش سرعت انجام خاک‌ورزی شده است. همچنین تفاوت لغزش چرخ عقب سمت راست و چرخ عقب سمت چپ در دو حالت عدم استفاده از قفل و استفاده از قفل دیفرانسیل معنی‌دار بوده و نشان دهنده کاهش لغزش در حالت استفاده از قفل دیفرانسیل است. مقایسه نتایج این تراکتور در حالت دو چرخ محرک نسبت

به چهار چرخ محرک نشان می‌دهد که لغزش چرخ‌ها در حالت دو چرخ محرک به دلیل تحمل بار مال‌بندی با دو چرخ نسبت به حالت چهارچرخ افزایش یافته و تأثیر قفل دیفرانسیل در این حالت مشهودتر و در نتیجه ضروری‌تر به نظر می‌رسد.

جدول ۱۰- مقایسه میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده تراکتور ITM 399 4WD به حالت دو چرخ محرک

مصرف سوخت (سی سی)	زمان طی مسیر (دقیقه)	لغزش چرخ عقب راست (درصد)	لغزش چرخ عقب چپ (درصد)	حالت قفل دیفرانسیل
۲۰۵ ^a	۱:۴۵ ^a	۸/۰۳ ^a	۹/۴ ^a	عدم قفل
۱۹۶/۷ ^a	۱:۴۱ ^b	۴/۰۳ ^b	۴/۰۳ ^b	باقفل

معنی‌دار مشاهده نمی‌شود. دلیل این امر توان کششی بالاتر این تراکتور نسبت به سایر تراکتورها در شرایط انتخابی در آزمون‌ها است. در پژوهش دیگری که با همین تراکتور و در هنگام استفاده از گاوآهن چهار خیش، که نیاز به توان مال‌بندی بیشتری نسبت به گاوآهن سه خیش نیاز دارد، انجام شد، میزان لغزش چرخ‌های محرک به مراتب بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده در این پژوهش بوده و نتایج در حالت استفاده از وضعیت چهار چرخ محرک تفاوت بیشتری با حالت دو چرخ محرک داشت (Loghavi & Mollasadeghi, 2002).

در جدول ۱۱ نتایج حاصل از آزمون‌های مختلف در دو عمق برای تراکتور ITM 399 4WD به حالت دو چرخ محرک با یکدیگر مقایسه شده است. همان‌طور که در این جدول قابل مشاهده است با افزایش عمق برای تراکتور مذکور میزان سوخت مصرفی، زمان طی مسیر و لغزش چرخ‌های عقب سمت راست و چپ افزایش یافته و معنی‌دار است که همانند سایر تراکتورها بوده و با پژوهش‌های انجام شده قبلی هماهنگی دارد (2013; Stajko et al., 2009 Janulevicius et al.). مقایسه اطلاعات جدول‌های ۸ تا ۱۱ نشان دهنده این امر است که در این تراکتور در حالت استفاده از سیستم چهار چرخ محرک در مقایسه با حالت دو چرخ محرک تفاوت

جدول ۱۱- مقایسه میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده تراکتور ITM 399 4WD به حالت دو چرخ محرک در دو عمق متفاوت

مصرف سوخت (سی سی)	زمان طی مسیر (دقیقه)	لغزش چرخ عقب راست (درصد)	لغزش چرخ عقب چپ (درصد)	عمق شخم (سانتی‌متر)
۱۸۸/۳ ^b	۱:۳۹ ^b	۳/۴ ^b	۳/۴ ^b	۲۰
۲۱۳/۳ ^a	۱:۴۶ ^a	۸/۶ ^a	۱۰ ^a	۳۰

مربوط به این تراکتور بوده است. به نظر می‌رسد دلیل این امر افزایش وزن تراکتور ITM 285 4WD نسبت به تراکتور ITM 285 2WD است. این اضافه وزن روی اکسل جلو اعمال شده است. این امر سبب شده تا در شرایط دوچرخ محرک بودن این تراکتور، چرخ‌های محرک عقب آن بر بار مقاوم بیشتری نسبت به تراکتور ITM 285 2WD غلبه کند و در نتیجه مصرف سوخت و لغزش چرخ‌ها نسبت به تراکتور ITM 285 2WD افزایش یابد. در حالتی که این تراکتور در حالت چهار چرخ محرک استفاده شود، چرخ‌های جلو نیز در کشش به کمک چرخ‌های عقب آمده و در نتیجه عملکرد تراکتور بهتر می‌شود. پس، بر اساس نتایج این پژوهش توصیه می‌شود که از تراکتور ITM 285

مقایسه میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده در همه تراکتورها

میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده در همه تراکتورها در جدول ۱۲ نشان داده شده است. مقایسه نتایج با یکدیگر نشان دهنده این امر است که بیشترین مصرف سوخت و لغزش چرخ‌ها مربوط به تراکتور ITM 285 4WD است که به صورت دو چرخ محرک استفاده شده است. در حقیقت این تراکتور در این پژوهش بدترین عملکرد را نسبت به دو تراکتور دیگر داشته است. از طرف دیگر، نکته مهم این است که در همین شرایط این تراکتور در حالت چهارچرخ محرک بهترین عملکرد را در بین سایرین داشته است. در حقیقت کمترین میزان مصرف سوخت و لغزش چرخ‌ها

نیست. عدم تناسب ادوات با تراکتور سبب افزایش مصرف سوخت و تلفات انرژی می‌شود (Sirelkatim et al., 2001). پس با وجود این که لغزش چرخ‌های محرک این تراکتور کمترین مقدار را دارد در این شرایط بهتر است از تراکتور ITM 285 استفاده کرد. برای بهبود عملکرد این تراکتور (ITM 285) و کاهش لغزش چرخ‌ها می‌توان تا حدودی وزن روی چرخ‌های محرک را به روش‌های مختلف مانند پر کردن لاستیک‌های عقب با آب یا کاهش فشار باد لاستیک‌ها افزایش داد (Battiato & Diserens, 2013; Monteiro et al., 2013; Damanauskas et al., 2013; Monteiro et al., 2013).

4WD در هنگام عملیات خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار به صورت چهارچرخ محرک استفاده شود. بررسی نتایج در مورد تراکتور ITM 399 4WD نشان می‌دهد که عملکرد این تراکتور نیز در حالت چهارچرخ محرک نسبت به حالت دوچرخ محرک بهتر است. مقایسه نتایج این تراکتور با تراکتور ITM 285 2WD نشان می‌دهد که مصرف سوخت تراکتور ITM 285 2WD کمتر است. دلیل این امر این است که گاوآهن مخصوص تراکتور ITM 399 4WD توجه به توان بالاتر آن چهارچرخش است و استفاده از این تراکتور با گاوآهن سه خیش به ویژه در زمین‌های با خاک سبک تا متوسط و در شرایط با مقاومت کم اقتصادی

جدول ۱۲- مقایسه میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده در همه تراکتورها

نوع تراکتور	لغزش چرخ عقب راست (درصد)	لغزش چرخ عقب چپ (درصد)	میانگین لغزش چرخ‌های راست و چپ (درصد)	مصرف سوخت (سی‌سی)
ITM 285 2WD	۲۱/۵ ^b	۲۳/۶ ^b	۲۲/۵ ^b	۱۴۰/۸ ^b
ITM 285 4WD	۷/۵ ^c	۸ ^c	۷/۷۵ ^c	۱۲۰/۸ ^b
حالت چهارچرخ محرک 4WD	۴۴/۵ ^a	۴۵/۳ ^a	۴۴/۹ ^a	۲۰۲/۵ ^a
ITM 285 4WD	۴/۶ ^c	۴/۵ ^d	۴/۵۵ ^c	۱۹۸/۳ ^a
حالت دوچرخ محرک 2WD	۶/۱ ^c	۶/۷ ^{cd}	۶/۴ ^c	۲۰۰/۸ ^a
ITM 399 4WD				
حالت چهارچرخ محرک 4WD				
حالت دوچرخ محرک 2WD				

نتیجه‌گیری

- استفاده از قفل دیفرانسیل در هر دو عمق خاک‌ورزی سبب بهبود عملکرد همه تراکتورها شده است.
- با افزایش عمق خاک‌ورزی مصرف سوخت، زمان طی مسیر و لغزش چرخ‌های محرک افزایش پیدا کرد.
- بدترین عملکرد (مصرف سوخت ۲۰۲/۸ سی‌سی، میانگین لغزش چرخ‌های محرک ۴۴/۹ درصد) مربوط به تراکتور ITM 285 4WD در حالت دو چرخ محرک بود.
- بهترین عملکرد (مصرف سوخت ۱۲۰/۸ سی‌سی، میانگین لغزش چرخ‌های محرک ۷/۷۵ درصد) نیز مربوط به همین تراکتور و در شرایط چهار چرخ محرک بود.
- عملکرد تراکتورهای چهارچرخ محرک در حالت چهارچرخ محرک بهتر از حالت دو چرخ محرک است.

منابع

1. Anonymous. 2001. Statistics letters of Agriculture, Second Volume, Office of Statistics and Information Technology, Ministry of Agriculture of Iran, <http://www.maj.ir/portal>.
2. Battiato, A. and Diserens, E. 2013. Influence of Tyre Inflation Pressure and Wheel Load on the Traction Performance of a 65 kW MFWD Tractor on a Cohesive Soil. Journal of Agricultural Science, 5(8): 197-215.
3. Battiato, A. Diserens, E. Laloui, L. and Sartori, L. 2013. A Mechanistic Approach to Topsoil Damage due to Slip of Tractor Tyres. Journal of Agricultural Science and Applications, 2(3): 160-168.
4. Damanauskas, V. Janulevicius, A. and Pupinis, G. 2015. Influence of extra weight and tire pressure on fuel consumption at normal tractor slippage. Journal of Agricultural Science, 7(2): 55-67.
5. Duquesne, F. Kermis, L. and Verschchoore, R. 1995a. Influence of differential locking on tractor work rate: Part I, simulation of a single axle vehicle. Journal of Agricultural Engineering Research, 60: 201-209.

- of an agricultural tractor in function of tire inflation pressure. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering*, 33(4): 758-763.
17. Osinenko, V. O. Mike, G. and Thomas, H. 2015. A method of optimal traction control for farm tractors with feedback of drive torque. *Biosystems engineering*, 129: 20-33.
 18. Pranav, P. K. Tewari, V. K. Pandey, K. P. and Jha, K. R. 2012. Automatic wheel slip control system in field operations for 2WD tractors. *Computers and Electronics in Agriculture*, 84: 1-6.
 19. Rostami, S. 2003. Design, Fabrication, Testing and Evaluation of Mechanical Differential Lock Control system for MF285 Tractor. Faculty of Agriculture. Tarbiat Modarres University. 92 p (In Farsi).
 20. Serrano, J. M. Peça, J. O. Silva, J. R. and Márquez, L. 2009. The effect of liquid ballast and tyre inflation pressure on tractor performance. *Biosystems Engineering*, 102(1): 51-62.
 21. Shrinivasa, K. William, J. John, V. Dvora-Laio, W. and Thomas, R. 2009. Advances in soil dynamics: volume 3. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
 22. Sirelkatim, K. Hasan, A. and Mohamed, O. 2001. The Effect of Some Operating Parameters on Field Performance of A 2WD Tractor. *Scientific Journal of King Faisal University (Basic and Applied Sciences)*, 2(1): 153-166.
 23. Soltani Ghalehjoghi, A. R. and Loghavi, M. 2007. The Effects of Axle Load and Draft Force on Tractive Efficiency and Fuel Consumption of Two High Performance Tractors during Plowing with a Semi-mounted 4-Bottom Moldboard Plow. *Journal of science and technology of agriculture and natural resources*, 11(40): 125-136 (In Farsi).
 24. Stajnko, D. Lakota, M. Vučajnk, F. and Bernik, R. 2009. Effects of Different Tillage Systems on Fuel Savings and Reduction of CO2 Emissions in Production of Silage Corn in Eastern Slovenia. *Polish Journal of Environmental Studies*, 18(4): 711-716.
 6. Duquesne, F. Kermis, L. and Verschchoore, R. 1995b. Influence of differential locking on tractor work rate: Part II, simulation of a two-wheel-drive tractor when turning. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 64: 79-92.
 7. Fathollahzadeh, H. Mobli, H. Rajabipour, A. Minaee, S. Jafari, A. and Tabatabaie, S. M. H. 2010. Average and instantaneous fuel consumption of Iranian conventional tractor with moldboard plow in tillage, *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 5(2): 30-35.
 8. Ghobadian, B. and Rostami, S. 2006. Design, Fabrication and Evaluation of Mechanical Differential Lock Control Mechanism. *Journal of agricultural science*, 11(1): 71-84. (In Farsi).
 9. Jenane, C. Bashford, L. and Monroe, G. 1996. Reduction of fuel consumption through improved tractive performance. *Journal of Agriculture Engineering Research*, 64: 131-138.
 10. Janulevicius, A. Antanas, J. and Pupinis, G. 2013. Tractor's engine performance and emission characteristics in the process of ploughing. *Energy Conversion and Management*, 75: 498-508.
 11. Janulevicius, A. and Damanauskas, V. 2015. How to select air pressures in the tires of MFWD (mechanical front-wheel drive) tractor to minimize fuel consumption for the case of reasonable wheel slip. *Energy*, 90: 691-700.
 12. Karimi, I. Mousavi Seyedi, S. R. and Tabatabaekoloor, R. 2012. Performance evaluation of a light tractor during plowing at different levels of depth and soil moisture content. *Journal of Applied and Basic Science*, 3(3): 626-631.
 13. Kurkauskas, V. Algirdas, J. and Pupinis, G. 2014. Performance of 4 WD tractor on graveled road. 13th International Scientific Conference Engineering for Rural Development, Jelgava, LATVIA, 29.-30 May. 55-67.
 14. Moitzi, G. Wagentristl, H. Refenner, K. Weingartmann, H. Piringer, G. Boxberger, J. and Gronauer, A. 2014. Effects of working depth and wheel slip on fuel consumption of selected tillage implements. *Agricultural Engineering International CIGR Journal*, 16(1): 182-188.
 15. Moitzi, G. Weingartmann, H. and Boxberger, J. 2006. Effects of tillage systems and wheel slip on fuel consumption. *Energy Efficiency and Agricultural Engineering. International Scientific Conference, Rousse, Bulgaria*.
 16. Monteiro, L. A. Daniel, A. Kleber, L. Bueno A. and Masiero F. 2013. Energetic efficiency

