

## ساخت قفل دیفرانسیل نیمه اتوماتیک برای تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵

داود مؤمنی آبخارکی<sup>۱</sup>، برات قبادیان<sup>۲</sup>، عباس همت<sup>۳</sup> و سعید مینایی<sup>۲</sup>

### چکیده

یکی از سیستم‌هایی که برای افزایش راندمان کاری تراکتورها طراحی و ساخته شده است سیستم قفل دیفرانسیل است. این سیستم باعث یکسان شدن دور دو محور چرخ می‌شود. در نتیجه در زمان رویارویی با شرایط زمین‌گیرایی غیریک‌نواخت در زیر لاستیک‌ها بسیار مفید خواهد بود. استفاده از این سیستم باعث بهبود زمین‌گیرایی، کاهش فرسایش لاستیک چرخ‌های محرک، کاهش مصرف سوخت و افزایش ظرفیت مزرعه‌ای تراکتور خواهد شد. علی‌رغم این که استفاده از این سیستم مزایای زیادی را به همراه خواهد داشت، تاکنون برای بهینه‌سازی آن فعالیتی در داخل کشور صورت نگرفته است. از این رو طراحی و ساخت سیستم قفل دیفرانسیل نیمه‌اتوماتیک برای نصب روی تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ تولید داخل، در این پژوهش انجام شده است. این سیستم به گونه‌ای طراحی شده است که در هنگام ایجاد وضعیت‌های بحرانی، قفل دیفرانسیل را از درگیری خارج می‌کند. وضعیت‌های بحرانی درگیر بودن قفل دیفرانسیل عبارت‌اند از: استفاده از ترمزهای مجزا، سرعت‌های پیشروی بالا و چرخاندن غربالک فرمان. به منظور اندازه‌گیری و تشخیص وضعیت‌های بحرانی به ترتیب از سه نوع حسگر کششی، القایی، و جابه‌جایی زاویه‌ای استفاده شد. خروجی این حسگرها به یک مدار تصمیم‌گیرنده فرستاده شده و در آنجا تصمیم لازم مبنی بر ادامه درگیری یا آزاد شدن آن گرفته می‌شود. مدار تصمیم‌گیرنده یک میکروکنترلر قابل برنامه‌ریزی است که می‌توان پارامترهای دیگری را برای کنترل به آن اضافه کرد و یا موارد موجود را تغییر داد. پس از طراحی و نصب سیستم روی تراکتور، عملکرد آن در عملیات خاکورزی با گاوآهن برگرداننده سه خیشه با عرض کار ۱۱۰ سانتی‌متر و عمق کار ۲۵ سانتی‌متر بررسی شد. آزمایش‌ها نشان دادند که در تراکتور معمولی، به علت توزیع نامناسب وزن و شرایط زمین‌گیرایی غیر یکسان زیر لاستیک چرخ‌های محرک، لغزش دو چرخ حدود ۶ درصد اختلاف دارند که استفاده از این سیستم آن را بهبود بخشید. به علاوه بر اثر کاهش لغزش چرخ‌ها مصرف سوخت نیز حدود ۰/۵ لیتر در هکتار کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵، قفل دیفرانسیل نیمه‌اتوماتیک

### مقدمه

محسوب می‌شود، افزایش بازده تراکتور و صرفه‌جویی در مصرف سوخت، همواره مورد نظر بوده است. به علاوه سیستم‌هایی طراحی و ساخته شده‌اند که به علت عدم ارائه

با توجه به زوال سوخت‌های فسیلی و این که تراکتور به عنوان اصلی‌ترین وسیله مصرف‌کننده سوخت در بخش کشاورزی

۱. محقق بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات کشاورزی جیرفت و کهنوج
۲. به ترتیب استادیار و استادیار مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۳. استاد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

در مورد آنها، مورد استفاده مطلوب قرار نمی‌گیرند. سیستم هیدرولیک تراکتور، شیر کنترل‌کننده دبی جریان در سیستم هیدرولیک، نشانگرهای مختلف تعبیه شده روی تراکتور به عنوان مثال اطلاعات کامل توسط سازنده و یا عدم اطلاع صحیح کاربران دورسنگ، سیستم قفل دیفرانسیل، سیستم ترمزهای مجزا، اهرم دستی کنترل‌کننده دور موتور، جعبه دنده سینکرونه و غیر سینکرونه و ... نمونه‌هایی از سیستم‌هایی هستند که برای افزایش کارایی تراکتورها ساخته شده‌اند ولی به همان دلیلی که ذکر شد از این سیستم‌ها به صورت صحیح استفاده نمی‌شود.

یکی از سیستم‌های ذکرشده، سیستم قفل دیفرانسیل است که برای یکسان کردن دور دو محور چرخ‌های محرک تراکتور ساخته شده‌است. این سیستم می‌تواند باعث کاهش بکسوات، بهبود زمین‌گیرایی، کاهش فرسایش لاستیک‌ها و افزایش ظرفیت مزرعه‌ای تراکتور شود (۱ و ۷).

سیستم قفل دیفرانسیل به دلیل عدم آشنایی کاربران با آن و نیروی زیاد برای درگیر نگه داشتن آن، در ایران به درستی استفاده نمی‌شود. سایش‌های غیر یک‌نواخت لاستیک‌های عقب در تراکتورهای دو چرخ محرک، به علت لغزش زیاد و عدم استفاده از سیستم قفل دیفرانسیل است (۴ و ۷). درگیری این سیستم در تراکتورهای میان قدرت رایج در ایران، با نیروی پا و یا دست صورت می‌گیرد. آزاد کردن این سیستم نیز در یک مدل به صورت دستی و توسط یک اهرم و در نوعی دیگر با برداشتن پا از روی پدال، توسط نیروی فنر صورت می‌گیرد که در نوع اول ممکن است به علت فراموشی اپراتور، قفل در هنگام ایجاد شرایط بحرانی آزاد نشود و در دیگری فشار مداوم پدال، علاوه بر ایجاد خستگی در پای راننده در درگیری‌های طولانی، کنترل او را در بقیه امور کاهش خواهد داد.

درگیر بودن قفل دیفرانسیل در هنگام دور زدن، در سرعت‌های پیشروی بالا و در هنگام استفاده از ترمزهای مجزا، بسیار خطرناک و حادثه‌آفرین خواهد بود، از این رو در موارد ذکر شده باید مطمئن بود که قفل دیفرانسیل از درگیری خارج

شده است (۲ و ۶). در این زمینه محققین بسیار سیستم‌های متفاوتی را طراحی کرده‌اند تا از خطرات استفاده ناصحیح از این سیستم بکاهند. یکی از راه‌حل‌های پیشنهادی استفاده از کلاچ‌های گروهی روی محور چرخ‌هاست (۱۳). راه حل دیگری که در این مورد ارائه شده، استفاده از ترمزهای مستقل است (۱۱). نحوه کار سیستم به این صورت است که در زمانی که زمین‌گیرایی یکی از چرخ‌ها کم باشد و سریع می‌چرخد، به وسیله ترمز کردن دور آن گرفته شود. شارپ (Sharp) با کمی تغییرات مدلی مشابه مدل نیچ را طراحی کرد (۱۴).

لاکس (Louckes) نیز مدلی را طراحی کرد که از یک اهرم فشاری استفاده شده بود. این اهرم یک سولنوئید را به کار می‌انداخت. یک حسگر سرعت، اهرم قفل دیفرانسیل را زمانی که سرعت پیشروی بالا باشد به حالت عادی برمی‌گرداند (۱۰).

هاتوری (Hattori) با توجه به سیستم به کار برده شده در ماشین‌های راه‌سازی و با توجه به این که درگیر شدن قفل دیفرانسیل در سرعت‌های بالا علاوه بر کاهش عمر قطعات، از لحاظ ایمنی نیز بسیار خطرناک است مدلی را طراحی کرد که امکان درگیر شدن قفل دیفرانسیل در سرعت‌های پیشروی بالا وجود نداشت. او در این مدل با استفاده از سیال هوا و یک شیر سولنوئیدی که در مسیر سیال قرار گرفته بود، درگیر شدن قفل دیفرانسیل را بسته به این که اهرم دنده گیربکس تراکتور در چه دنده‌ای قرار دارد محدود کرد. در این مدل وقتی تراکتور در دنده‌های سبک (سرعت بالا) قرار می‌گرفت شیر الکتریکی در مسیر جریان سیال باد قرار می‌گرفت و مانع درگیر شدن پدال قفل دیفرانسیل می‌شد. در این وضعیت اگر به وسیله راننده پدال فشار داده شود قفل درگیر نخواهد شد (۸). جوت (Jewett) نیز مدلی مشابه مدل هاتوری طراحی کرد، با این تفاوت که از سیال روغن استفاده کرد (۹).

اورباخ و شوبرت (Orbach and Schubert) نیز 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

خاص برنامه ریزی شده است فرستاده می‌شوند. در آنجا خروجی حسگرها مورد پردازش قرار می‌گیرند و دستور لازم برای ادامه درگیری یا آزاد شدن قفل دیفرانسیل به یک رله داده می‌شود. سپس رله ولتاژ لازم را برای آزاد کردن قفل، به بوبین الکتریکی می‌فرستد و قفل آزاد می‌شود.

### حسگر سرعت

یکی از وضعیت‌های بحرانی سرعت پیشروی بالا در مسیرهای مستقیم است. از بین سیستم‌های مختلف اندازه‌گیری سرعت، سیستمی مفیدتر خواهد بود که در مقابل نور، گرد و غبار، گل، آب، روغن و ضربه مقاوم باشد و برای داشتن عمر زیاد، حداقل فرسایش مکانیکی در آن وجود داشته باشد. به همین منظور از یک نوع حسگر القایی سه سیمه که در محدوده ۳۰-۱۲ ولت مستقیم به صورت خطی عمل می‌کند استفاده شد. فاصله سوئیچینگ این حسگر ۸ میلی‌متر است و توسط رزوه‌های روی بدنه حسگر و پیچ روی چرخ قابل تنظیم است (شکل ۱).

با هر گردش چرخ، توسط این سوئیچ یک پالس به میکروکنترلر فرستاده می‌شود. در آنجا فرکانس پالس‌های ارسالی با فرکانس بحرانی که در نرم افزار میکروکنترلر ثبت شده است، مقایسه می‌شود و بسته به این که به حد بحرانی رسیده باشیم یا خیر، میکروکنترلر فرمان می‌دهد. در گیر بودن قفل دیفرانسیل در سرعت‌های بالاتر از ۱۴/۵ کیلومتر در ساعت خطرناک خواهد بود (۵).

### حسگر وضعیت فرمان

وضعیت بحرانی دوم، استفاده از فرمان و پیچیدن به طرفین است. در این کاربرد خاص، چون گزارش لحظه به لحظه وضعیت فرمان مدنظر ما نیست از یک میکروسوئیچ با جابه‌جایی زاویه‌ای استفاده شده است. این حسگر در محدوده ۱۸-۱۲ ولت مستقیم کار می‌کند و طول آن توسط بازوی میکروسوئیچ، قابل تنظیم است. این کلید نیز به نور، گرد و غبار و خاک مقاوم است و نسبت به رطوبت عایق بندی شده است (شکل ۲).

به کار رفته به واحد پردازش فرستاده می‌شد و در آنجا تصمیم لازم برای ادامه درگیری و یا آزاد شدن قفل دیفرانسیل صادر می‌شد (۱۲).

سیستم قفل دیفرانسیل غیر دستی به علت دارا بودن مزایای فراوان به عنوان یکی از تجهیزات مهم در تراکتورها به کار می‌رود و اکثر تراکتورهای پیشرفته به این سیستم مجهز شده‌اند (۵).

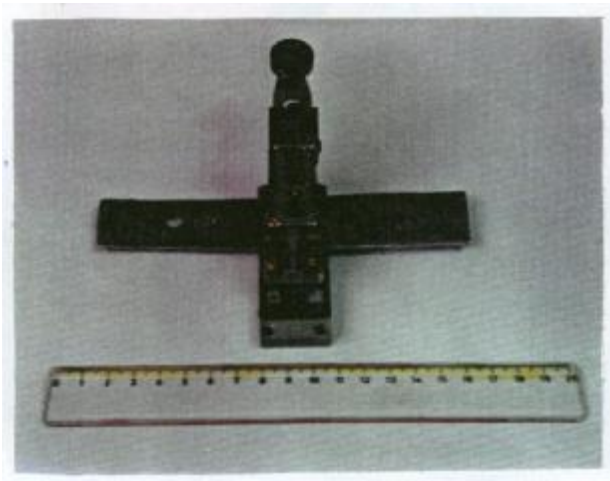
بر اساس جستجوهای که توسط نویسندگان این مقاله در مجلات و پایگاه‌های اطلاع‌رسانی داخلی صورت گرفته، هیچ‌گونه فعالیتی در زمینه بهینه سازی قفل دیفرانسیل انجام نشده و یا در صورت پژوهش در جایی به صورت مکتوب بیان نشده است.

تعیین آثار این سیستم بر لغزش چرخ‌ها، مصرف سوخت و ظرفیت مزرعه‌ای از مسائلی هستند که امکان بررسی آنها با ساخت نمونه اولیه این سیستم امکان پذیر خواهد بود. مزایایی که استفاده از این سیستم به همراه خواهد داشت عبارت‌اند از:

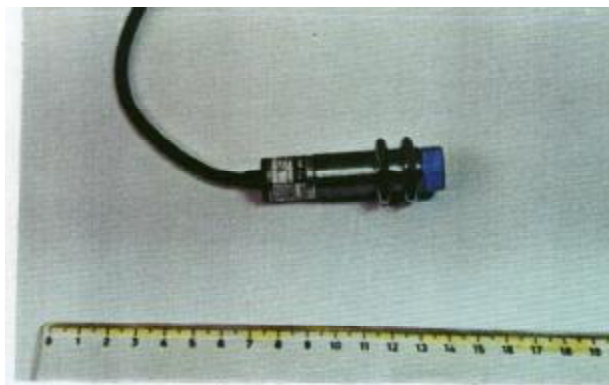
- ۱- افزایش نیروی زمین گیرایی
- ۲- کاهش بکسوات چرخ‌های محرک و در نتیجه بالابردن میزان کار تراکتور
- ۳- کاهش فرسایش لاستیک‌های محرک
- ۴- بالا بردن دقت رانندگان در امر رانندگی به علت کم کردن وظایف آنها
- ۵- کاهش خطرات استفاده ناصحیح از قفل دیفرانسیل

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ تولید داخل سیستمی طراحی و ساخته شده است تا قفل دیفرانسیل را به صورت اتوماتیک، پس از درگیری اولیه که به کمک نیروی پا صورت می‌گیرد، آزاد کند. درگیر نگه داشتن قفل دیفرانسیل توسط یک بوبین الکتریکی صورت می‌گیرد. برای تشخیص وضعیت‌های بحرانی، از حسگرهای مناسب استفاده شده است. خروجی این حسگرها به یک میکروکنترلر که برای این هدف



شکل ۲. حسگر وضعیت فرمان



شکل ۱. حسگر سرعت پیشروی

### حسگر وضعیت ترمزها

وضعیت بحرانی دیگری که درگیر بودن قفل دیفرانسیل در آن خطرناک است، استفاده از یکی از ترمزهاست. بنابراین نیاز است که سیستمی طراحی شود تا در زمان فشردن یکی از پدال‌های ترمز، دستور آزاد کردن قفل را به رله صادر کند. برای تشخیص این وضعیت، از دو سوئیچ کششی استفاده شد که روی اهرم‌بندی ترمز سمت راست و چپ به طور مجزا سوار می‌شوند و در زمانی که پدال فشرده شود، اتصالات اهرم‌بندی ترمز باعث کشش میله این سوئیچ می‌شود و جریان برق را به مدار می‌فرستد. این حسگر نیز در محدوده ۱۲-۳۰ ولت مستقیم کار می‌کند و توسط یک فنر میزان حساسیت آن قابل تنظیم است (شکل ۳).

استفاده هم‌زمان از دو پدال خطری را متوجه اپراتور نخواهد کرد. بنابراین نیاز نیست که در زمان استفاده هم‌زمان از دو پدال، قفل دیفرانسیل از درگیری خارج شود. به همین دلیل، خروجی این حسگرها به میکروکنترلر فرستاده می‌شود تا در آنجا تشخیص داده شود که آیا هر دو پدال فشرده شده‌اند یا یکی از پدال‌ها، سپس دستور مناسب به رله فرستاده شود.

### طراحی مدار

میکروکنترلری که در این تحقیق از آن استفاده شده است از نوع ۸۰۵۱ است که دارای دو تایمر و ۴۰ پایه است و با ولتاژ ۵

ولت مستقیم کار می‌کند. با استفاده از این میکروکنترلر و سایر اجزا الکترونیکی، مداری طراحی و ساخته شد که در زمان ایجاد این شرایط بحرانی، یک رله را به کار بیندازد. به وسیله این رله، ولتاژ ۱۲ ولت در دو سر بوبین قرار می‌گیرد تا قفل دیفرانسیل آزاد شود.

### ایجاد سیگنال‌های تحریک میکروکنترلر

یکی از شرایط بحرانی سرعت پیشروی بالاست که برای تشخیص این وضعیت از یک حسگر القایی روی یکی از چرخ‌های متحرک جلو استفاده شده است. بسامد تحریک حسگر به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$F = V / 2\pi R \quad [1]$$

که در آن:

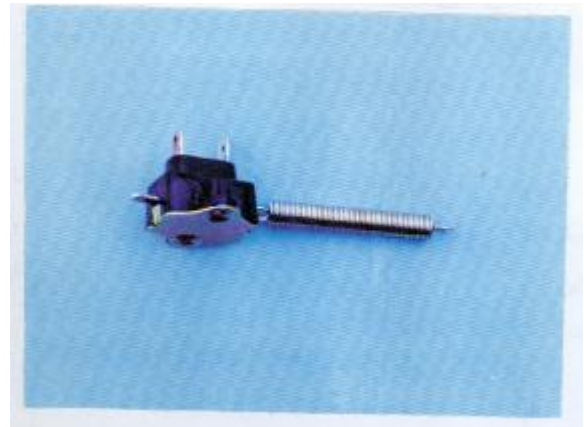
$$F = \text{بسامد بر حسب Hz}$$

$$V = \text{سرعت بحرانی بر حسب m/s}$$

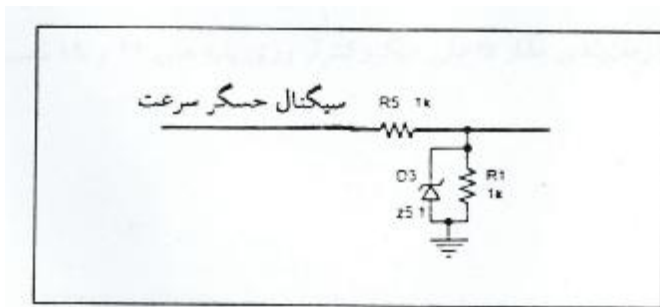
$$R = \text{شعاع چرخ بر حسب متر}$$

همان‌طور که اشاره شد، ولتاژ ورودی میکروکنترلر ۵ ولت است. از این رو با استفاده از مدار شکل ۴ تحریک حسگر سرعت به تحریک ۵ ولت جهت راه اندازی میکروکنترلر تبدیل می‌شود.

از طرف دیگر وضعیت پدال‌ها نیز به همین صورت است. برق ورودی به سوئیچ‌های کششی نصب شده روی ترمزها ۱۲ ولت است. بنابراین، سیگنال خروجی از آنها نیز در زمان فشردن



شکل ۳. حسگر وضعیت ترمزها



شکل ۴. مدار تحریک میکروکنترلر توسط سیگنال‌های سرعت

پدال‌ها، سیگنال ۱۲ ولت خواهد بود. برای تبدیل این سیگنال به ۵ ولت نیز از تقسیم مقاومتی و دیود استفاده شد (شکل ۵). وضعیت بحرانی سوم استفاده از فرمان است. برای این وضعیت نیز از یک حسگر با جابجایی زاویه‌ای استفاده شد. در زمان رسیدن فرمان به وضعیت‌های بحرانی، توسط این حسگر ولتاژ به بوبین فرستاده شده و قفل از درگیری خارج می‌شود.

قطع می‌کند. بنابراین، ولتاژ ۱۲ ولت روی رله قرار گرفته و آن را وصل می‌کند. در زمانی که شرط وجود نداشته باشد، پایه ۲ یک بوده، ولتاژ روی مقاومت R10 افت می‌کند و رله را قطع می‌کند. موازی سیم‌پیچ رله یک دیود معکوس قرار می‌گیرد که در زمان قطع رله، سیم‌پیچ آن از طریق این دیود انرژی خود را تخلیه می‌کند (شکل ۷).

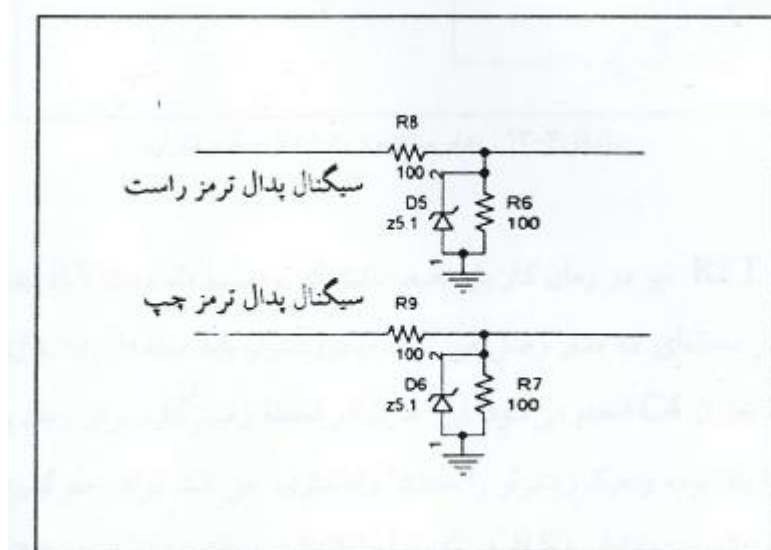
#### نرم افزار میکروکنترلر

وظیفه نرم‌افزار میکروکنترلر، تطبیق شرایط ایجاد شده برای وصل رله است. برای این منظور از هر دو تایمر تراشه استفاده شده است. در ابتدای کار، برنامه به طور مرتب پایه‌ها را بررسی می‌کند که آیا پایه ورودی حسگر سرعت یا پدال‌های ترمز تحریک شده‌اند یا خیر. در صورتی که حسگر سرعت فعال شده باشد، برنامه صبر می‌کند تا حسگر غیر فعال گردد و سپس شروع به شمارش سیگنال‌ها می‌کند. در صورتی که فاصله زمانی بین دو سیگنال فرستاده شده از حسگر سرعت، بیشتر از پریدود بحرانی باشد، عبارتی دیگر اگر سرعت پیشروی از سرعت بحرانی فراتر رود، میکروکنترلر بیت ۱ پورت ۱ را صفر می‌کند تا رله به کار افتد. در غیر این صورت برنامه منتظر پالس بعدی حسگر می‌ماند و بعد از رسیدن پالس دوباره، شمارش زمانی خود را شروع می‌کند. بنابراین در این فاصله زمانی، میکروکنترلر می‌تواند وضعیت پدال‌ها را نیز بررسی کند. در این صورت هرگاه یکی از پدال‌ها فشار داده شود، برنامه تایمر دوم را

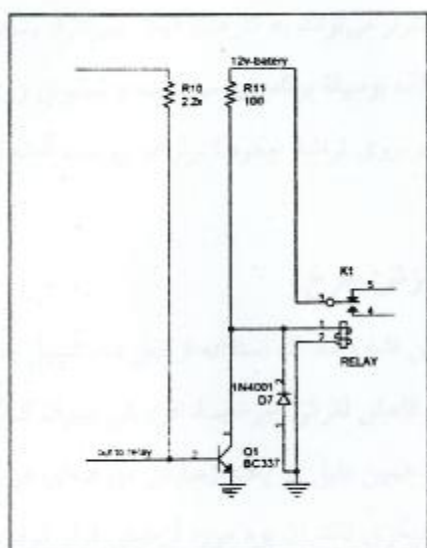
#### مدار میکروکنترلر

تراشه میکروکنترلر ۸۰۵۱، با ولتاژ ۵ ولت مستقیم کار می‌کند. بنابراین باید کلیه سیگنال‌ها در این سطح نگهداری شوند (۳). بدین منظور از مدار زیر برای تبدیل برق مستقیم ۱۲ ولت به ۵ ولت استفاده شد. یک کریستال کوارتز ۱۲ مگاهرتز نیز به عنوان سیگنال ساعت برای زمان‌بندی مدار داخلی میکروکنترلر روی پایه‌های ۱۸ و ۱۹ نصب شد (شکل ۶).

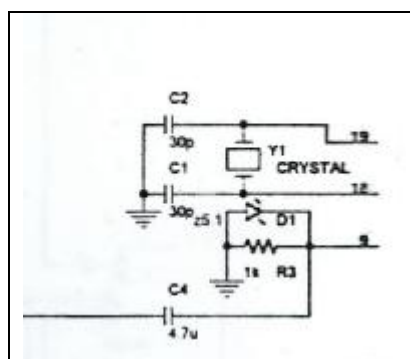
پایه RST در زمان کار باید صفر باشد. از این رو به وسیله مقاومت R3 به زمین وصل شده است. در لحظه‌ای که مدار وصل می‌شود، میکروکنترلر باید مجدداً راه‌اندازی شود. این کار به وسیله خازن C4 انجام می‌شود. این خازن در لحظه وصل کلید برای زمان بسیار کوتاهی روی پایه RST اثر گذاشته و میکروکنترلر را مجدداً راه‌اندازی می‌کند. برای جلوگیری از افزایش بیش از حد ولتاژ روی پایه RST، از یک دیود ۵/۱ ولت استفاده شده است. زمانی که یکی از شرایط وصل رله برقرار شود، پایه ۲ (بیت ۱ از پورت ۱) صفر شده و ترانزیستور Q1 را



شکل ۵. مدار تحریک میکروکنترلر توسط سیگنال‌های ترمز



شکل ۷. مدار تحریک رله



شکل ۶. مدار ساعت و راه‌انداز میکروکنترلر

بررسی شده و تأثیری روی یکدیگر نخواهند داشت.

### اندازه‌گیری لغزش چرخ

همان گونه که قبلاً اشاره گردید، استفاده از قفل دیفرانسیل باعث یکسان شدن دور دو محور چرخ و در نتیجه کاهش لغزش چرخ‌ها، افزایش ظرفیت مزرعه‌ای تراکتور و کاهش مصرف سوخت خواهد شد. به همین دلیل در یک آزمایش

راه‌اندازی می‌کند و مدتی صبر می‌کند که آیا پدال دوم فشار داده می‌شود یا خیر. در صورتی که این گونه نباشد یعنی تنها یکی از پدال‌ها فشرده شود رله از طریق صفر شدن بیت ۱ پورت ۱ به کار خواهد افتاد. ویژگی راه‌اندازی دو تایمر این است که در مدت زمان شمارش یکی از تایمرها یا هر دوی آنها، میکروکنترلر می‌تواند به کارهای دیگر بپردازد. بنابراین عمل کنترل سرعت و فشار پدال‌ها به طور جداگانه به وسیله برنامه

پیشروی بالا و فرمان غیر مستقیم).

**وضعیت D:** سرعت پیشروی بالا، فرمان غیرمستقیم، استفاده تکی از ترمزها در نتیجه آزاد شدن قفل دیفرانسیل به دلیل ایجاد هم‌زمان هر سه وضعیت بحرانی (سرعت پیشروی بالا، فرمان غیرمستقیم و استفاده از ترمزهای مستقل).

**وضعیت H, I:** سرعت پیشروی پایین، فرمان مستقیم، استفاده هم‌زمان و یا عدم استفاده از ترمزها در نتیجه ادامه درگیری قفل دیفرانسیل به دلیل عدم ایجاد شرایط بحرانی.

**وضعیت G:** سرعت پیشروی پایین، فرمان مستقیم، استفاده تکی از ترمزها در نتیجه آزاد شدن قفل دیفرانسیل به دلیل ایجاد یک وضعیت بحرانی (استفاده از ترمزهای مستقل).

**وضعیت K, L:** سرعت پیشروی پایین، فرمان غیرمستقیم، استفاده هم‌زمان و یا عدم استفاده از ترمزها در نتیجه آزاد شدن قفل دیفرانسیل به دلیل ایجاد یک وضعیت بحرانی (فرمان غیرمستقیم).

**وضعیت J:** سرعت پیشروی پایین، فرمان غیرمستقیم، استفاده تکی از ترمزها در نتیجه آزاد شدن قفل دیفرانسیل به دلیل ایجاد هم‌زمان دو وضعیت بحرانی (فرمان غیرمستقیم و استفاده تکی از ترمزها). این نتایج در جدول ۱ موجود است.

همان طور که در جدول ۱ نیز دیده می‌شود ایجاد شدن هر یک از شرایط بحرانی و یا ایجاد توأم آنها، خلی در سیستم ایجاد نخواهد کرد و قفل آزاد می‌شود.

#### آزمایش در مزرعه

در یک سری آزمایش‌های مزرعه‌ای، تراکتور در دو وضعیت مجهز به سیستم ساخته شده و فاقد آن مورد آزمایش قرار گرفت و وضعیت لغزش چرخ‌ها و مصرف سوخت تراکتور اندازه‌گیری گردید که نتایج آن در شکل‌های ۸ و ۹ آورده شده‌اند.

#### نتیجه‌گیری و بحث

۱. آزمایش‌ها نشان دادند که بین لغزش چرخ‌های سمت راست و چپ تراکتور عادی، در عملیات خاکورزی حدود ۶ درصد

مزرعه‌ای، تراکتور در دو وضعیت عادی و مجهز به سیستم ساخته شده، مورد آزمایش قرار گرفت. در این آزمایش از یک گاوآهن سه خیشه سوار با عرض کار ۱۱۰ سانتی‌متر استفاده شد و وضعیت لغزش چرخ‌ها و مصرف سوخت تراکتور در عمق شخم ۲۵ سانتی‌متر در دو تکرار مشخص شد.

برای محاسبه لغزش چرخ از روش متعارف آن یعنی اندازه‌گیری تعداد دور چرخ‌ها در مسافتی معین، استفاده شد. بدین منظور مسافتی مشخص در زمین علامت گذاری شد و تعداد دور چرخ‌های محرک تراکتور در این فاصله، در دو مرحله، یکی تحت بار و دیگری در حالت بدون بار شمارش شد و با استفاده از رابطه (۲) مقدار لغزش چرخ مشخص شد. رابطه کلی لغزش بدین صورت است که:

$$\sigma = (V - V_0) / V \quad [2]$$

که در آن:

$$\sigma = \text{لغزش}$$

$$V_0 = \text{سرعت واقعی تراکتور (m/s)}$$

$$V = \text{سرعت نظری تراکتور (m/s)}$$

#### آزمایش عملکرد سیستم

بعد از آماده‌سازی، سیستم روی تراکتور نصب شد و تراکتور در وضعیت‌های بحرانی قرار داده شد و عملکرد سیستم مشاهده شد. این وضعیت‌ها بدین قرار بودند:

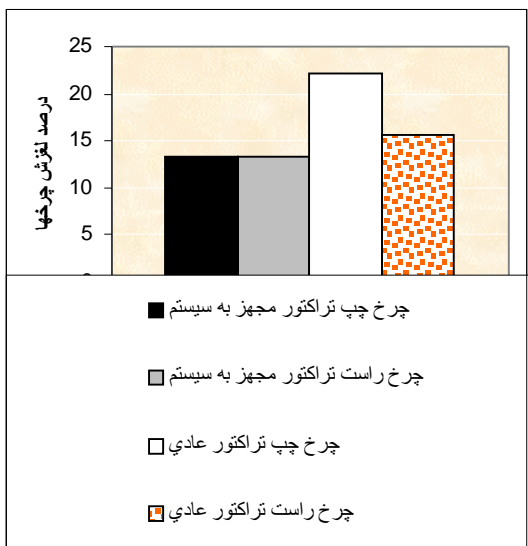
**وضعیت B, C:** سرعت پیشروی بالا، فرمان مستقیم، استفاده هم‌زمان و یا عدم استفاده از ترمزها در نتیجه آزاد شدن قفل دیفرانسیل به دلیل ایجاد یک وضعیت بحرانی (سرعت پیشروی بالا).

**وضعیت A:** سرعت پیشروی بالا، فرمان مستقیم، استفاده تکی از ترمزها در نتیجه آزاد شدن قفل دیفرانسیل به دلیل ایجاد هم‌زمان دو وضعیت بحرانی (سرعت پیشروی بالا و استفاده از ترمزهای مستقل).

**وضعیت E, F:** سرعت پیشروی بالا، فرمان غیرمستقیم، استفاده هم‌زمان و یا عدم استفاده از ترمزها در نتیجه آزاد شدن قفل دیفرانسیل به دلیل ایجاد هم‌زمان دو وضعیت بحرانی (سرعت

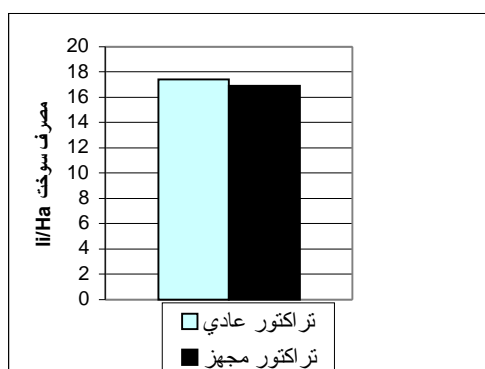
جدول ۱. وضعیت تراکتور در هنگام رویارویی با شرایط بحرانی

موارد	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
<u>سرعت</u>												
<u>بالا</u>	+	+	+	+	+							
<u>پایین</u>							+	+	+	+	+	+
<u>فرمان</u>												
<u>مستقیم</u>	+	+					+	+	+			
<u>غیر مستقیم</u>						+	+	+				
<u>ترمزها</u>												
<u>یک پدال</u>	+						+			+		
<u>دوپدال</u>					+			+			+	
<u>عدم استفاده</u>						+			+			+
<u>قفل دیفرانسیل</u>												
<u>درگیر</u>								+	+			
<u>آزاد</u>	+	+	+	+	+	+	+					



شکل ۸. لغزش چرخ‌های راست و چپ تراکتور در دو وضعیت عادی و مجهز به سیستم قفل دیفرانسیل نیمه اتوماتیک





شکل ۹. مقدار مصرف سوخت در دو تراکتور فاقد و مجهز به سیستم قفل دیفرانسیل

به آن اضافه کرد و یا موارد موجود را تغییر داد. به عنوان مثال، یک حسگر دیگر هم روی چرخ عقب نصب شود و از روی آن مقدار لغزش چرخ‌ها در عملیات مختلف، توسط میکروکنترلر محاسبه شود.

۵. استفاده از میکروکنترلر باعث شده است تا ایجاد هم‌زمان شرایط بحرانی خلی در انجام وظیفه سیستم ایجاد نکند و در زمان رویارویی با دو وضعیت بحرانی و یا برقراری هر سه وضعیت بحرانی نیز، قفل دیفرانسیل آزاد شود.

### سپاسگزاری

از دوستان عزیزم جناب آقای مهندس کلینی و جناب آقای مهندس ملکی که در انجام کارهای الکترونیکی و مزرعه‌ای یاری رسانم بودند و شخصیت حقوقی دانشگاه صنعتی اصفهان که امکانات لازم را برای این تحقیق فراهم کرد قدردانی می‌کنم.

تفاوت وجود دارد (شکل ۸). این تفاوت به علت بارگذاری‌های نامساوی روی چرخ‌های عقب ایجاد می‌شود. در عملیات خاک‌ورزی با ادوات خاک‌ورزی اولیه که اغلب آنها خاک را به یک سمت می‌ریزند، بارگذاری روی چرخ‌ها متفاوت است. به علاوه قرارگیری یکی از چرخ‌ها درون شیار نیز بر این مسأله می‌افزاید (۷).

۲. استفاده از قفل دیفرانسیل به علت یکی کردن دور دو محور و حذف آثار ناشی از تفاوت دور آنها، باعث بهبود اثر منفی بارگذاری‌های نامساوی روی چرخ‌های عقب و کاهش لغزش چرخ‌ها شده است.

۳. کاهش درصد لغزش چرخ‌ها، باعث بالا رفتن سرعت پیشروی و در نتیجه بهبود مصرف سوخت در حدود ۰/۵ لیتر در هکتار شده است (شکل ۹).

۴. استفاده از میکروکنترلر به عنوان واحد تصمیم‌گیرنده این امکان را ایجاد می‌کند تا بتوان پارامترهای دیگری را برای کنترل

### منابع مورد استفاده

۱. بهروزی لار، م. ۱۳۶۹. شناخت و کاربرد تراکتور. انتشارات سازمان ترویج کشاورزی، کرج.
۲. ثقفی، م. ۱۳۶۹. تراکتور و مکانیزم آن (ترجمه). انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
۳. رضایی نیا. ۱۳۷۷. میکروکنترلر ۸۰۵۱ (ترجمه). انتشارات باغانی، تهران.
۴. مؤمنی آبخارکی، د. ۱۳۸۰. طراحی و ساخت قفل دیفرانسیل نیمه اتوماتیک برای تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵. پایان نامه کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
5. Anonymous. 1992. Massey Ferguson 8100. Great Britain.
6. Borgman, D. E. 1974. Fundamentals of machine operation: Tractors. Deere Company, Moline, Illinois, USA.

7. Duquesne, F., L. Kermis and R. Verschoore. 1995. Influence of differential locking on tractor work rate: part 1. J. Agric. Eng. Res. 60(3):201-209.
8. Hattori, M. 1980. Control system for a differential lock mechanism. WWW: [url:http://uspto.gov/.NO:4218938](http://uspto.gov/.NO:4218938).
9. Jewett, T.N. 1973. Locking differential control system. WWW: [url:http:// uspto.gov/.NO:4347760](http://uspto.gov/.NO:4347760).
10. Louckes, T.N. 1973. Locking type differential gear mechanism. WWW: [url: http://uspto.gov/NO:3732752](http://uspto.gov/NO:3732752).
11. Neisch, J.C. 1972. Differential control. WWW: [url:http://uspto.gov/](http://uspto.gov/). NO: 3706351.
12. Orbach, A. and W.L. Schubert. 1996. Differential lock control system for agricultural vehicles. WWW: [url:http:// uspto.gov/.NO:5505267](http://uspto.gov/.NO:5505267).
13. Saverio, G.B. 1990. Auto Technology, Theory & Service. New york: Delmar publishers Inc, USA.
14. Sharp, E.A. 1974. Full time slip controlled four wheel drive. WWW: [url http://uspto.gov/.NO:3845671](http://uspto.gov/.NO:3845671).