

ساخت و ارزیابی سامانه‌ی کنترل خودکار راه‌انداز قفل دیفرانسیل تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹

سعادت کامگار^{۱*}، محمد لغوی^۲، علی رضایی^۲، محسن جلیلی^۴

۱. استادیار، گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه شیراز

۲. استاد، گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه شیراز

۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه شیراز

۴. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه شیراز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۶/۲۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۲/۱۴)

چکیده

در این پژوهش سامانه‌ای طراحی و ساخته شد که ضمن فراهم کردن ایمنی، بدون نیاز به دخالت راننده مکانیزم قفل دیفرانسیل را به طور خودکار در شرایط مختلف کاری کنترل کند. این سامانه از یک برد کنترل اصلی به همراه نمایشگر و صفحه‌کلید تشکیل شده که داده‌های ورودی را پس از دریافت از حسگرهای نصب شده روی چرخ‌ها و میل‌فرمان، آنالیز کرده و با توجه به شرایطی که برای آن تعیین شده کنترل عملگر را که یک جک هیدرولیکی است، فعال می‌کند. آزمایش مزرعه‌ای به منظور بررسی تأثیر عوامل دنده (در دو سطح دنده یک و دو)، روش حرکت تراکتور (در دو سطح حرکت روی شیار شخم قبلی و حرکت روی زمین شخم نخورده) و حالت قفل دیفرانسیل (در دو سطح معمولی و تحت کنترل سامانه‌ی ساخته شده) بر لغزش چرخ‌های محرک و مصرف سوخت تراکتور MF399 با گاوآهن سوار برگردان‌دار سه خیش در سه تکرار اجرا گردید. برای بررسی داده‌ها از آزمایش فاکتوریل $2 \times 2 \times 2$ در قالب بلوک‌های کامل تصادفی استفاده شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که پارامترهای روش حرکت و حالت دیفرانسیل تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ و دنده در سطح احتمال ۵٪ بر لغزش چرخ‌های محرک داشتند. همچنین فاکتور حالت دیفرانسیل تأثیر بسیار معنی‌داری بر مصرف سوخت نشان داد، به طوری که با درگیر شدن قفل دیفرانسیل تحت کنترل سامانه، مصرف سوخت به طور متوسط ۲۵ تا ۴۰ درصد کاهش یافت. تمامی نتایج حاکی از آن است که استفاده‌ی مداوم از سامانه کنترل قفل دیفرانسیل برای کاهش مصرف انرژی و افزایش بازدهی و ظرفیت مزرعه‌ای تراکتور لازم و ضروری است.

واژه‌های کلیدی: تراکتور، لغزش چرخ، قفل دیفرانسیل، بازده کششی، سامانه‌ی کنترل خودکار راه‌انداز قفل دیفرانسیل

مقدمه

در عملیات کشاورزی تراکتور اصلی‌ترین وسیله‌ی مصرف‌کننده و تبدیل‌کننده‌ی انرژی به طریق مکانیکی می‌باشد، بنابراین افزایش عملکرد کششی یک تراکتور در مزرعه که می‌تواند در افزایش بازدهی تراکتور و صرفه‌جویی سوخت مؤثر باشد، از اهمیت بالایی برخوردار است (Baloch et al., 1991). تراکتورها در انواع مختلفی از توان موتوری، قدرت کششی و سیستم‌های کنترل گوناگون به همراه امکانات جانبی گسترده‌ای، با هدف افزایش بازده کششی و تولید توان با مصرف بهینه به بازار عرضه می‌شوند. سیستم‌های انتقال توان از عوامل مهم و مؤثری هستند که ضمن انتقال توان از موتور به چرخ‌ها نقش تعیین‌کننده‌ی در فراهم کردن بازده گشتاوری بالا دارند. در این میان

دیفرانسیل مؤثرترین قسمت سیستم انتقال توان در انتقال گشتاور به چرخ‌های تراکتور می‌باشد (Ismaili Alibany, 2006). در اکثر تراکتورها که از دیفرانسیل‌های معمولی استفاده می‌گردد، در بسیاری از موارد مشاهده می‌شود که علی‌رغم بالا بودن توان لگامی نمی‌توان از حداکثر گشتاور قابل تولید تراکتور جهت کشیدن ادوات کشاورزی استفاده نمود. یعنی تراکتور هنگام کار لغزش زیادی دارد و مقدار زیادی از توان محوری آن تلف می‌گردد و نهایتاً بازده کششی تراکتور پایین آمده و از عمر مفید لاستیک‌ها کاسته می‌شود (Masoumi and Loghavi, 1994).

لغزش چرخ‌های محرک تراکتور موقعی که در زمین کار می‌کند به طور قابل توجهی مشهود است، مخصوصاً در شرایطی که زمین به گونه‌ای باشد که درگیری چرخ‌ها با خاک مناسب نباشد. همچنین میزان این لغزش متناسب با افزایش نیروی مقاومت مالبندی افزایش می‌یابد (Goering, 1979). نتیجه‌ی

* نویسنده مسئول: kamgar@shirazu.ac.ir

در صورت اختلاف سرعت بین چرخ‌های محرک ولتاژ خروجی مولدها نیز متفاوت شده و این اختلاف ولتاژ موجب راه‌اندازی ترمز چرخ با سرعت دورانی بیشتر می‌شود. نمونه‌ی کاربردی مشابه این روش را می‌توان در تراکتور ورسو شرکت والترا^۱ مشاهده کرد که نسل هوشمند تراکتورهای تولیدی این شرکت می‌باشد. طبق کاتالوگ تبلیغاتی، قفل دیفرانسیل آن با کنترل الکترونیکی ترمز چند دیسکی صورت می‌گیرد (Anonymous c, 2012).

Louckes (1973) مدلی را طراحی کرد که در آن از یک اهرم فشاری استفاده شده بود. این اهرم یک سلنویید را به کار می‌انداخت و یک حسگر سرعت، اهرم قفل دیفرانسیل را زمانی که سرعت پیشروی بالا باشد به حالت عادی برمی‌گرداند. Hattori ((1980 با توجه به سیستم قفل دیفرانسیل به کار برده شده در ماشین‌های راه‌سازی و توجه به اینکه درگیر شدن قفل دیفرانسیل در سرعت‌های بالا علاوه بر کاهش عمر قطعات از لحاظ ایمنی نیز خطرناک است، مدلی را طراحی کرد که امکان درگیر شدن قفل در سرعت بالا وجود نداشت. در این مدل با استفاده از هوای تحت فشار و یک سلنویید که در مسیر جریان سیال قرار دارد درگیر شدن قفل دیفرانسیل را به محل قرارگیری اهرم دنده‌ی تراکتور (دنده ۱ و ۲ و ۳ و عقب) وابسته می‌سازد.

Jewett (1982) یک نوع قفل دیفرانسیل برای تراکتور طراحی کرد که در آن از یک اسپول هیدرولیکی و یک سلنویید استفاده شده بود. سلنویید از طریق یک مدار به وسیله‌ی حسگرهای سرعت و فرمان کنترل می‌شد. در حالت‌هایی که سرعت حرکت تراکتور یا میزان چرخش فرمان به میزان از قبل تعیین شده می‌رسید، سیستم از درگیری خارج می‌شد. Saverio (1990) در طرحی استفاده از کلاچ‌های گروهی روی محور چرخ‌ها را ارائه داد، در صورت قفل بودن دیفرانسیل اگر راننده اقدام به دور زدن نماید نیرویی بیش از نیروی درگیری کلاچ به آن وارد شده و کلاچ آزاد می‌گردد، در نتیجه سرعت دورانی اکسل‌های چپ و راست متفاوت از یکدیگر خواهد شد.

Orbach and Schubert ((1996 با تلفیقی از سیستم‌های هیدرولیکی و الکترونیکی و استفاده از حسگرهای لازم مدلی را طراحی کردند که در زمان مواجه شدن با شرایط بحرانی، قفل دیفرانسیل را آزاد می‌کرد. خروجی حسگرهای به کار رفته به

عدم کنترل لغزش، افزایش تلفات توان است. بیشتر از نصف توان به چرخ محرک دارای درگیری کمتر با زمین (زمین‌گیرایی ضعیف‌تر) منتقل شده و در نتیجه چرخ سریع‌تر می‌چرخد. از طرفی میزان فرمان‌پذیری و حرکت در مسیر مستقیم نیز کاهش می‌یابد (Goering, 1979).

برای کنترل لغزش در دیفرانسیل‌های معمولی از مکانیزم قفل دیفرانسیل بهره گرفته می‌شود (Liljedahl et al., 1979). وقتی قفل دیفرانسیل درگیر می‌شود، حامل را به یکی از چرخ‌دنده‌های جانبی قفل می‌کند، در نتیجه سرعت هر دو اکسل مساوی می‌شود، اما گشتاورهای دو اکسل الزاماً با هم مساوی نیستند. گشتاور می‌تواند در چرخ محرک دارای کشش بیشتر یا درگیری بهتر با زمین، بالاتر باشد و بیشترین توان به آن منتقل شود (Goering, 1979). درگیر بودن قفل دیفرانسیل در هنگام دور زدن و سرعت پیشروی بالا خطرناک و حادثه‌آفرین است که باید در این موارد (شرایط بحرانی) قفل از درگیری خارج گردد (Borgman, 1974; Liljedahl et al., 1979).

در تراکتورهایی که سیستم عمل‌کننده‌ی قفل دیفرانسیل آن‌ها به صورت مکانیکی است، با استفاده از یک پدال پایی قفل درگیر می‌شود. در برخی از تراکتورها باید پدال مربوطه توسط راننده فشرده نگه‌داشته شود (تراکتور MF285 پر تیراژترین تراکتور داخلی)، که در این حالت امکان استفاده‌ی مداوم از راننده گرفته می‌شود. در برخی دیگر که سیستم نگه‌دارنده‌ی پدال دارند، اگر راننده در این حالت فرمان تراکتور را از حرکت در مسیر مستقیم خارج کند منجر به واژگونی آن می‌گردد.

با توجه به دیفرانسیل‌ها که امروزه با طراحی‌های مختلفی عرضه می‌شوند روش‌های متعددی را می‌توان برای قفل کردن دیفرانسیل به کار برد. در این زمینه محققین متعددی سیستم‌های متفاوتی را طراحی کرده‌اند تا ضمن بهینه کردن مکانیزم از خطرات استفاده از قفل دیفرانسیل نیز بکاهند.

سال ۱۹۲۴ فوکر، اولین کسی بود که طرحی برای قفل کردن دیفرانسیل ارائه داد. هدف وی از این طرح قفل کردن محورهای دو چرخ به هم برای بیرون آوردن ماشین در زمان گیر کردن در چاله بود (Focher, 1924).

Orchard & Neisch (۱۹۷۲) استفاده از ترمزهای مستقل را برای کنترل گشتاور خروجی دیفرانسیل پیشنهاد کردند. نحوه‌ی کار سیستم بر پایه‌ی اختلاف سرعت بین چرخ‌های محرک بود. به این نحو که اگر یکی از چرخ‌ها به دلیل کاهش زمین‌گیرایی و اصطکاک با سطح سریع‌تر بچرخد با ترمز گرفتن دور آن را کم می‌کند. برای این منظور دو مولد الکتریکی در نظر گرفته شده که توسط چرخ‌های محرک به گردش در می‌آیند که

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش اجزای ذیل ساخته شد: ۱- سیستم اندازه‌گیری سرعت واقعی حرکت تراکتور؛ ۲- سیستم اندازه‌گیری لغزش چرخ‌های محرک؛ ۳- سیستم اندازه‌گیری و تشخیص زاویه گردش افقی چرخ‌های جلو (فرمان‌بر)؛ ۴- مدار هیدرولیکی عملگر (سیلندر دوطرفه) و مکانیزم اتصال آن؛ ۵- ساخت و نصب شاسی‌های نگهدارنده‌ی حسگرها.

جهت اندازه‌گیری سرعت واقعی چرخ‌ها و در نتیجه اندازه‌گیری میزان لغزش آن‌ها، از یک حسگر مجاورتی القایی با نام تجاری (LM18-3008 PC) ساخت شرکت میتسوبیشی الکتریک (MITSUBISHI ELECTRIC) ژاپن استفاده گردید. این حسگرها بر روی اکسل چرخ‌ها (چرخ جلو و دو چرخ عقب) و در قسمت داخلی رینگ چرخ توسط پایه‌های ساخته شده، طوری نصب شدند که در فاصله‌ی مناسب و لازم نسبت به صفحه‌ی دورانی رینگ چرخ‌ها قرار گیرند (شکل ۱- الف). هشت عدد پیچ بر روی تویی چرخ‌ها برای نگاه‌داشتن چرخ به اکسل قرار دارد که از آن‌ها به عنوان نقاط حس استفاده گردید (شکل ۱- ب). به این ترتیب با هر دور چرخش چرخ، ۹ پالس (که پالس اول و نهم از یک نقطه تحریک می‌شود) به پردازشگر مرکزی ارسال می‌گردد.



ب

واحد پردازش فرستاده و تصمیم لازم برای ادامه‌ی درگیری و یا آزاد شدن قفل دیفرانسیل صادر می‌شود.

Kyrtsos (2002) طرحی برای کنترل قفل دیفرانسیل استفاده شده در خودروها بر اساس درجه حرارت ارائه داد، که به منظور جلوگیری از وارد آمدن آسیب به قفل دیفرانسیل در اثر استفاده‌ی مداوم از آن بود.

Momeni Abkharaki *et al.* (2004) نیز طرحی مبنی بر قفل دیفرانسیل نیمه اتوماتیک برای تراکتور MF285 ارائه نمودند، که در آن قفل پس از درگیری توسط راننده در شرایط بحرانی (چرخاندن فرمان، افزایش سرعت و استفاده از ترمزهای مستقل) توسط یک سلونوئید آزاد می‌شود.

Ghobadian & Rostami (2005) طرحی برای کنترل مکانیکی قفل دیفرانسیل تراکتور MF285 ارائه دادند، که روشی برای درگیر کردن قفل بدون دخالت راننده بود.

با توجه به مطالعات انجام شده از سوی و کمبود منابع اطلاعاتی در داخل کشور از سوی دیگر، تحقیقی با هدف پیاده کردن یک سیستم مکانیزه برای کنترل گشتاور چرخ‌های محرک از طریق کنترل مکانیزم قفل دیفرانسیل تعبیه شده در پوسته‌ی دیفرانسیل تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ چهار چرخ محرک به وسیله‌ی تشخیص شرایط کاری متغیر تراکتور، با در نظر گرفتن سرعت حرکت، لغزش چرخ‌ها و زاویه دوران فرمان انجام گردید.



الف

شکل ۱. الف - محل نصب حسگر بر روی چرخ، ب - پیچ‌های تویی چرخ

گردش چرخ‌ها تنظیم و میزان چرخش فرمان توسط پردازنده قابل تشخیص گردید (شکل ۲). حداکثر زاویه دوران ایمن چرخش چرخ‌ها در حالت قفل بودن دیفرانسیل، برابر ۱۵ درجه نسبت به راستای حرکت مستقیم در نظر گرفته شد.

مدار میکروکنترلر پس از طراحی و رسم توسط نرم‌افزار آلتیوم نسخه‌ی زمستان ۲۰۰۹ بر روی برد مسی چاپ و

جهت تشخیص تغییر زاویه افقی چرخ‌های جلو (فرمان‌بر) از یک پتانسیومتر مدل (3590S-2-103L) ساخت شرکت بارنز (Bourns) تایوان استفاده گردید. برای این منظور یک شاسی بر روی محور محرک نصب و پتانسیومتر نیز توسط یک شاسی انعطاف‌پذیر (فنری) بر روی آن و در تماس با سطح شاسی متحرک (وابسته به حرکت جک فرمان) قرار داده شد. با توجه به جابه‌جایی زاویه‌ای محور پتانسیومتر (متناسب با جابه‌جایی خطی شاسی متحرک)، ولتاژ خروجی نسبت به میزان زاویه‌ی

قطعات الکترونیکی لازم بر روی آن نصب شد (شکل ۳).

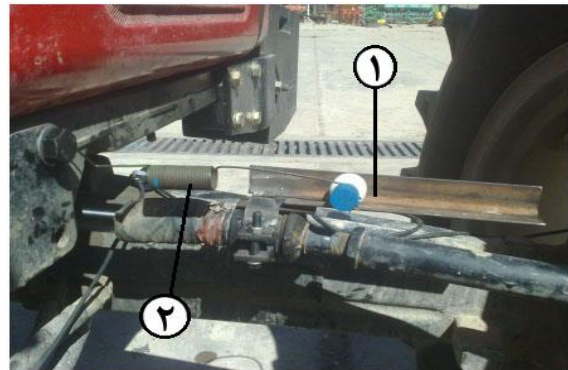


الف



ب

شکل ۴. الف - قطعه فنری اتصال سیلندر هیدرولیک به پین قفل دیفرانسیل



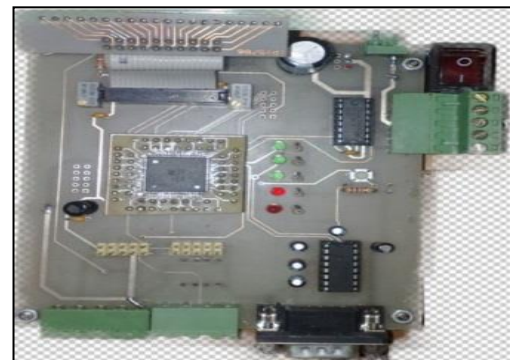
شکل ۲. سیستم تشخیص میزان گردش چرخ‌ها: ۱- پایه متحرک وابسته به جابجایی جک فرمان، ۲- پایه ثابت و انعطاف پذیر

ب- نحوه قرارگیری عملگر به همراه اتصالات مربوطه به منظور ارزیابی اثر آن بر لغزش چرخ‌های محرک عقب و مصرف سوخت، سامانه‌ی کنترل قفل دیفرانسیل بر روی تراکتور MF399 نصب و راه‌اندازی گردید. مکانیزم ساخته شده بایستی در شرایط مختلف کاری تراکتور مورد آزمون قرار گیرد، برای این منظور تراکتور را در دو حالت معمولی و استفاده از سامانه در دو دنده‌ی یک و دو (لاک‌پشتی- سبک ۱ و ۲) تحت بار کششی شخم با گاوآهن برگردان‌دار سه خیش سوار در زمین زراعی با بقایای گیاهی گندم، در دو شیوه‌ی حرکت در شیار شخم قبلی و روی سطح شخم نخورده به حرکت درآورده و داده‌های مربوط به لغزش چرخ‌های محرک به صورت لحظه‌ای اندازه‌گیری و برای ثبت به رایانه‌ی همراه ارسال گردید. همچنین برای هر آزمایش میزان مصرف سوخت بر حسب میلی‌لیتر اندازه‌گیری و در نهایت به لیتر بر هکتار تبدیل و ثبت شد. آزمایش‌ها در سه تکرار اجرا شدند.

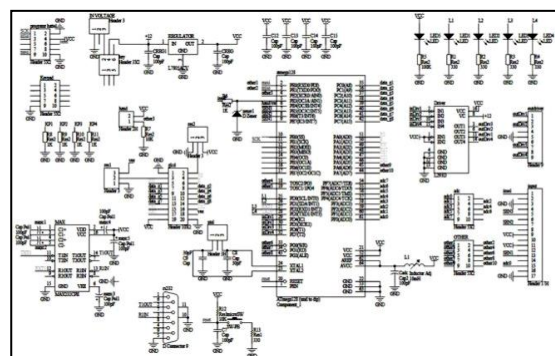
به منظور بررسی و تحلیل داده‌ها از آزمایش فاکتوریل $(2 \times 2 \times 2)$ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی استفاده شد. همچنین برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن^۳ در سطح احتمال یک درصد (۱٪) و LSD در سطح احتمال پنج درصد (۵٪) استفاده شد. برای این منظور نرم‌افزار SAS 9.1 به کار گرفته شد.

نتایج و بحث

مقایسه‌ی میانگین لغزش در دو روش اجرای شخم با توجه به اینکه گشتاور خروجی دیفرانسیل در حالت معمولی برابر گشتاور چرخ با ضعیف‌ترین درگیری است، لغزش چرخ‌های



الف



ب

شکل ۳. الف- نقشه‌ی مدار الکترونیک برد کنترل؛ ب- نمای از برد الکترونیک ساخته شده

برد ساخته شده پس از پردازش اطلاعات از طریق یک شیر برقی سه وضعیت‌ی چهار راهه‌ی مرکز باز، یک سیلندر دوطرفه را به کار می‌اندازد. سیلندر هیدرولیک با توجه به دستوری که از برد دریافت می‌نماید، پین مربوط به قفل دیفرانسیل (در زیر صندلی راننده بر روی پوسته دیفرانسیل) را به سمت داخل فشار داده در نتیجه قفل دیفرانسیل را درگیر و یا با حذف فشار قفل دیفرانسیل را آزاد می‌نماید. جهت جذب نیرو و جابجایی اضافی از طرف سیلندر هیدرولیک به پین قفل دیفرانسیل مکانیزمی مانند شکل ۴ ساخته شد.

پنج درصد (۵٪) معنی‌دار است.

جدول ۱. آنالیز واریانس (ANOVA) داده‌های درصد لغزش چرخ سمت چپ

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات (MS) | F مقدار |
|---|------------|---------------------|----------|
| حالت دیفرانسیل | ۱ | ۲۸۹۹/۱۶ | ۱۳۷/۲۸** |
| نوع دنده | ۱ | ۱۲۲/۴۹ | ۳۵/۸۰* |
| شیوه حرکت تراکتور | ۱ | ۳۱۳۶/۳۹ | ۱۴۸/۵۱** |
| نوع دنده × حالت دیفرانسیل | ۱ | ۲۸۷/۱۸ | ۱۳/۶۰** |
| حالت دیفرانسیل × شیوه حرکت تراکتور | ۱ | ۳۲۰۵/۳۶ | ۱۵۱/۷۸** |
| نوع دنده × شیوه حرکت تراکتور | ۱ | ۱۵۸/۱۱ | ۷/۴۹* |
| نوع دنده × شیوه حرکت تراکتور × حالت دیفرانسیل | ۱ | ۱۳۵/۱۸ | ۶/۴۰* |
| خطا | ۱۶ | ۳۳۷/۹۰ | - |
| جمع کل | ۲۳ | - | - |

** معنی‌دار در سطح ۱٪؛ * معنی‌دار در سطح ۵٪؛ ns عدم معنی‌داری

تجزیه واریانس مربوط به میزان لغزش چرخ سمت راست در سطوح مختلف حالت دیفرانسیل، نوع دنده، شیوه‌ی حرکت تراکتور بر روی زمین در جدول ۲ ارائه شده است. مشاهده می‌شود که اثر فاکتور نوع دنده بر درصد لغزش چرخ سمت راست در سطح احتمال پنج درصد هم معنی‌دار نیست، اما فاکتورهای شیوه‌ی حرکت تراکتور بر روی زمین و حالت دیفرانسیل در سطح احتمال یک درصد (۱٪) معنی‌دار است.

جدول ۲. آنالیز واریانس (ANOVA) داده‌های درصد لغزش چرخ سمت راست

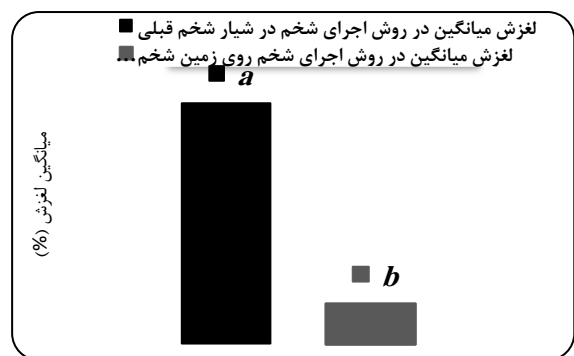
| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | F |
|---|------------|----------------|----------|
| حالت دیفرانسیل | ۱ | ۳۵/۷۰ | ۱۰/۶۶** |
| نوع دنده | ۱ | ۰/۸۲ | ۰/۲۵ ns |
| شیوه حرکت تراکتور | ۱ | ۵۴/۳۳ | ۱۶/۲۳** |
| نوع دنده × حالت دیفرانسیل | ۱ | ۲۴/۶۲ | ۷/۳۶* |
| حالت دیفرانسیل × شیوه حرکت تراکتور | ۱ | ۶۵/۳۱ | ۱۹/۵۱** |
| نوع دنده × شیوه حرکت تراکتور | ۱ | ۱/۰۲ | ۰/۱۰ ns |
| نوع دنده × شیوه حرکت تراکتور × حالت دیفرانسیل | ۱ | ۰/۲۳ | ۰/۱۰۷ ns |
| خطا | ۱۶ | ۵۳/۵۶ | - |
| جمع کل | ۲۳ | - | - |

** معنی‌دار در سطح ۱٪؛ * معنی‌دار در سطح ۵٪؛ ns عدم معنی‌داری

همان‌طور که قبلاً گفته شد برای بررسی اثر فاکتورها بر لغزش تراکتور، مقادیر بیشینه‌ی لغزش مربوط به چرخ‌ها در نظر گرفته شد، چرا که بازده خروجی توان دیفرانسیل، تحت تأثیر لغزش بیشینه است و برای تحلیل دقیق‌تر باید مقادیر بیشینه‌ی لغزش را در نظر گرفت. به همین دلیل در نمودارها و جداول بعدی از در نظر

محرک بر بازده گشتاور خروجی اثر معکوس دارد. یعنی با افزایش میزان لغزش هر کدام از چرخ‌های محرک، گشتاور انتقالی و سرعت واقعی حرکت متناسب با آن کاهش می‌یابند. بنابراین منطقی خواهد بود که برای مقایسه میانگین لغزش، در بین داده‌های مربوط به دو چرخ محرک، داده‌های بزرگ‌تر را در نظر بگیریم.

در شکل ۵ نمودار میله‌ای میانگین لغزش برای هر دو روش اجرای عملیات شخم در شرایط یکسان نمایش داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود با حرکت تراکتور در شیار شخم قبلی میزان لغزش نسبت شخم در زمین نخورده از ۵ درصد به بیش از ۲۵ درصد افزایش یافته است. این اختلاف را می‌توان از دو دید بررسی کرد، نگاه اول مربوط به تغییر در حالت تراکتور است که دلایلی از جمله درگیر شدن چرخ داخل شیار با خاک فشرده و چرخ مقابل با خاک سست، افزایش بار روی چرخ داخل شیار و کاهش بار روی چرخ مقابل متناسب با آن، افزایش سطح تماس چرخ داخل شیار با خاک به دلیل خوابیدگی بیشتر نسبت به چرخ مقابل می‌توانند مشمول آن باشند (دلایلی که بیان شد هر کدام موجب افزایش نیروی مقاومت غلتشی یک چرخ و کاهش آن به همان نسبت و یا بیشتر در چرخ مقابل می‌شوند که دلیل اصلی بکسوات غیر یکسان در چرخ‌های محرک می‌باشد). نگاه دوم مربوط به نحوه‌ی اجرای شخم می‌باشد که چون یک سمت تراکتور در سطح پایین‌تری قرار می‌گیرد میزان نفوذ گاوآهن به داخل خاک بیشتر شده و سبب افزایش مقاومت کششی می‌گردد.



شکل ۵. مقایسه‌ی میانگین لغزش در دو روش اجرای شخم

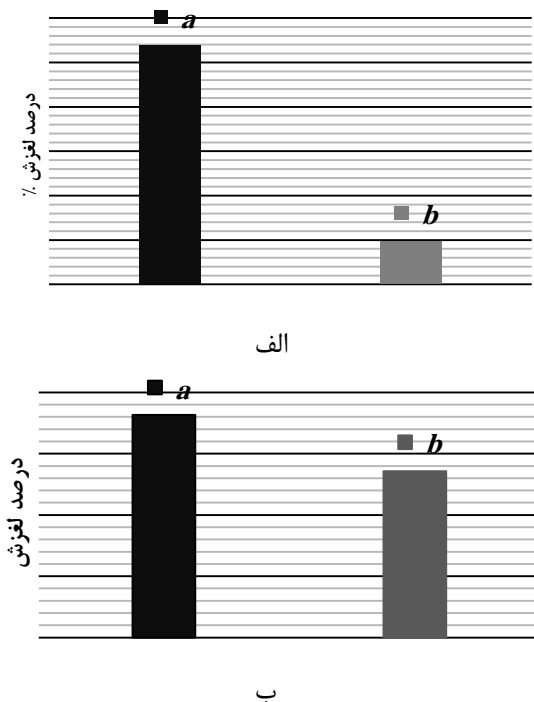
بررسی اثر فاکتورها بر لغزش چرخ‌های محرک

تجزیه واریانس مربوط به میزان لغزش چرخ سمت چپ در سطوح مختلف حالت دیفرانسیل، نوع دنده، شیوه‌ی حرکت تراکتور بر روی زمین در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، اثر فاکتورهای حالت دیفرانسیل و شیوه‌ی حرکت تراکتور بر روی زمین بر درصد لغزش چرخ سمت چپ در سطح احتمال یک درصد (۱٪) و فاکتور نوع دنده در سطح احتمال

هیچ دلیل منطقی نمی‌توان برای این افزایش و معکوس بودن آن با دیگر حالت‌ها ابراز داشت.

Karimi (2007) نیز در بررسی اثر سرعت پیشروی با تراکتور والترا ۸۴۰۰ و گاواهن برگردان‌دار به این نتیجه دست یافت که با افزایش سرعت، با وجود افزایش مقاومت کششی، بازده کششی تراکتور افزایش می‌یابد. چرا که بار دینامیکی وارد بر محور عقب با افزایش سرعت پیشروی افزایش یافته و موجب کاهش لغزش چرخ‌های محرک عقب می‌گردد. از طرفی نتیجه‌ی آن افزایش بازده کششی و ظرفیت مزرعه‌ای و همچنین کاهش مصرف سوخت است.

نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن، نشان‌دهنده‌ی اختلاف معنی‌داری با سطح احتمال یک درصد، بین درصد لغزش در دو حالت دیفرانسیل معمولی و دیفرانسیل قفل شده می‌باشد (شکل ۷-الف). که این امر به مکانیسم عملکرد قفل دیفرانسیل مربوط بوده و کاملاً بدیهی می‌باشد. نتایج آزمون چند دامنه‌ای LSD، در سطح احتمال پنج درصد نشان‌دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار بین درصد لغزش حاصل از تغییر دنده (از دنده یک به دنده دو) می‌باشد (شکل ۷-ب). همان‌گونه که توضیح داده شد تغییر دنده از یک به دو سبب افزایش سرعت حرکت و کاهش گشتاور ورودی به چرخ‌ها می‌گردد که بر روی میزان لغزش چرخ‌ها تأثیرگذار می‌باشد.

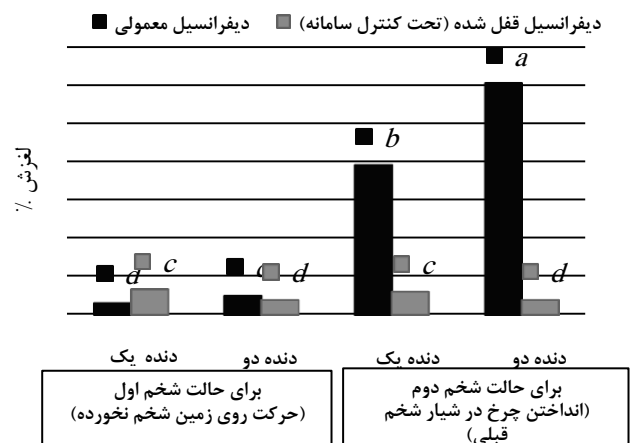


شکل ۷. الف- نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن اثر حالت دیفرانسیل بر لغزش، در سطح اطمینان ۱٪؛
ب- نتایج آزمون چند دامنه‌ای LSD اثر تغییر دنده بر لغزش، در سطح اطمینان ۵٪

در شکل ۸ نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن حاکی از

گرفتن لغزش به طور جداگانه برای هرکدام از چرخ‌های محرک صرف نظر شده و مقادیر بیشینه‌ی چرخ‌ها به عنوان درصد لغزش اصلی برای تراکتور در نظر گرفته می‌شود.

به طوری که در شکل ۶ دیده می‌شود با تغییر حالت شخم از نوع اول به دوم میزان لغزش در حالت دیفرانسیل معمولی بیش از ده برابر شده، در حالی که با قفل شدن دیفرانسیل (توسط سامانه‌ی کنترل) مقدار لغزش تغییر معنی‌داری نسبت به قبل نداشته و در واقع مقدار آن در کمتر از ۵٪ به صورت کنترل شده باقی مانده است. از طرفی دیده می‌شود که اثر تغییر دنده بر مقدار لغزش تأثیر معنی‌داری دارد به طوری که با تغییر دنده از یک به دو در حالت قفل بودن دیفرانسیل کاهش لغزش را مشاهده می‌کنیم، اما در مقابل در حالت دیفرانسیل معمولی با افزایش درصد لغزش روبرو می‌شویم (مقادیر سرعت واقعی حرکت برای دنده‌ی یک برای حالت‌های مختلف بین ۴/۵ تا ۵/۵ کیلومتر بر ساعت و برای دنده دو بین ۷/۳ تا ۸/۳ کیلومتر بر ساعت متغیر بود). تغییر دنده از یک به دو سبب افزایش سرعت حرکت و کاهش گشتاور ورودی به چرخ‌ها می‌گردد، که در حالت قفل بودن دیفرانسیل، توزیع برابر گشتاورها بین چرخ‌های دو سمت سبب کاهش لغزش می‌گردد، اما در حالت دیفرانسیل معمولی منطقی به نظر می‌رسد که افزایش سرعت و کاهش گشتاور ورودی به دلیل توزیع نابرابر گشتاور بین چرخ‌ها سبب افزایش لغزش گردد.



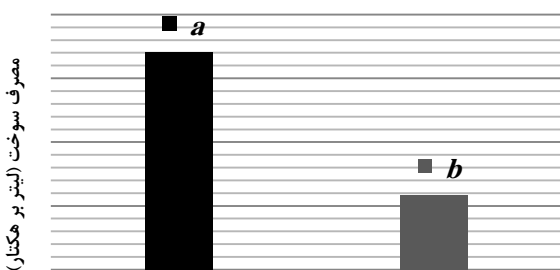
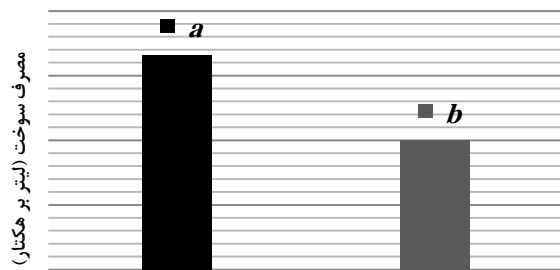
شکل ۶. نمودار مقایسه‌ای اثر فاکتورهای مختلف بر لغزش بیشینه تراکتور

با در نظر گرفتن اثر ساده‌ی قفل دیفرانسیل، به طور کلی می‌توان گفت که در تمامی حالات از میزان درصد لغزش چرخ‌های محرک کاسته می‌شود. البته دلیل بیشتر بودن مقدار لغزش به هنگام تحت کنترل سامانه بودن قفل دیفرانسیل در حالت اول شخم را می‌توان در کم بودن سرعت و یا اختلاف در سطح و شرایط زمین و حتی کیفیت اجرای شخم دانست چون

به کاهش لغزش ناشی از قفل گردیدن دیفرانسیل قابل توجه می‌باشد. همچنین در هر دو روش شخم با دیفرانسیل قفل شده و در یک دنده مشخص، تأثیر معنی‌داری در مصرف سوخت مشاهده نمی‌شود. بنابراین با قفل بودن دیفرانسیل و انتقال برابر گشتاور ورودی به چرخ‌های چپ و راست، روش حرکت تراکتور بر روی زمین شخم خورده و حرکت تراکتور در شیار شخم قبل بر روی میزان مصرف سوخت بی‌تأثیر می‌باشد.

همچنین میزان مصرف سوخت در تمامی حالات با تغییر دنده از یک به دو روند کاهشی داشته و کمترین مقدار مصرف سوخت مربوط به حالت شخم اول (شخم در زمین شخم نخورده) در دنده‌ی دو به میزان متوسط مصرف کمتر از ۲۰ لیتر در هکتار می‌باشد.

با توجه به شکل ۱۰ دیده می‌شود که در حالت دیفرانسیل معمولی با تغییر حالت شخم از حرکت بر روی زمین شخم نخورده به روش انداختن چرخ در شیار شخم قبلی، میزان مصرف سوخت به طور معنی‌داری افزایش یافته است، این افزایش مصرف سوخت با توجه به افزایش لغزش ناشی از تغییر شیوه حرکت تراکتور (شکل ۸) قابل پیش‌بینی بود. با در نظر گرفتن این افزایش و افزایش لغزشی که در شکل ۶ برای حالت‌های متناظر با آن دیده می‌شود (افزایش متوسط ۱۰ برابری درصد لغزش)، مصرف سوخت به طور متوسط ۱۵ درصد افزایش یافته است.

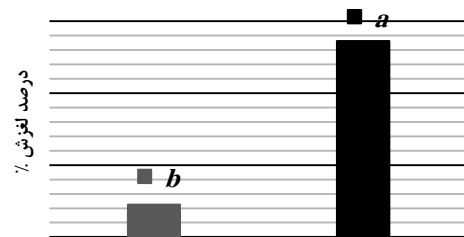


ب

شکل ۱۰. الف- نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن اثر دیفرانسیل بر مصرف سوخت، در سطح اطمینان ۱٪؛

ب- نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن اثر دنده بر مصرف سوخت، در سطح ۱٪.

افزایش معنی‌دار درصد لغزش در حالت حرکت در شیار شخم نسبت به شخم با حرکت بر روی زمین مسطح می‌باشد. این تغییر معنی‌دار لغزش ناشی از تغییر سطح و اختلاف شرایط خاک زیرین چرخ‌های چپ و راست در دو روش حرکت تراکتور می‌باشد.



شکل ۸. نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن اثر روش شخم بر لغزش، در سطح اطمینان ۱٪.

بررسی اثر فاکتورها بر مصرف سوخت

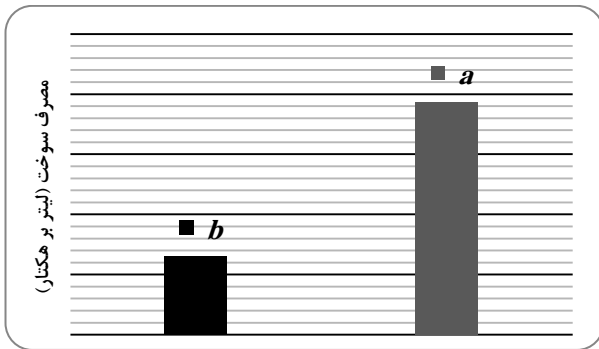
جدول تجزیه واریانس مربوط به مصرف سوخت در سطوح مختلف حالت دیفرانسیل، نوع دنده، شیوه‌ی حرکت تراکتور بر روی زمین و اثر تکرار در جدول ۳ ارائه شده است. اثر فاکتور روش شخم بر مصرف سوخت در سطح احتمال پنج درصد (۵٪) و فاکتورهای نوع دنده و حالت دیفرانسیل در سطح احتمال یک درصد (۱٪) معنی‌دارند. اثر متقابل این فاکتورها تأثیر معنی‌داری بر مصرف سوخت نداشتند، که نشان دهنده استقلال این متغیرها می‌باشد.

جدول ۳. آنالیز واریانس (ANOVA) داده‌های مصرف سوخت (لیتر بر

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات (MS) | F مقدار |
|-------------------------------------|------------|---------------------|---------------------|
| تکرار | ۲ | ۱۲/۵۴۲ | ۰/۰۸۵ ^{ns} |
| حالت دیفرانسیل | ۱ | ۲۶۰۰۴/۱۶۷ | ۱۷۵/۸۵۲** |
| نوع دنده | ۱ | ۲۹۹۲/۶۶۷ | ۲۰/۲۳۸** |
| روش شخم | ۱ | ۹۸۸/۱۶۷ | ۶/۶۸۲** |
| حالت دیفرانسیل × نوع دنده | ۱ | ۴۸۶ | ۳/۲۸۷ ^{ns} |
| حالت دیفرانسیل × روش شخم | ۱ | ۵۸۰/۱۶۷ | ۳/۹۲۳ ^{ns} |
| نوع دنده × روش شخم | ۱ | ۱۶/۶۶۷ | ۰/۱۱۳ ^{ns} |
| نوع دنده × حالت دیفرانسیل × روش شخم | ۱ | ۴۲/۶۶۷ | ۰/۲۸۹ ^{ns} |
| خطا | ۱۴ | ۱۴۷/۸۷۵ | - |
| کل | ۲۳ | - | - |

** معنی‌دار در سطح ۱٪؛ * معنی‌دار در سطح ۵٪؛ ns عدم معنی‌داری

همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود با قفل شدن دیفرانسیل میزان مصرف سوخت به شدت کاهش می‌یابد، این مقدار بسته به شرایط مختلف متفاوت است به طوری که بیشترین کاهش نسبی مصرف سوخت مربوط به حالت دوم شخم در دنده‌ی یک به میزان متوسط ۱۵ لیتر بر هکتار و رسیدن مصرف به کمتر از ۲۲ لیتر در هکتار می‌باشد که با توجه



شکل ۱۱. نتایج آزمون چند دامنه‌ای LSD اثر روش شخم بر مصرف سوخت، در سطح ۵٪.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان ابراز داشت که استفاده از قفل دیفرانسیل در محرک‌هایی مانند تراکتور که بیشترین توان تولیدی را صرف کشش در یک محیط کاملاً غیر یکنواخت و ناهمگون می‌کنند، یک امر لازم و ضروری است چرا که موجب:

۱- کاهش مصرف سوخت به طور متوسط تا ۴۰ درصد به طور مستقیم و غیر مستقیم، به دلایل مختلفی از جمله کاهش لغزش، افزایش بازده توان گرفته شده از جعبه‌دنده، افزایش درگیری چرخ‌ها و افزایش سرعت واقعی حرکت و به تبع آن کاهش زمان حرکت در طی یک مسیر و غیره،

۲- کاهش لغزش چرخ‌های محرک در شرایط غیر یکنواخت اصطکاکی و به دنبال آن افزایش بازده کششی و گشتاوری چرخ‌ها،

۳- افزایش بازده ظرفیت مزرعه‌ای و سرعت کار به دلیل کاهش بکسوات چرخ‌ها و زمان اجرای عملیات زراعی، می‌گردد.

همچنین با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان گفت روش قرار دادن یک چرخ تراکتور در شیار، برای اجرای عملیات زراعی بدون درگیر کردن قفل دیفرانسیل کاملاً اشتباه بوده و موجب تلفات انرژی و استهلاک شدید می‌گردد.

REFERENCES

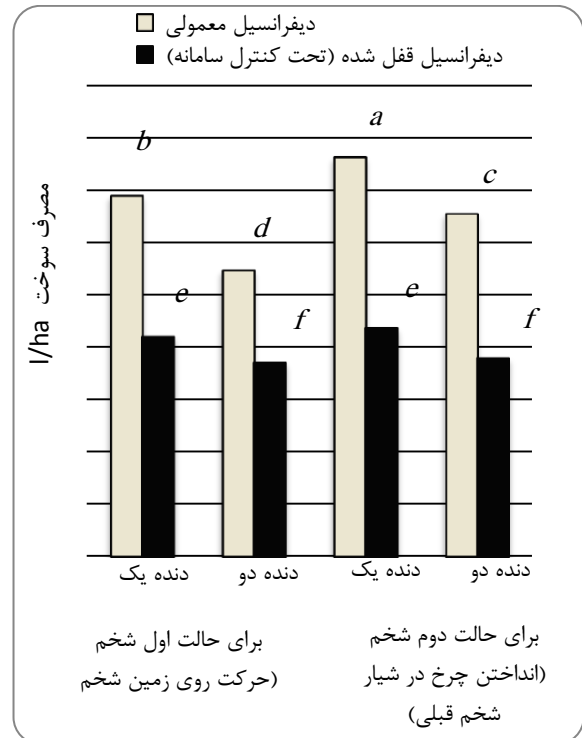
Baloch, J. M., A. N. Mirani, S. B. Bukhari and S. N. Mirani. (1991). 'Power requirements of tillage implements'. AMA. 22(1), 34-39.

Borgman, D. E. (1974). FMO: Fundamentals of Machine Operation: Tractors. John Deere Service Publications, 304 pages.

Borgman, D. E., Hainline, E. & Long, M. E. (1981). Tractors. Deere Publications, 303 pages.

Focher, F. 1925. Differential lock. United States patent, No: 1546064.

Ghobadian, B & Rostami, K. S. 2005. Design, Development and Evaluation of a mechanical control mechanism differential lock. *Iranian*



شکل ۹. نمودار مقایسه‌ای اثر فاکتورهای مختلف بر مصرف سوخت

Monroe *et al.* (1996) نیز در تحقیقاتی که جهت بهبود

عملکرد کششی (توسط سنگین‌کننده‌ها) و کاهش مصرف سوخت انجام دادند به این نتیجه دست یافتند که رابطه‌ای معکوس بین مصرف سوخت و بازده کششی وجود دارد به طوری که با کاهش بازده کششی مصرف سوخت افزایش می‌یافت. همچنین تحقیقات دیگر نشان داد که لغزش چرخ بیش از ۱۶ درصد نیز مصرف سوخت را بالا برده و فرسایش لاستیک‌های تراکتور را به دنبال خواهد داشت.

نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن اثر دیفرانسیل و نوع دنده را با سطح اطمینان یک درصد بر مصرف سوخت در شکل‌های (۱۰-الف) و (۱۰-ب) نشان می‌دهد. همچنین نتایج آزمون چند دامنه‌ای LSD اثر روش شخم بر مصرف سوخت، در سطح اطمینان ۵٪ در شکل ۱۱ آورده شده است.

Journal of Agriculture Science. 11(1), 71-84. (In Farsi)

Goering, C. E. 1979. Engine And Tractor Power. ASABE Publishing. 496p.

Hattori, M. 1980. Control system for a differential lock mechanism. United States Patent, No.:4218938.

Hauck, D., Kucera, H. & Huffman, V. 1984. Traction horsepower demonstration. ASAE paper No. 84-1061.

Ismaili Alibany, M. A. 2006. Power transmission in road machines. Mandegara Publishing. 128p. (In Farsi)

Jewett, T. N. 1982. Locking differential control system. United States Patent, No.:4347760.

- Karimi, M. M. 2007. Relation the impact of speed on traction required moldboard and chisel plows. M.s.c thesis in Mechanics of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, University of Shiraz, Iran. (InFarsi)
- Kyrtsos, C. 2002. Temperature based differential lock control. United States Patent, No.: 6361466.
- Liljedahl, J. B., Carleton, W. M., Turnquist, P. K. & Smith, D. W. 1979. Tractors and Their Power Units. 3th (ed.) John Wiley & Sons. New York, USA.
- Louckes, T. N. 1973. Locking type differential gear mechanism. United States Patent, [3732752](#).
- Masoumi, A. & Loghavi, M. 1994. Evaluation and comparison of traction performance of two common tractors in Iran. Iran Agr. Research, 13(2).
- Momeni Abkharaki, D., Ghobadian, B., Hemmat, A. & Minaei, S. 2004. Design and development semiautomatic differential lock for MF285 tractor. *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 8(4): 213-222. (InFarsi)
- Monroe, G., Bashford, L. L. & Jenane, C. 1996. Reduction of fuel consumption through improved tractive efficiency. *Agric. Eng. Res.*, P: 131-138.
- Neisch, J. C. & Orchard Lake, M. 1972. Differential Control. United States Patent, No.: 3706351.
- Orbach, A. & Schubert, W. L. 1996. Differential lock control system for agricultural vehicles. United States Patent, No.:5505267.
- Saverio, G. B. 1990. Auto Technology, Theory & Service. New York: Delmar publishers Inc, USA.