

طراحی، ساخت و ارزیابی مکانیزم کنترل مکانیکی قفل دیفرانسیل

برات قبادیان*

سجاد رستمی کندی**

چکیده

به خاطر عدم آگاهی بیشتر رانندگان تراکتور از فلسفه قفل دیفرانسیل در ایران، معمولاً هنگام کار با تراکتور این مکانیزم بدون استفاده می‌ماند. بنابراین طراحی و ساخت مکانیزم اتوماتیک کنترل مکانیکی قفل دیفرانسیل برای تراکتور MF285 لازم به نظر می‌رسد تا در مواقع لزوم بدون توجه راننده مورد استفاده قرار گیرد. در این پژوهش طراحی واحد ذخیره نیرو و حسگر وضعیت اتصال سه نقطه که از قسمت‌های اصلی مکانیزم می‌باشند مورد توجه قرار گرفته و ارائه گردیده است. طراحی مکانیزم به گونه‌ای انجام شد تا هیچگونه تغییری روی بدنه تراکتور انجام نگیرد. مکانیزم ساخته شده با توجه به مکانیکی بودن در مقایسه با سیستم‌های الکترونیکی، می‌تواند در شرایط سخت کاری غیر جاده‌ای تراکتور از مقاومت لازم برخوردار باشد. آزمون‌های مختلف مزرعه‌ای نشان دهنده عملکرد مناسب مکانیزم می‌باشد. آزمایش مزرعه‌ای بدون استفاده از این سیستم نشانگر بکسوات ۳۳ درصدی برای چرخ سمت چپ و ۱۳ درصدی برای چرخ سمت راست تراکتور است در حالی که به کارگیری مکانیزم بکسوات را متعادل نموده و این میزان را به ۱۵ درصد برای هر دو چرخ تراکتور تعدیل کرده است.

واژه‌های کلیدی: دیفرانسیل، کنترل قفل دیفرانسیل، ذخیره نیرو، تراکتور MF285

*- استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ایران، پست الکترونیکی:

bghobadian@aeoi.org.ir تلفن ۰۲۱۰۹۱۰۴۱۹۶۵۲۲، فاکس ۰۲۱۰۷۰۷۸۰۰۰، صندوق پستی: ۳۳۶-۱۴۱۵

** - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت مقاله ۱۳۸۲/۱۰/۱ تاریخ دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۳/۵/۱۲

مقدمه

در تراکتور، قفل دیفرانسیل برای قفل کردن اکسل‌ها و یکسان کردن دور چرخ‌ها و در نتیجه بهبود کشش مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سیستم اجازه می‌دهد که تمام گشتاور به یک چرخ منتقل شود در صورتی که خود دیفرانسیل گشتاور را بین چرخ‌های محرک توزیع می‌کند. با استفاده از قفل دیفرانسیل هنگام شخم زدن، چرخ‌های داخلی شیار قرار دارد می‌تواند کشش بیشتری داشته باشد که در نتیجه کشش کل تراکتور افزایش می‌یابد (ثقفی، ۱۳۶۹). طبق تحقیقات انجام شده قفل دیفرانسیل اثربخش‌ترین روش برای افزایش و بهبود میزان کار تراکتور است (Duquesne et al., 1995a, b).

به علت اینکه پدال قفل دیفرانسیل برای رعایت مسائل ایمنی در جایی است که استفاده مداوم از آن مشکل می‌باشد و همچنین با توجه به اینکه اغلب رانندگان تراکتور از فلسفه این سیستم نا آگاهند در کشور ایران معمولاً از این سیستم بندرت استفاده می‌شود (ملکی، ۱۳۷۶). با توجه به مواردی که شرح داده شد لزوم تلاش برای طراحی سیستمی که بتواند به صورت اتوماتیک قفل دیفرانسیل را کنترل کند، به طوری که در موقع نیاز دیفرانسیل را قفل کرده و در مواقع احتمال بروز خطر آن را از درگیری خارج نماید، همیشه احساس می‌شده است تا اینکه لوکس برای پاسخگویی به این نیاز مدلی الکترومکانیکی از سیستم کنترل قفل دیفرانسیل را طراحی کرد و ساخت که در آن از یک اهرم فشاری و یک سلونوئید استفاده شده بود (Louckes, 1973).

در تحقیق دیگری نیز نوع دیگری از قفل دیفرانسیل برای تراکتور طراحی شد که در آن از یک اسپول^۱ هیدرولیکی و یک سلونوئید استفاده شد (Jewett, 1982). بعدها سیستم دیگری برای کنترل قفل دیفرانسیل طراحی شد که این سیستم به حالت‌های خاص ماشین مانند وضعیت فرمان و لغزش چرخ‌ها حساس بود (Kittle, 1985). سیستم دیگری نیز برای یک ماشین چهار چرخ محرک کشاورزی طراحی شده بود که در آن از شیرهای سلونوئیدی استفاده شده بود. این شیرها به وسیله یک مدار کنترل که شامل یک رله و تعدادی سوئیچ^۲ است کنترل می‌شدند (Nighswonger, 1986).

آخرین تلاش‌ها در این مورد نشان می‌دهد که سیستم کنترل قفل دیفرانسیلی نیز طراحی شده است که براساس دما کار می‌کند (Kyrtos, 2002). اطلاعات موجود نشان می‌دهد که متاسفانه در ایران به طور جدی روی این سیستم تحقیقاتی انجام نشده است و شاید در این مورد اولین تحقیق در ایران به مومنی مربوط باشد که قفل دیفرانسیل نیمه اتوماتیکی را برای تراکتور MF285 طراحی نموده و ساخته است. در این سیستم از یک سلونوئید به همراه حسگرهای تشخیص سرعت تراکتور، وضعیت فرمان و نیز ترمزهای مجزا استفاده شده است (مومنی، ۱۳۸۰).

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که سیستم‌های ذکر شده عموماً الکتریکی یا تلفیقی از سیستم‌های الکتریکی، مکانیکی و هیدرولیکی بوده‌اند. به علاوه، هر یک از این سیستم‌ها برای وسیله خاصی طراحی و ساخته شده است و به دلایل فنی و تطبیقی، مناسب تراکتور MF285 غالب در ایران نمی‌باشند. از این رو، موضوع اصلی این پژوهش طراحی، ساخت، آزمایش و ارزیابی عملکرد واحد ذخیره نیرو و حسگر اتصال سه نقطه در سیستم کنترل قفل دیفرانسیلی است که مناسب این تراکتور بوده و هیچگونه وابستگی به برق تراکتور نداشته باشد.

مواد و روش‌ها

هدف از این طرح تحقیقاتی، طراحی و ساخت مکانیزمی است که در هنگام شخم زدن به صورت اتوماتیک باعث درگیری قفل دیفرانسیل شود. برای این منظور، باید به گونه‌ای وضعیت تراکتور در شخم زدن تشخیص داده شود. بهترین حالت ممکن استفاده از مکانیزم کنترل حساسیت کشش تراکتور است. در ضمن این مکانیزم باید نیروی لازم جهت پایین کشیدن پدال قفل دیفرانسیل^۱ به منظور درگیر کردن قفل دیفرانسیل را خود تامین کند. برای این امر در این طرح تحقیقاتی از حرکت بالا و پایین بازوهای اتصال سه نقطه استفاده شد تا مکانیزمی طراحی شود که هنگام پایین رفتن بازوها نیروی لازم را ذخیره و در مواقع مناسب این نیرو را آزاد کند. برای اندازه‌گیری کورس هر نقطه از بازو ابتدا در حالتی که بازوها پایین هستند، فاصله آن نقطه تا سطح زمین اندازه‌گیری می‌شود.

سپس در حالی که بازوها به صورت کامل بالا آمده‌اند، عمل اندازه‌گیری تکرار می‌شود. از تفاضل دو مقدار اندازه گرفته شده، کورس محاسبه می‌شود.

این مکانیزم از دو قسمت اصلی تشکیل شده است که اصول کار این قسمت‌ها مکانیکی می‌باشد:

۱- واحد ذخیره نیرو

۲- حسگر اتصال سه نقطه

روش تحلیل قطعات

یکی از راه‌های تحلیل مقاومت استاتیکی قطعات استفاده از تنش‌های فون مایز^۲ است (دیباچی‌نیا، ۱۳۷۱). به منظور تحلیل مقاومت بعضی از قطعات از نرم‌افزار انسیس^۳ استفاده شد. انسیس یک ابزار مهندسی بسیار توانا و مؤثر در حل مسائل گوناگون است. انسیس قادر به تحلیل مسائل استاتیکی، دینامیکی، انتقال حرارت، جریان سیال و الکترومغناطیس می‌باشد. به منظور تحلیل قطعات با این نرم‌افزار ابتدا مدلی از قطعه مذکور را رسم نموده سپس مشخصات جنس قطعه (مانند مدول الاستیسیته و ضریب پواسن) وارد می‌شود. در مرحله بعد ضمن تعریف نوع المان، مدل شبکه‌بندی می‌شود. با وارد کردن نیروها و مشخص کردن قيود، مساله حل می‌شود. پس از حل مساله تحلیل آن را به صورت‌های مختلف (مانند توزیع تنش در جهت‌های مختلف، کرنش‌های الاستیکی و پلاستیکی) می‌توان مشاهده کرد (زارعی‌نژاد و گرجی‌نژاد، ۱۳۸۰). در تحلیل بعضی از قطعات تحت بارهای کششی و خمشی از رابطه (۱) استفاده شد (توکلی و مهرکار اصل، ۱۳۷۲). با استفاده از نتایج حاصله از تحلیل‌های انجام شده، جنس یا ابعاد قطعه در نظر گرفته می‌شود.

$$\sigma = \frac{M \times d}{2 \times I} + \frac{P}{A} \quad (1)$$

که در آن:

σ = تنش تسلیم فولاد (MPa)

P = نیروی وارده بر محور (N)

M = گشتاور خمشی وارده بر محور (N.m)

$d =$ قطر محور (mm)

$A =$ سطح مقطع محور (mm^2)

$I =$ گشتاور دوم محور (mm^4)

یکی از راه‌های ذخیره نیرو استفاده از فنر می‌باشد. رابطه بین نیروی ذخیره شده و تغییر طول فنر از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$F = K \Delta L \quad (2)$$

که در آن:

$\Delta L =$ تغییر طول فنر (mm)

$F =$ نیرو (N)

$K =$ ثابت فنر (N/mm)

ثابت فنر مطابق فرمول زیر محاسبه می‌شود (ولی نژاد، ۱۳۷۸):

$$K = \frac{Gd^4}{8D_m^3 \times i_f} \quad (3)$$

که در آن:

$D =$ قطر مفتول محور (mm)

$D_m =$ قطر متوسط حلقه فنر (mm)

$i_f =$ تعداد حلقه‌های موثر

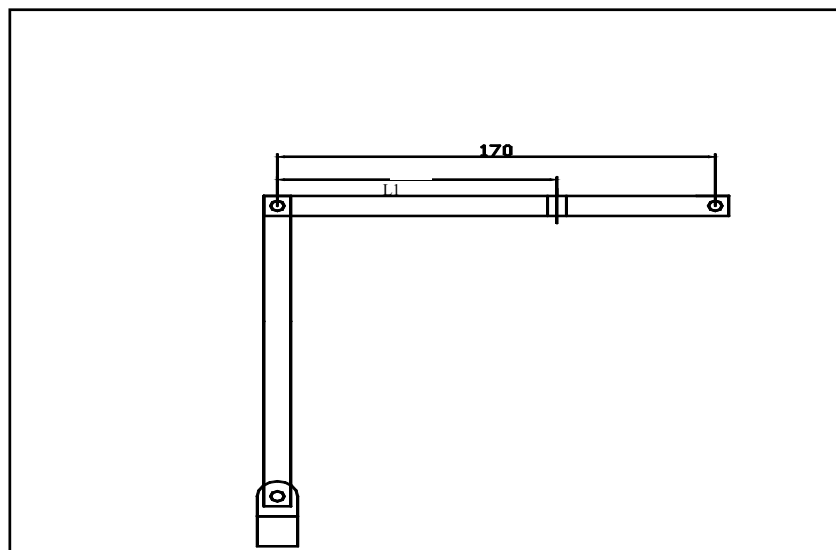
$G =$ مدول یانگ (MPa)

روش ساخت

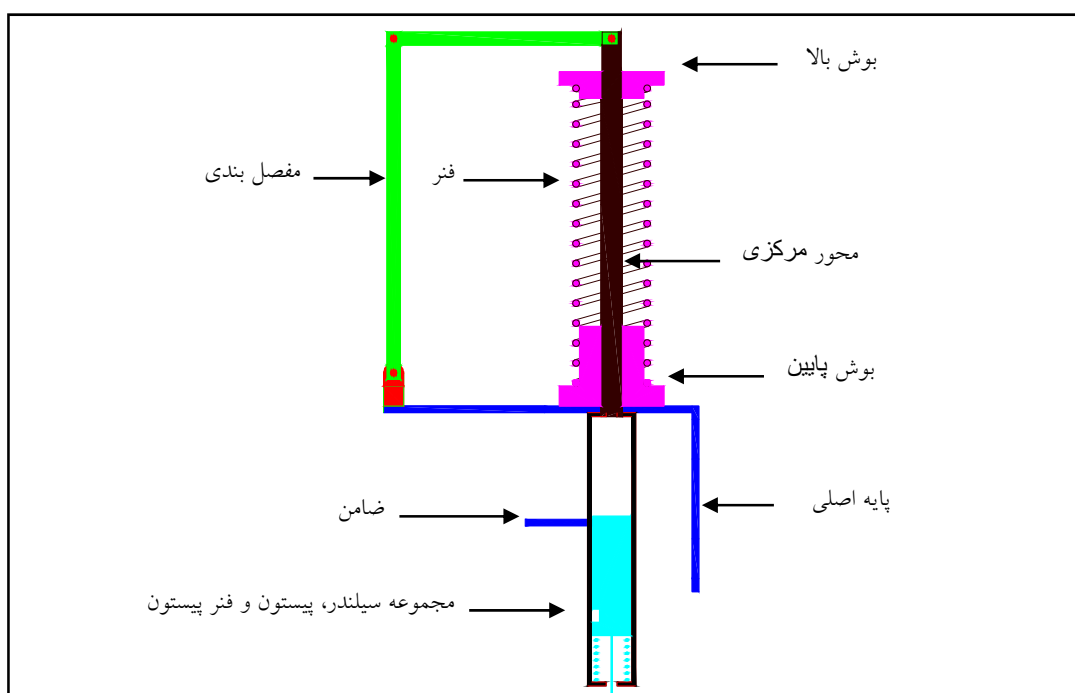
پس از محاسبه پارامترهای مختلف با استفاده از روابط فوق و نیز به کارگیری نرم افزار ذکر شده، به منظور ساخت قسمت‌های مختلف عملیات ماشینکاری و جوشکاری به کار رفتند. در عملیات ماشینکاری از دستگاه‌هایی نظیر تراش، فرز، صفحه تراش و دریل استفاده شد. به منظور جوشکاری بعضی قطعات، جوش CO_2 به کار گرفته شد.

واحد ذخیره نیرو

وظیفه این واحد، ذخیره نیرو به اندازه‌ای است که بتواند پدال قفل دیفرانسیل را پایین بکشد. با توجه به اندازه گیری نیروی لازم برای پایین کشیدن پدال قفل دیفرانسیل (به وسیله آویزان کردن وزنه به پدال) چند تراکتور MF285، مقدار این نیرو به طور متوسط ۲۵۰ نیوتن و کورس آن ۳۰ میلیمتر به دست آمد. با در نظر گرفتن این مقادیر واحد ذخیره نیرو باید توانایی تامین این نیرو را در کورس ۳۰ میلیمتر داشته باشد.



شکل ۱: اهرم بندی مورد استفاده در واحد ذخیره نیرو



شکل ۲: شماتیک واحد ذخیره نیرو

از آنجا که برای انتقال این نیرو از کابل استفاده می‌شود، باید این نیرو طوری ذخیره شود که هنگام آزاد شدن، سیم کابل را بکشد. به همین دلیل از یک نوع اهرم بندی مانند شکل ۱ استفاده شد. این اهرم بندی به همراه فنر و دیگر قطعات روی یک صفحه فلزی نصب گردید که در شکل ۲ نشان داده شده‌اند.

برای ذخیره کردن نیرو از بالا و پایین رفتن بازوهای اتصال سه نقطه استفاده شد. به همین خاطر، ابتدا بهترین جا برای نصب مکانیزم روی بدنه تراکتور مشخص گردید. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود مکانیزم در قسمت سمت راست تراکتور بین بازوی بالابر و گلگیر تراکتور نصب شد زیرا به دلیل وجود دو عدد سوراخ قلاویز شده در این محل، بهترین نقطه برای نصب مکانیزم تشخیص داده شد و بدون هرگونه تغییر در بدنه تراکتور، این واحد روی آن مونتاژ شد. با توجه به محدودیت جا، در کنار بازوی اتصال سه نقطه سمت راست تراکتور صفحه‌ای فلزی به ابعاد 200×100 میلیمتر در نظر گرفته شد. این صفحه با زاویه قائمه روی صفحه دیگری جوش داده شد که به‌عنوان بدنه اصلی واحد عمل می‌کند. با توجه به اینکه موقعیت این قطعه طوری است که راننده یا فرد دیگری هنگام سوار شدن روی تراکتور یا پیاده شدن از آن ممکن است روی این قطعه پا بگذارد، ابعاد و جنس این قطعه طوری در نظر گرفته شد که به راحتی نیرویی معادل 700 نیوتن (معادل وزن متوسط یک انسان) را تحمل کند. به منظور تحلیل قطعه از نرم‌افزار انسیس استفاده شد و با استفاده از نتایج حاصل از تحلیل، جنس قطعه از فولاد St44 با تنش تسلیم 280 MPa در نظر گرفته شد (ولی نژاد، ۱۳۷۸).

از آنجا که طول اهرم M در شکل ۱، 170 میلیمتر و کورس بازوی بالابر سمت راست اتصال سه نقطه در نقطه‌ای که سر اهرم قرار دارد 70 میلیمتر است و با توجه به اینکه کورس پدال 30 میلیمتر می‌باشد، سر سیم کابل باید به قسمتی از اهرم وصل شود که کورس آن 30 میلیمتر است به این منظور، در فاصله 73 میلیمتر از سر اهرم یک سوراخ به قطر 7 میلیمتر جهت اتصال سر سیم ایجاد شد (شکل ۱). با توجه به ابعاد اهرم M، اگر نیرویی معادل 107 نیوتن به سر اهرم وارد شود به سیم کابل 250 نیوتن نیرو وارد می‌شود. به منظور غلبه بر اصطکاک بین اجزای مختلف مکانیزم و اطمینان بیشتر نیروی وارده به سر اهرم 150 نیوتن در نظر گرفته شد. برای ذخیره نیرو و وارد کردن آن به سر اهرم از فنری با مشخصات زیر استفاده شد:

$d = 5 \text{ mm}$	قطر مفتول
$D_m = 55 \text{ mm}$	قطر متوسط حلقه فنر
$i_f = 11.5$	تعداد حلقه‌های موثر
$K = 2.4 \text{ N/mm}$	ثابت فنر
$L = 240 \text{ mm}$	طول فنر
$L_0 = 67.5 \text{ mm}$	طول فنر فشرده
$(\Delta L)_1 = 65 \text{ mm}$	تغییر طول اولیه فنر
$(\Delta L)_2 = 70 \text{ mm}$	تغییر طول ثانویه فنر (توسط بازوی سمت راست)
$\Delta L = 65 + 70 = 135 \text{ mm}$	تغییر طول کلی فنر
$F = 135 \times N \quad 2.4 = 324N$	حداکثر نیرویی که فنر به سر اهرم وارد می‌کند



شکل ۳: محل نصب واحد ذخیره نیرو

قدم بعدی طراحی مکانیزمی است که بتواند فنر را تحت فشار قرار داده و در ضمن نیروی ذخیره شده فنر را به سر اهرم انتقال دهد. به این منظور از یک محور و دو بوش چدنی استفاده شد. بوش‌های چدنی به صورت دوپله ساخته می‌شوند. مجموع طول پله‌های با قطر کمتر بوش‌ها باید از ۶۷/۵ میلیمتر کمتر باشد، در غیر این صورت از فشرده شدن فنر به صورت کامل جلوگیری می‌شود. به همین منظور مجموع طول پله‌های با قطر کمتر، ۶۵ میلیمتر در نظر گرفته شد. چون بوش پایینی نقش مؤثری در جلوگیری از کمانش و یا کج شدن محور دارد لذا طول پله با قطر کمتر بوش پایینی از بوش بالایی بزرگتر در نظر گرفته می‌شود.

برای به دست آوردن قطر محور ابتدا نیروهای اعمالی روی محور مشخص گردید. این محور ضمن اینکه نیروی وارده از فنر را تحمل می‌کند، در مقابل نیروهای جانبی نیز باید مقاوم باشد تا در آن خمش ایجاد نشود. به این منظور، با توجه به مجهول بودن نیروهای جانبی، ابتدا این محور طوری طراحی می‌شود که نیرویی جانبی فرضی معادل ۶۰۰ نیوتن را تحمل کند و متعاقب در عمل اصلاح می‌گردد. (شکل ۴) نیروهای وارد بر محور را نشان می‌دهد.

با توجه به محاسبات انجام شده از محوری به قطر ۱۶ و طول ۲۹۷ میلیمتر و جنس CK۴۵ استفاده شد. یک سر محور به طول ۳۰ میلیمتر توسط فرز از طرفین تا ضخامت ۵ میلیمتر ماشینکاری شده و جهت اتصال به سر اهرم، سوراخی به قطر ۵ میلیمتر در قسمت ماشینکاری شده ایجاد گردید. بعد از قسمت ماشینکاری جهت بستن بوش بالایی روی محور و تحت فشار قرار دادن فنر، محور حدیده شد. طول قسمت حدیده شده می‌بایست کمتر از ۱۰۰۰ میلیمتر باشد در غیر این صورت هنگام پایین کشیدن محور توسط بازوی بالابر، قسمت حدیده شده وارد بوش می‌شود و باعث خوردگی رزوه‌ها و جداره داخلی بوش می‌گردد.

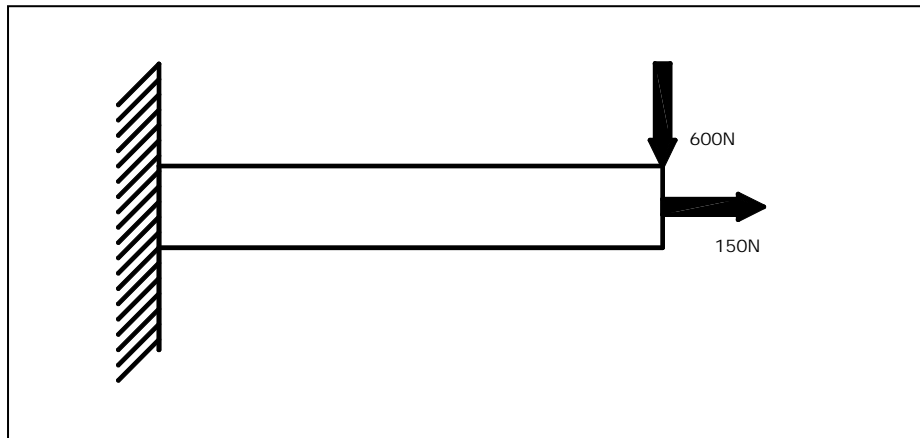
واحد ذخیره نیرو باید بتواند در موقع لزوم نیروی ذخیره شده را آزاد کند، به این منظور به جای انتقال مستقیم نیروی بازوی بالابر به محور مرکزی از یک مجموعه سیلندر و پیستون بین آن‌ها استفاده می‌شود. برای تهیه سیلندر از یک لوله به جنس St۳۷ با قطر داخلی ۳۳ میلیمتر استفاده شد. ضخامت این لوله باید در

برای تهیه سیلندر از یک لوله به جنس St3۷ با قطر داخلی ۳۳ میلیمتر استفاده شد. ضخامت این لوله باید در حدی باشد که در مقابل نیروی ۳۲۴ نیوتنی که از طرف بازوی بالابر تراکتور به آن وارد می‌شود، مقاوم باشد. نیروی وارده بر لوله در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به تنش‌های ایجاد شده در اثر نیروی وارده و برای بالا بردن مقاومت لوله در برابر عملیات جوشکاری و همچنین مقاومت در برابر هرگونه تغییر شکل در اثر اعمال بارهای جانبی ناخواسته با توجه به امکانات قابل دسترس قطر خارجی لوله برابر ۳۶ میلیمتر در نظر گرفته شد. (شکل ۲) شماتیک واحد ذخیره نیرو را نشان می‌دهد. هنگام پایین رفتن بازوها مجموعه سیلندر و پیستون واحد ذخیره نیرو به‌همراه محور مرکزی پایین کشیده می‌شود. در نتیجه این عمل فنر فشرده شده و نیرو ذخیره می‌شود. حال اگر به نحوی ضامن کشیده شود ارتباط بین سیلندر و پیستون قطع شده و سیلندر و محور مرکزی تحت فشار فنر به سمت بالا می‌روند و در واقع نیرو آزاد می‌شود. به‌منظور آزاد کردن نیروی واحد ذخیره نیرو در مواقع شخم زنی می‌بایست سیستمی طراحی شود که وضعیت تراکتور در موقع شخم زنی را تشخیص دهد. یکی از راه‌های تشخیص این وضعیت استفاده از حرکت کله کنترل فنری (مربوط به سیستم کنترل حساسیت) می‌باشد (شکل ۶). به این ترتیب که از حرکت کله کنترل فنری برای کشیدن ضامن مجموعه سیلندر و پیستون واحد ذخیره نیرو استفاده کرد. برای این امر از یک اهرم L شکل استفاده شد. برای تکیه‌گاه اهرم از دوشاخه بالای کله کنترل فنری استفاده گردید.

با توجه به اینکه فاصله مرکز سوراخ‌های دوشاخه تا کله کنترل فنری ۷۵ میلیمتر می‌باشد و هدف ما این است که با ۵ میلیمتر حرکت کله کنترل فنری ضامن آزاد شود (یعنی ۵ میلیمتر کشیده شود)، پس طول دو بازوی اهرم مساوی هستند.

نتایج و بحث

به منظور حصول اطمینان از صحیح بودن مراحل مختلف طراحی و ساخت مکانیزم، آزمایش‌های مختلفی در مراحل مختلف کاری روی آن انجام شد که شرح این آزمایش‌ها در زیر آمده است. بعد از ساخت دستگاه به‌منظور آزمایش کارکرد صحیح قسمت‌های مختلف آن، پس از مرتب کردن اجزای مختلف آن به یکدیگر کل مکانیزم مورد آزمایش قرار گرفت. روش انجام کار به این صورت بود که ابتدا به وسیله اتصال وزنه به سیم متصل به پیستون سیلندر قسمت ذخیره نیرو، مجموعه سیلندر و پیستون به میزان ۷۰ میلیمتر پایین کشیده شد. در نتیجه فنر جمع شده، و نیرو ذخیره می‌شود. به جای پدال قفل دیفرانسیل نیز یک وزنه ۲۵ کیلوگرمی به سیم متصل به اهرم قسمت ذخیره نیرو وصل شد. سپس ضامن مربوط به مجموعه سیلندر و پیستون قسمت ذخیره نیرو بیرون کشیده شد. با انجام این عمل نیروی ذخیره شده در واحد ذخیره نیرو آزاد شده و در نتیجه وزنه ۲۵ کیلوگرمی به اندازه ۳۰ میلیمتر بالا آمد. بدین ترتیب آزمایش کارگاهی با موفقیت انجام شد و مکانیزم برای مونتاژ روی تراکتور آماده شد. پس از اینکه کلیه قسمت‌ها کنترل شد، اجزای مکانیزم روی بدنه تراکتور مونتاژ شد. به هنگام نصب اجزای مختلف مکانیزم روی بدنه تراکتور در بعضی از قسمت‌ها اصلاحات جزئی به‌عمل آمد مثلاً هنگامی که گاواهن پشت تراکتور بسته نیست بازوها آزادی عمل بیشتری داشتند، بنابراین هنگام بالا آمدن بازوها،



شکل ۴: نیروهای وارد بر محور مرکزی

بازوی سمت راست به کناره پایه اصلی واحد ذخیره نیرو برخورد می‌کرد به همین دلیل قسمتی از گوشه سمت چپ پایه اصلی واحد ذخیره نیرو برش زده شد (شکل ۷).

برای آزمایش ابتدا با پایین آوردن بازوها واحد ذخیره نیرو، نیروی لازم را در خود ذخیره می‌نماید (شکل ۸). هنگامی که بازوها به‌طور کامل در وضعیت پایین قرار می‌گیرند. با کشیدن ضامن مربوط به سیلندر واحد ذخیره نیرو، نیرو آزاد شده و پدال قفل دیفرانسیل پایین کشیده می‌شود. پس از آن به آزمایش مزرعه‌ای مکانیزم اقدام شد. به منظور انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای به وسیله یک تراکتور MF285 در دو حالت بدون استفاده از مکانیزم کنترل مکانیکی قفل دیفرانسیل و با استفاده از مکانیزم کنترل مکانیکی قفل دیفرانسیل، دستگاه مورد آزمایش قرار گرفت. در ادامه به شرح چگونگی انجام آزمایش‌ها و تشریح نتایج حاصل از آن پرداخته می‌شود.

آزمایش مزرعه‌ای – بدون استفاده از مکانیزم

برای اندازه‌گیری بکسوات به روش دستی عمل شد به این صورت که ابتدا روی چرخ عقب تراکتور علامتگذاری شد. تراکتور مسیر مشخصی (۵۰ متر) را بدون بار طی کرده و تعداد دوری که چرخ عقب در این مسافت داشت، ثبت گردید. در مراحل بعد تراکتور زیر بار (در حالت شخم‌زدن با گاوآهن برگردان دار سه خیشه و عمق شخم ۳۰ سانتیمتر) همین مقدار مسافت را طی کرده و تعداد دوری که چرخ‌های عقب در این مسافت داشتند نیز ثبت گردید. سپس طبق رابطه ۴ میزان بکسوات محاسبه می‌شود (مومنی، ۱۳۸۰):

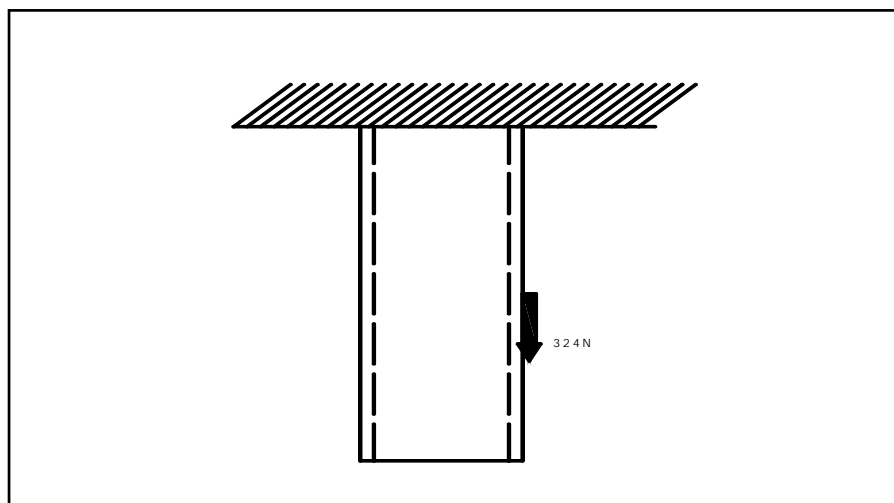
$$S = \left(\frac{n_1 - n_0}{n_1} \right) \times 100 \quad (4)$$

که در آن:

S = بکسوات در چرخ‌های محرک (درصد)

n_1 = تعداد دور چرخ‌های محرک برای فاصله‌ای معین در حالت زیر بار

n_0 = تعداد دور چرخ‌های محرک برای همان فاصله و در حالت بدون بار



شکل ۵: نیروی وارد بر جداره سیلندر در واحد ذخیره نیرو



شکل ۶: محل نصب حسگر وضعیت اتصال سه نقطه



شکل ۷: برش گوشه پایه اصلی واحد ذخیره نیرو



شکل ۸: ذخیره نیرو بوسیله فنر هنگام پایین رفتن بازوها.

با استفاده از رابطه ۴، میزان بکسوات هر یک از چرخ‌های عقب سمت چپ و راست تراکتور محاسبه گردید. این کار سه بار تکرار شد و میانگین این تکرارها به دست آمد که میزان آن برای چرخ سمت چپ ۳۳ درصد و برای چرخ سمت راست ۱۳ درصد بود.

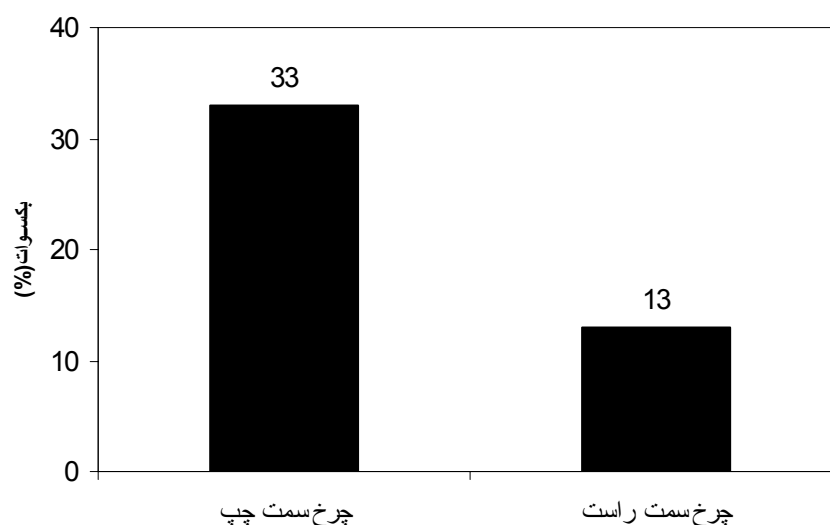
(شکل ۹) میزان بکسوات چرخ‌های عقب را در حالت بدون استفاده از مکانیزم نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود میزان بکسوات در چرخ سمت چپ یعنی چرخ‌ی که روی زمین شخم نخورده قرار دارد به مراتب بیشتر از میزان بکسوات چرخ دیگر یعنی چرخ‌ی است که در کف شیار شخم حرکت می‌کند. چنین رویدادی به این دلیل است که اولاً بیشتر وزن تراکتور روی چرخ درون شیار قرار دارد و ثانیاً لایه شخم متراکم‌تر و در نتیجه مقاومت برشی آن بالاتر است و ثالثاً به علت عدم وجود مواد آلی در کف شیار و رطوبت بالای آن گیرایی این چرخ بیشتر است.

مقایسه بکسوات چرخ‌های عقب تراکتور در شرایطی که مکانیزم کنترل مکانیکی قفل دیفرانسیل به کار برده نشده است نشان می‌دهد که چرخ سمت چپ ۲۰ درصد بیشتر از چرخ سمت راست بکسوات می‌کند. نتیجه طبیعی این عمل در دراز مدت علاوه بر تلفات وقت و انرژی سوختی، سایش لاستیک چرخ‌ها را نیز به دنبال خواهد داشت که برآورد میزان دقیق آن به تحقیقات بیشتر نیاز دارد.

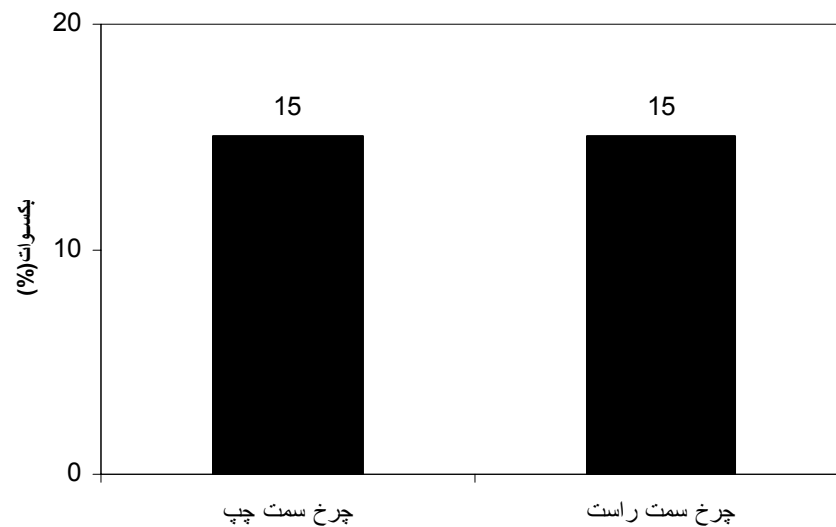
آزمایش مزرعه‌ای - استفاده از مکانیزم

در این حالت نیز توسط تراکتور مسافتی برابر با مسافت طی شده در بخش قبل شخم زده شد و تعداد دوری که چرخ‌های عقب در طول مسیر داشتند، یادداشت گردید. این بار نیز طبق رابطه ۴ میزان بکسوات محاسبه شد. به کارگیری مکانیزم کنترل مکانیکی قفل دیفرانسیل باعث کاهش بکسوات چرخ سمت راست از ۳۳ درصد به ۱۵ درصد شده است.

شکل ۱۰ میزان بکسوات چرخ‌های محرک را در حالت استفاده از مکانیزم کنترل مکانیکی قفل دیفرانسیل نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود میزان بکسوات چرخ سمت چپ به مراتب کمتر از



شکل ۹: میزان بکسوات چرخ‌های عقب در حالت بدون استفاده از مکانیزم



شکل ۱۰: میزان بکسوات چرخ‌های عقب در حالت استفاده از مکانیزم

حالت قبل شده است و در مقابل میزان بکسوات چرخ سمت راست به علت افزایش سرعت پیشروی به میزان ۲ درصد افزایش پیدا کرده است. در مجموع مقدار بکسوات چرخ‌های محرک ۱۶ درصد کمتر شده است. به علت کاهش بکسوات سرعت شخم زنی تراکتور افزایش می‌یابد. بنابراین برای شخم زدن یک مساحت مشخص در حالتی که از مکانیزم استفاده می‌شود نسبت به حالتی که از مکانیزم استفاده نمی‌شود زمان کمتری لازم است. از این رو پیش بینی می‌شود که نتیجه این کار، یعنی استفاده از مکانیزم کنترل مکانیکی قفل دیفرانسیل در تراکتور باعث کاهش سوخت مصرفی، افزایش سرعت شخم‌زنی و افزایش عمر لاستیک چرخ‌های محرک تراکتور می‌شود.

در این تحقیق نمونه‌ای از یک واحد ذخیره نیرو و حسگر وضعیت اتصال سه نقطه طراحی و ساخته شد. سپس دستگاه طی سه مرحله مورد آزمایش قرار گرفته و پس از هر مرحله آزمایش عیوب مشاهده شده رفع شد. در طول مراحل مختلف تحقیق نتایج زیر به دست آمد:

طراحی قسمت‌های مختلف به گونه‌ای صورت گرفته است که برای نصب سیستم هیچگونه تغییری روی بدنه تراکتور ایجاد نشد. در این مکانیزم از آغاز شخم زدن، توسط حسگر کنترل وضعیت، نیروی واحد ذخیره نیرو آزاد می‌شود. البته به وسیله کشیدن ضامن مربوط به سیلندر واحد ذخیره نیرو (از طریق کشیدن سیم رابط بین ضامن و سنسور وضعیت اتصال سه نقطه) می‌توان نیروی واحد ذخیره نیرو را در حالتی غیر از شخم‌زنی، آزاد کرد.

در هنگام فشار دادن پدال قفل دیفرانسیل توسط پا، بعضی مواقع کل وزن راننده بر پدال وارد می‌شود. این امر باعث کج شدن ماهک مربوط به قفل دیفرانسیل می‌شود. در این مکانیزم با توجه به اینکه استفاده از پا برای فشار دادن پدال حذف گردید، از بروز مشکل ذکر شده جلوگیری شده است. یکی از مزایای مکانیزم این است که نیروی لازم جهت حرکت اجزای آن از حرکت اجزای مختلف تراکتور گرفته می‌شود و به هیچ منبع نیرویی مانند موتور الکتریکی احتیاج ندارد. مزیت مهم دیگر این مکانیزم، مکانیکی بودن آن است. این مزیت موجب می‌شود که مکانیزم مکانیکی در مقایسه با سیستم‌های الکترونیکی در شرایط سخت غیر

جاده‌ای تراکتور از استحکام و دوام لازم برخوردار گردد. نتایج به دست آمده در آزمایش‌های مختلف کارگاهی و مزرعه‌ای انجام شده روی مکانیزم، نشان دهنده عملکرد مناسب آن مخصوصاً در شرایط کاری تراکتور (برون جاده‌ای) می‌باشد. می‌توان سیستمی طراحی کرد که بتواند در مواقع خطر قفل دیفرانسیل را آزاد کند. استفاده آن به همراه این مکانیزم بر روی تراکتور قابلیت درگیر کردن و آزاد کردن قفل دیفرانسیل را به‌طور اتوماتیک دارد. در صورت تحقق این امر پیش‌بینی می‌شود که مشکلات مربوط به عدم استفاده از قفل دیفرانسیل به‌ویژه در هنگام عملیات شخم‌زنی برطرف گردد.

منابع و مآخذ

- ۱- توکلی هشین، ت. و مهرکاراصل، م (۱۳۷۴). مقاومت مصالح. (تالیف تیموشینکو) چاپ ششم. انتشارات دانشگاه تهران، ۵۵۶ ص.
- ۲- زارعی نژاد، م. و گرجی نژاد، س (۱۳۸۰). تحلیل به روش اجزای محدود همراه با خودآموز کامل نرم‌افزار انسیس. انتشارات محراب. ۵۷۲ ص.
- ۳- دیبایی نیا، ب (۱۳۷۱). طراحی اجزا در مهندسی مکانیک. (تالیف شیگلی) چاپ اول. انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، ۷۷۶ ص.
- ۴- ثقفی، م (۱۳۶۹). تراکتور و مکانیسم آن. (تالیف لیل جدال، کارلتون، ترنکوئیست و اسمیت) انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، ۴۹۰ ص.
- ۵- مومنی آبخارکی، د (۱۳۸۰). طراحی و ساخت قفل دیفرانسیل نیمه اتوماتیک برای تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- ۶- ملکی، م (۱۳۷۶). جزوه درسی شناخت و کاربرد تراکتور. دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- ۷- ولی نژاد، ع (۱۳۷۸). جداول و استانداردهای طراحی و ماشین‌سازی. چاپ هفتم. انتشارات طرح، ۳۲۲ ص.
- 8- Duquesne, F., L., Kermis and R., Verschchoore (1995a). Influence of differential locking on tractor work rate: Part 1, simulation of a single axle vehicle. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 60: 201-209
- 9- Duquesne, F., L., Kermis and R., Verschchoore (1995b). Influence of differential locking on tractor work rate: Part 1, simulation of a two-wheel-drive tractor when turning. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 64: 79-92
- 10- Jewett, M.D. (1982). Locking differential control system. United States patent, No: 4347760.
- 11- Kittle, C.E. (1985). Differential lock control system responsive to a plurality of vehicle parameters. United States patent, No: 4549448
- 12- Kyrtsos, C. (2002). Temperature based differential lock control. United States patent, No: 6361466B1
- 13- Louckes, T.N. (1973). Locking type differential gear mechanism. United States patent, No: 3732752.
- 14- Nighswonger, L. (1986). Differential lock control system responsive to steering and/or braking action to unlock differential. United States patent, No: 4570509