مقاله

طراحی سازوکار تعلیق چرخ‌های تراکتور به‌منظور حرکت در مناطقی با شیب عرضی

روح‌الله محمد سنابادی عزیز
مربی پژوهشی، پژوهشکدهٔ فنی و مهندسی جهاد
rohollahmohammad@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۱/۱۷

چکیده

تراکتور عامل اصلی نیروی محرک ادوات کشاورزی در عملیات کاشت، داشت و برداشت در حوزهٔ کشاورزی محسوب می‌شود. وسعت اراضی شیب‌دار و کوهپایه‌ای در ایران، نیاز طراحی سازوکاری با قابلیت کاربرد تراکتور به‌صورت حرکت عرضی در شیب‌ها را دو چندان می‌کند. در این مقاله، با نصب سازوکاری بازویی برای چرخ‌های عقب و استفاده از نیروی هیدرولیک سعی شده است تا اختلاف ارتفاع در دو سمت تراکتور با تغییر ارتفاع چرخ‌ها جبران شود. نتایج نظری و عملی این کار نیز در شیب‌های عرضی تا ۲۴/۲ درجه موفقیت‌آمیز بوده است. با طرح چنین ایده‌ای، تراکتور توانایی بالا و پایین‌شدن چرخ‌ها تا ارتفاع ۴۸ سانتی‌متر را در زمین‌هایی با شیب‌های متفاوت به‌دست می‌آورد. در سطوح شیب‌دار، فشار حداقل مورد نیاز برای برقراری تعادل محورها ۵۰ بار محاسبه شده است که به پیستونی با قطر ۶۳ میلی‌متر نیاز دارد. حداکثر زاویه‌ای که تراکتور با جابه‌جایی چرخ‌های عقب می‌تواند تغییر شیب دهد، ۱۹/۲ درجه است که در حالت کلی تراکتور مورد نظر تا ۲۴/۲ درجه تغییر زاویه پایدار می‌باشد. طراحی محور جلو این تراکتور نیز به‌گونه‌ای است که توانایی نوسان زاویه‌ای از ۱۵ تا ۳۰ درجه را دارد.

واژگان کلیدی: تراکتور، شیب‌رو، حسگر شیب، واژگونی تراکتور

۱. مقدمه

امروزه کشاورزی با میزان ۸ برابر مرگ‌ومیر و آسیب‌های جدی به اپراتور، از جمله خطرناک‌ترین مشاغل محسوب می‌شود. مخاطرات مرتبط با تراکتور در مزرعه به پایداری، ترمز، دسترسی به محل کار، کنترل، اپراتورها، و نیز انتقال قدرت از تراکتور به ادوات بستگی دارد [۱-۲]. مهمترین مشکل در این راه عدم تعادل و امکان واژگونی این تجهیز در جهت جانبی در زمین‌های شیب‌دار است. در اکثر حوادث رخداده در مزارع شیب‌دار، علت واژگونی را چرخش سریع

تراکتور یا نامتعادل‌شدن آن در اثر برخورد با موانع معرفی کرده‌اند. با توجه به بررسی‌های به‌عمل آمده، امروزه حداکثر شیبی که تراکتورهای معمولی به‌عنوان عامل اصلی عملیات کشاورزی می‌توانند به‌صورت جانبی با ضریب اطمینان عدم واژگونی حرکت کنند، ۱۰ تا ۱۲ درجه است. به‌منظور کنترل آسیب‌های موجود در کشاورزی، استفاده از مانیتور پایداری الکترونیکی مقرون به‌صرفه است و می‌تواند قابلیت اطمینان را در انجام عملیات کشاورزی با استفاده از تراکتور بهبود بخشد و از واژگونی آن جلوگیری کند [۳].

چون در ایران، زمین‌های کوهپایه‌ای و شیب‌دار وسعت نسبتاً زیادی دارند، طبیعتاً ماشینی که بتواند به‌عنوان محرک ادوات کشاورزی در سطوح شیب‌دار استفاده شود، بسیار کارآمد خواهد بود. البته در زمین‌هایی با شیب‌های بیشتر و حتی در شیب‌های مذکور، به‌منظور جلوگیری از واژگونی و با استفاده از تجربه و مهارت خاص رانندهٔ تراکتور حرکت به‌صورت رفت‌وبرگشتی در جهت شیب زمین نیز انجام می‌شود.

روش‌های جلوگیری از حوادث می‌تواند به سه دستهٔ مهندسی، آموزشی و اجباری تقسیم شود که در روش مهندسی به ویژگی‌های ایمنی متعددی به‌منظور افزایش ایمنی نیروی انسانی پرداخته می‌شود [۴]. تاکنون در سطح جهانی مطالعات و تحقیقاتی انجام شده است که پیچیدگی و مشکلات فراوانی در ساخت دارند. اما براساس تحقیقات انجام‌شده روی تراکتوری با قدرت ۱۷ اسب بخار، که توانسته است قابلیت حرکت آن در شیب‌های عرضی تا ۱۵ درجه ایجاد نماید، مفید بوده است [۵]. براساس بررسی‌های انجام‌شده، مقدار شیب مناسب به‌منظور انجام عملیات برداشت علوفه به‌وسیلهٔ تراکتورهای معمولی حداکثر ۳۵ درصد معرفی شده است [۶]، حال آنکه با استفاده از ماشین‌آلات مجهز به سازوکار شیب‌رو، قابلیت حرکت در شیب بین ۶۰ تا ۶۵ درصد نیز فراهم می‌شود. هرچند هزینهٔ تهیهٔ این ادوات زیاد است، اما بهره‌وری از این مزارع را با رعایت ایمنی اپراتور بهبود می‌بخشند [۷].

تحقیقات و اقدامات انجام‌شد در این مقاله به‌منظور طراحی، ساخت و نصب سازوکاری است که تراکتور یونیورسال مدل ۶۵۰ ام. با قدرت ۶۵ اسب بخار بتواند در شیب‌های عرضی حداکثر ۴۵ درصد (۲۴/۲ درجه) با ضریب اطمینانی قابل قبول و عدم واژگونی حرکت کند، در حالی‌که ماشین‌های مناسب عملیات مرتع به‌راحتی به تراکتور متصل شده و عملیات مورد نظر انجام شود.

۲. مواد و روش‌ها

با توجه به وسعت بخش‌های متنوع کار، عملیات طراحی، ساخت و نصب به چهار بخش اصلی تقسیم می‌شود که به‌ترتیب عبارت است از:

۱. سازوکار جابه‌جایی و حرکت در صفحهٔ قائم چرخ‌های عقب (تغییر ارتفاع) به‌منظور متعادل‌کردن و تغییر شیب عرضی بدنهٔ تراکتور
۲. سازوکار تغییر وضعیت محور جلو و تغییر زاویهٔ چرخ‌های جلو با سطح شیب‌دار به‌منظور جلوگیری و مقاومت در برابر لغزش و سرخوردن در شیب
۳. سازوکار کنترل دستی و خودکار با استفاده از حسگر و مدارهای حساس الکترونیکی و هماهنگی کامل با سیستم هیدرولیک
۴. نمایشگر شیب در هر لحظه

۳. محاسبات و برآوردهای اولیه

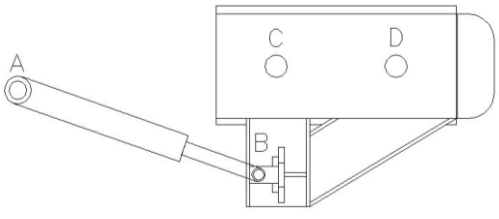
چون سیستم تعلیق و نصب چرخ‌های جلوی تراکتور به‌صورت لولایی از طریق محور جلو به بدنه متصل می‌شود و با توجه به اینکه چرخ‌های عقب عمدهٔ وزن تراکتور را تحمل می‌کنند و نیروی رانش نیز به آنها اعمال می‌شود، به‌منظور اجرای طرح و شیب‌رو نمودن تراکتور، لازم است تا کار اصلی و تغییرات اساسی روی چرخ‌های عقب انجام شود؛ به‌طوری‌که چرخ‌ها به‌منظور جبران شیب در صفحهٔ قائم بتوانند بالا و پایین روند و گشتاور چرخشی خروجی از محور دیفرانسیل تراکتور با کمترین تلفات به چرخ‌ها انتقال

یابد. برای رسیدن به این خواسته باید به چهار پرسش اساسی پاسخ گفت:

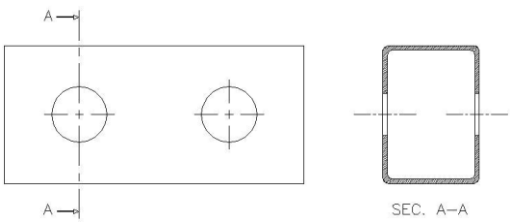
۱. چرخ‌ها روی چه سازه‌ای و در چه فاصله‌ای قرار گیرند؟
۲. سازهٔ مذکور، که چرخ‌ها روی آن نصب می‌شود، چگونه چرخ‌ها را جابه‌جا می‌کند؟
۳. با توجه به تغییرات انجام‌شده، آیا تراکتور در شیب مورد نظر واژگون می‌شود؟
۴. قدرت خروجی محور دیفرانسیل توسط چه سازوکاری به محور جدید چرخ منتقل می‌شود؟

در این طرح با استفاده از تحقیقات و طرح آزمایش‌شده روی تراکتور ۱۷/۵ اسب بخار یانمار [۵]، چرخ‌های عقب روی بازوهای L شکل قرار گرفته‌اند، به‌طوری‌که با توجه به شکل ۱، نقطهٔ C محور خروجی دیفرانسیل تراکتور (محل قبلی چرخ‌های عقب تراکتور که در بازو به‌عنوان محور محرک عمل می‌کند) می‌باشد و چرخ روی محور متحرک در نقطهٔ D از بازو قرار می‌گیرد. نقطهٔ B نیز روی بالهٔ دیگر بازو، محل نصب انتهای دسته پیستون یک جک هیدرولیک می‌باشد که انتهای سیلندر آن در نقطهٔ A به بدنه تراکتور متصل می‌گردد [۸].

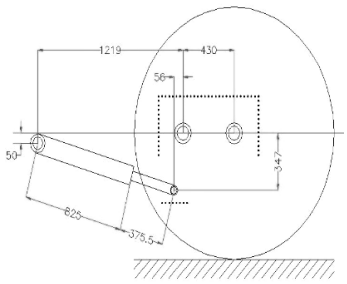
در این‌صورت، با توجه به صلبیت و یکپارچه‌بودن بازوی BCD و اتصال آن به دسته پیستون جک هیدرولیکی، چنانچه نقطهٔ B در اثر جابه‌جایی دسته پیستون حول محور C دوران کند، به پیروی از آن، نقطهٔ D که محور چرخ بر آن قرار دارد نیز دوران می‌کند که میزان جابه‌جایی نقطهٔ D (چرخ) نسبت مستقیم با فاصلهٔ CD و نسبت عکس با فاصلهٔ CB خواهد داشت (شکل ۲). با توجه به ابعاد چرخ تراکتور مورد نظر و متعلقات و تجهیزات زیر آن، فاصلهٔ کف زیرین تراکتور تا روی زمین، در حالت عادی حدود ۴۸ سانتی‌متر است؛ یعنی چنانچه هر یک از چرخ‌ها بیشتر از ۴۸ سانتی‌متر در امتداد قائم بالا رود، کف زیرین تراکتور با زمین برخورد خواهدکرد. لذا با توجه به فضای لازم جهت سطح سنگلاخی و موانع طبیعی یا مصنوعی احتمالی در طرح، میزان جابه‌جایی چرخ‌ها در راستای قائم (بالارفتن چرخ عقب نسبت به موقعیت تراکتور معمولی در حرکت افقی) حدود ۴۰ سانتی‌متر پیش‌بینی شده است [۸] و بررسی دقیق موقعیت اجزای مختلف و نحوهٔ حرکت آنها در سینماتیک مسئله (جهت مجموعهٔ بازو) و موقعیت نصب جک هیدرولیک، ابعاد شکل به‌عنوان مشخصات نهایی طرح در نظر گرفته شده است که شکل‌های ۳، ۴ و ۵ موقعیت‌های مختلف چرخ و سایر متعلقات را با توجه به اینکه بایستی چرخ بالا یا پایین برود، نشان می‌دهند. در شکل ۳ چرخ در موقعیتی است که تراکتور در یک سطح افقی معمولی حرکت می‌کند. در این موقعیت، هر دو پیستون جک هیدرولیک تا نیمهٔ طول کورس بیرون آمده و بازوهای انتقال قدرت دو طرف کاملاً افقی است، لذا ارتفاع چرخ‌ها نسبت به موقعیت اصلی آن در تراکتور تغییری ندارد. در شکل ۴ اما، پیستون جک تا انتها بیرون آمده و در واقع چرخ سمت بالا دست شیب را نشان می‌دهد و این بدان معناست که موقعیت چرخ نسبت به حالت عادی در راستای قائم بالاتر رفته است. در شکل ۵، که در واقع سمت پایین‌دست شیب را نشان می‌دهد، پیستون جک تا انتها جمع شده و این جمع‌شدگی دقیقاً برابر بیرون آمدگی در حالت شکل ۴ می‌باشد که در نتیجه چرخ در راستای قائم پایین آمده است.



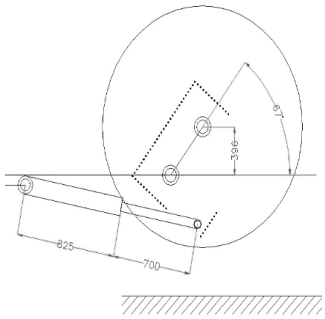
شکل ۱. نمایی از بازوی L شکل



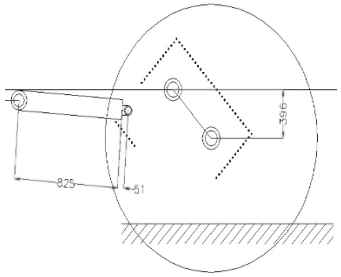
شکل ۲. مقطع محفظهٔ بازوی عقب (سازهٔ رابط CD)



شکل ۳. نیمی از طول کورس جک بیرون آمده



شکل ٤. جک تا انتها بیرون آمده



شکل ٥. جک تا انتها جمع شده

٤. نیروهای وارده به تراکتور و عدم واژگونی

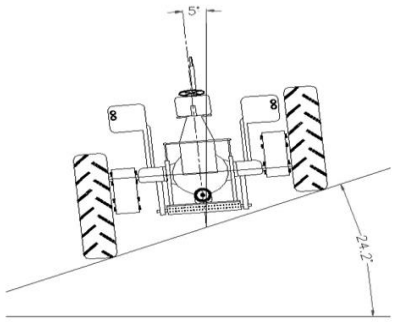
با توجه به مطالب ذکرشده، ارتفاع چرخ‌های عقب ۸۰ سانتی‌متر و فاصلهٔ مرکز تا مرکز چرخ‌های عقب ۲۳۰ سانتی‌متر است و داریم:

$$tg\theta = \frac{80}{230} = 0.348 \Rightarrow \theta = 19.2^{\circ} \qquad (۱)$$

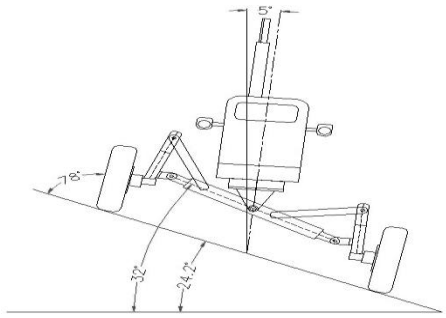
زاویهٔ θ حداکثر زاویه‌ای است که بدنهٔ تراکتور با جابه‌جایی چرخ‌های عقب می‌تواند تغییر شیب عرضی دهد. در این طرح با توجه به محاسبات تعادل نیرویی انجام‌شده، مشاهده می‌شود که ۵ درجه شیب جانبی بدنهٔ تراکتور که در حالت حداکثر شیب زمین، بدنهٔ تراکتور این شیب عرضی را هنوز داراست، نیروی وزن تراکتور نمی‌تواند سبب واژگونی آن شود و تراکتور در شیب ۲۴/۲ درجهٔ جانبی کاملاً پایدار است.

۵. سازوکار تغییر زاویهٔ چرخ‌های جلو

سیستم اتصال چرخ‌های جلو به‌گونه‌ای است که دو چرخ جلو به‌صورت هرزگرد روی یک محور واقع شده‌اند و محور قادر است به‌راحتی حول نقطهٔ اتصال خود به بدنهٔ تراکتور در وسط و زیر بدنه نوسان کند. لذا این سازوکار قادر است به‌محض قرارگرفتن تراکتور در شیب عرضی حول نقطهٔ اتصال خود به بدنه دوران کند و مستقل از نحوهٔ قرارگرفتن بدنه همواره هر دو چرخ جلو با زمین در تماس باشد. زاویهٔ نوسان محور جلو در صفحهٔ عمودی در یک تراکتور معمولی حداکثر ۱۵ درجه است. اما چون تراکتور مورد نظر باید در شیب‌های ۲۴/۲ درجه بتواند ۱۹/۲ درجه نسبت به سطح شیب‌دار زاویه بگیرد و همچنین با توجه به سازوکاری که جهت تغییر زاویهٔ چرخ‌ها با سطح شیب‌دار پیش‌بینی شده است و بایستی توسط آن محور جلو بتواند با بدنه حدود ۳۰ درجه زاویه بگیرد (شکل ۷). برای این منظور باید سطوح مانع روی محور و زین اسبی تراکتور کاملاً حذف شوند، همچنین در این حالت محدودیت میزان دامنهٔ حرکت سیبک‌های فرمان بایستی مطابق نقشه‌ها ماشینکاری و شعاع عمل آنها از ۱۵ به ۳۰ درجه افزایش یابد. برای این سازوکار، چرخ‌های جلو به‌صورت لولایی روی دو سر محور نصب و توسط یک قطعهٔ رابط از بالا به یکدیگر متصل شده‌اند؛ به‌طوری‌که در هر صورت چرخ‌ها با هم موازی‌اند و چنانچه یک چرخ (صفحه‌ای که چرخ در آن واقع است) نسبت به سطحی که در آن تراکتور حرکت می‌کند زاویه بگیرد (این زاویه در حالت افقی قائمه است) چرخ دیگر نیز به‌دنبال آن حرکت خواهد کرد و زاویه خواهدگرفت. جهت تأمین نیروی لازم این حرکت از یک جک هیدرولیکی استفاده می‌شود، به‌طوری‌که انتهای جک روی محور جلو و دسته پیستون آن روی بازوی نگه‌دارنده یکی از چرخ‌ها واقع می‌شود و از فشار روغن هیدرولیک تراکتور استفاده می‌نماید. کنترل آن نیز توسط یک شیر دستی مجزا از سازوکار عقب در اختیار و کنترل رانندهٔ تراکتور خواهد بود [۹].



شکل ٦. نمای عقب تراکتور در شیب ۲٤/۲ درجه



شکل ۷. محور جلو در شیب و زاویه‌ای که باید با بدنه داشته باشد

شکل ۸ حالت واقعی چرخ‌های جلو در شیب

٦. سازوکار تشخیص شیب

به‌منظور بهینه‌سازی طرح و دخالت کمتر راننده در تعادل تراکتور و خودکارنمودن مجموعهٔ تجهیزات شیب‌رو، مناسب دیده شد که علاوه بر وجود شیرهای دستی کنترل مسیر روغن هیدرولیک، از یک سیستم خودکار کنترل شیب عرضی تراکتور نیز استفاده شود. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده می‌توان از حسگرها و شیب‌سنج‌های الکترونیکی یا مکانیکی موجود و استفاده از مدارهای لازم استفاده کرد[۱۰]. اما هزینهٔ بالای خرید این تجهیزات و حساسیت زیاد آنها با توجه به شرایط کارکرد و نگه‌داری تراکتور، تمایل به ساخت و استفاده از یک سازوکار حسگر مدارهای الکترونیکی که متناسب با نیازهای طرح را مناسب‌تر نمود.

۷. تست عملیاتی قسمت کنترل تراکتور شیب‌رو

پس از اینکه تست‌های اولیهٔ سیستم کنترل شیب‌رو داخل کارگاه انجام شد و مورد پذیرش قرار گرفت، برای اطمینان از صحت عملکرد واقعی سیستم باید آن را در محیط‌هایی با شیب عرضی تا ۲۴ درجه تست کرد که تست تراکتور شیب‌رو در این محیط انجام شد و با توجه به اینکه نخستین تست عملیاتی این سیستم بود، مورد قبول قرار گرفت.

۸. مدارهای کنترل هیدرولیکی

از جمله قسمت‌هایی که در کنترل و اصلاح شیب نقش مهمی دارد، قسمت هیدرولیک است. این بخش شامل دو جک هیدرولیک اصلی و چهار جک قفل‌کن است که روی هر جک اصلی دو عدد جک قفل‌کن نصب و این جک‌ها روی عقب تراکتور نصب می‌شوند. همچنین برای تغییر زاویهٔ چرخ‌های جلو نسبت به سطح شیب از یک جک استفاده شده است. وظیفهٔ جک‌های اصلی تغییر ارتفاع چرخ‌های عقب متناسب با شیب و به‌وسیلهٔ دستور ارسالی از مدارهای کنترل و شیرهای هیدرولیک است و جک‌های قفل‌کن وظیفهٔ حساسی دارند؛ اینکه اگر مدار هیدرولیک به

هر دلیلی عمل نکند، جک‌های اصلی در همان وضعیتی که هستند باقی بمانند. دلائل عدم عملکرد مدار هیدرولیک می‌تواند خاموش‌شدن تراکتور در شیب، پاره‌شدن شیلنگ هیدرولیک و جز این‌ها باشد. برای کنترل زاویهٔ چرخ‌های جلو از جک هیدرولیک و مدارهای وابسته استفاده شده است (شکل ۱۳). برای کنترل و بالابردن چرخ‌های عقب از جک‌های هیدرولیک استفاده می‌شود، همچنین برای درایو این جک‌ها از شیرهای هیدرولیکی استفاده شده است.

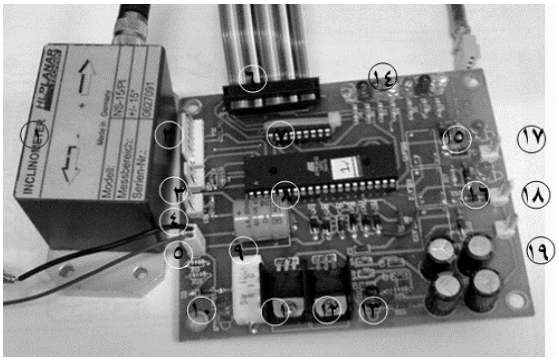
۹. مونتاژ تجهیزات چرخ‌های جلو

تغییرات مربوط به چرخ‌های جلو باید به‌گونه‌ای باشد که در زمان قرارگیری تراکتور در شیب کاملاً یکنواخت با چرخ‌های عقب بوده و مانع از واژگونی تراکتور شود. محورهای عمودی و افقی جلو و لینک مربوطه که تغییر زاویهٔ لازم را موجب می‌شود، کاملاً جوشکاری شده و از لحاظ کنترل فرمان توسط راننده یک رابط سیبک طراحی و ساخته شده و به‌نحوی باشد که کنترل حرکت فرمان توسط راننده با بیشترین تسلط انجام شود.

باکس کنترل و فرمان، که مجموعهٔ اصلی کنترل و فرمان تراکتور شیب‌رو است، شامل حسگر اصلی شیب و برد میکروکنترل و رله‌های فرمان خروجی است. همچنین، برای اینکه راننده بتواند مقدار زاویهٔ شیب را در هر لحظه ببیند، نمایشگر زاویهٔ شیب ساخته شده است. باکس نمایشگر برای اینکه کاملاً در محدودهٔ دید راننده باشد در جلوی فرمان نصب شده است.

۱۰. جمع‌بندی

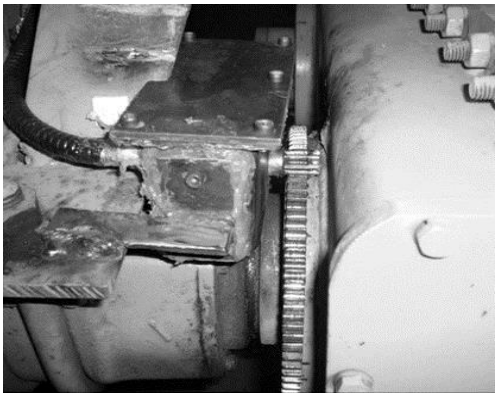
نتایج نشان می‌دهد که محورهای خروجی از دیفرانسیل تراکتور به‌عنوان محور چرخش در یک بازوی L شکل به‌خوبی عمل نموده‌اند، به‌طوری‌که روی یک سمت بازوی L شکل، چرخ و روی سمت دیگر آن، پیستون یک جک هیدرولیک که انتهای آن به بدنه متصل است قرار گرفته و با واقع‌شدن تراکتور در شیب، حسگر شیب‌سنج توسط مدارهای حساس الکترونیکی به شیر سلونوئیدی فرمان داده و در نتیجه با تغییر موقعیت پیستون‌ها، چرخ‌های عقب برخلاف جهت یکدیگر در جهت جبران شیب بالا یا پایین می‌روند.



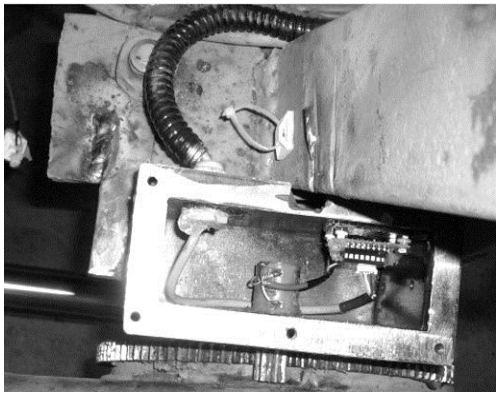
شکل ۹. برد مونتاژ و تست‌شدهٔ کنترل شیب

جدول ۱. معرفی المان‌های روی برد کنترل دیجیتال

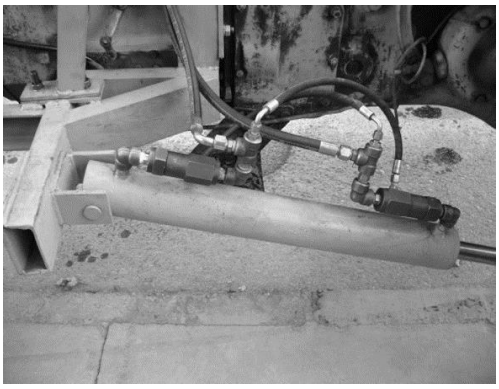
شماره	نام قطعه
۱	حسگر شیب
۲	کانکتور حسگر شیب
۳	کانکتور پتانسیومتر JACK 1
۴	کانکتور پتانسیومتر JACK 2
۵	کانکتور تغذیه
۶	کانکتور و کابل متصل به صفحه نمایش
۷	آی. سی.
۸	میکروکنترلر
۹	باتری BACK UP
۱۰	LED تغذیه
۱۱	رگولاتور
۱۲	رگولاتور
۱۳	LED تغذیه
۱۴	LEDهای نشان دهنده شیب سطح
۱۵	LED فرمان به JACK 1
۱۶	LED فرمان به JACK 2
۱۷	کانکتور متصل به رله JACK 1
۱۸	کانکتور متصل به رله JACK 2
۱۹	کانکتور متصل به آژیر



شکل ۱۰. محل نصب چرخ‌دنده روی باکس انتقال نیرو



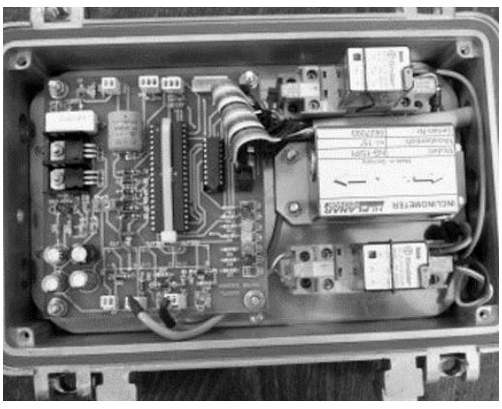
شکل ۱۱. باکس حسگر شیب لحظه‌ای با چرخ‌دنده‌ها و ولوم



شکل ۱۲. مجموعهٔ جک‌های عقب یک سمت

شکل ۱۳. جک چرخ جلو

شکل ۱۴. اتصال لولایی چرخ جلو



شکل ۱۵. باکس اصلی کنترل و فرما

لازم به‌ذکر است که نمایشگر شیب در هر لحظه شیب واقعی را نشان می‌دهد. در هر لحظه، این مقدار برای کاربر حائز اهمیت است. شیب تراکتور با مقیاس درجه توسط حسگر شیب‌سنج تشخیص و به‌صورت سیگنال آنالوگ و دیجیتال ارسال می‌شود. این داده‌ها از قسمت آنالوگ به دیجیتال میکروکنترلر ای. وی. آر. برد کنترل دریافت شده و توسط نرم‌افزار، زوایای مورد نظر ورودی جهت فعال یا غیرفعال‌نمودن رله‌ها و در نتیجه جک‌های هیدرولیکی تشخیص داده شده و در نهایت عملیات تصحیح شیب لازم جهت حرکت تراکتور در سطح شیب‌دار انجام می‌شود.

همچنین جهت امنیت کاربر تراکتور در شیب، دو پتانسیومتر روی چرخ‌دنده‌های چرخ‌های عقب تراکتور تعبیه شده است که در هر لحظه مقادیر باز و بسته‌شدن جک‌های هیدرولیکی و در نتیجه شیب واقعی تراکتور را توسط برد راه‌انداز به میکروکنترلر برد کنترل ارسال می‌کنند. میکروکنترلر مورد استفاده در این سیستم کنترلر شیب نیز با توجه به داده‌های ورودی و نرم‌افزار نوشته شده، فرمان‌های لازم جهت آگاهی کاربر از شیب سطح به LCD و LEDها را روی باکس نمایش نشان می‌دهد و یا در مواقع خطر واژگونی آلارم به آژیر ارسال می‌نماید. علاوه بر این حسگر، دو حسگر دیگر به سیستم اضافه شده است، این دو حسگر روی محور چرخ‌های عقب نصب شده و موقعیت جک‌های عقب را نسبت به هم اندازه‌گیری می‌کند. قسمت الکترونیکی این سیستم جدید کنترل شیب در تراکتور را می‌توان متشکل از سه بخش مجزای برد کنترل شیب، برد سنجش شیب سطح و برد نمایش شیب سطح دید. وظیفهٔ اصلی این برد دریافت اطلاعات شیب از حسگرها، پردازش اطلاعات و ارسال فرمان باز و بسته‌شدن جک‌ها با توجه به مقدار شیب، تشخیص شیب واقعی سطح شیب‌دار توسط قرائت تغییر مقادیر جک‌های هیدرولیکی، ارسال اطلاعات شیب روی LCD و LED برد نمایش و اعلام آلارم را برعهده دارد. نحوهٔ عملکرد این برد با توجه به شماتیک مدار و چیدمان پین‌های میکروکنترلر بدین صورت است که ابتدا مقادیر آنالوگ ایجادشده توسط حسگر شیب و پتانسیومترهای نصب‌شده روی جک‌های ۱ و ۲، توسط پورت A خوانده شده و براساس برنامهٔ نوشته‌شده با قرائت مقدار SHIB، فرمان‌های جک‌های هیدرولیکی ۱ و ۲ صادر شده و از طریق پورت D و توسط رله‌ها به جک‌های هیدرولیکی ارسال می‌شود و با قرائت مقادیر JACK 1 و JACK 2، اطلاعات مربوط به شیب سطح را توسط پورت B به LCD صفحهٔ نمایش ارسال نموده و درجهٔ شیب را نیز از طریق پورت C روی LED صفحه نمایش ارسال می‌کند. همچنین اگر شیب سطح بالاتر از مقدار مجاز برود، برد کنترلر فرمان آلارم را از طریق PD.2 به رله و آژیر می‌فرستد. با انجام این قسمت از پروژه، می‌توان کنترل شیب سطح را در تراکتور علاوه بر حسگرهای آنالوگ، با حسگرهای دیجیتال نیز انجام داد که این در عمل از محدودیت‌های تهیهٔ حسگر آنالوگ و مشکلات وابسته به آن کاسته و انتخاب حسگر نیز غیرمحدود خواهد بود [۱۱]. علاوه بر آن در حسگرها و سیستم‌های سنجش دیجیتالی، با تغییر کوچکی در نرم‌افزار میکرو می‌توان شیب‌های مختلفی را به‌عنوان مبنای مقایسه در سیستم کنترلر تعریف کرد و نیاز به تغییر سخت‌افزاری نخواهد بود در حالی‌که در حسگرهای آنالوگ این‌چنین نیست.

قدردانی

نویسنده برخود لازم می‌داند تا از زحمات ارزشمند آقایان مهندس مهربانی، اسماعیلی، باقریه یزدی و دکتر شاخصی تشکر و قدردانی کند. لطف این دوستان در بلوغ متن بسیار اثرگذار بود. از ایشان ممنونم.

۱۱. مآخذ

[1] Campbell, B. "Of primary concern: It's getting safer, but farming is still the most dangerous industry." *American Agriculturist*, 187(9), 1990, pp. 10-30.

[2] Carlson, K.F., S.G. Gerberich, T R.Church, A.D. Ryan, B.H. Alexander, S.J. Mongin, C. Renier, X. Zhang, L.R. French, A. Masten. "Tractor-related injuries: A population-based study of a five-state region in the Midwest." *American Journal of Industrial Medicine*, 47, 2005, pp. 254–264.

[3] Nichol, C.I., H. J. Sommer III, D. J. Murphy. "Simplified overturn stability monitoring of agricultural tractors." *Journal of Agricultural Safety and Health* 11(1), 2005, pp. 99-108.

[۴] رنجبر. ایرج، حمید رضا قاسم‌زاده، شهاب داوودی. *توان موتور و تراکتور*، انتشارات دانشگاه تبریز، ۱۳۸۲.

[5] Tajiri, I. 1988-1992, *A total of probes and articles*, University of Japan.

[6] Handler F. J. Wippl. "Special Machinery for Grassland Harvesting on Steep Slopes in Alpine Regions." AgEng 2004, Book of Abstracts, Part 1.

[7] Campbell, W. P., S.S. Alswager. "Adjusting equipment now can alleviate harvest losses." Department: Biological Systems Engineering. (402) 2004, pp. 472-3030.

[۸] سنابادی، روح‌الله محمد. *طراحی و اصلاح مکانیزم تراکتور شیب‌رو*، مرکز تحقیقات مهندسی خراسان، ۱۳۷۷.

[۹] بهروزی‌لار. منصور. *شناخت کاربرد تراکتور*، نشر آموزش کشاورزی، ۱۳۸۱.

[۱۰]مهجوم. م. ص. *طراحی و ساخت طراحی الکترونیک*، ۱۳۸۵.

[۱۱] هورورویتز، پاول. *هنر الکترونیک*، ترجمهٔ محمود دیانی، مؤسسهٔ انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۷.

قابل توجه استادان، پژوهشگران و صنعتگران علاقمند به همکاری با مجلهٔ مهندسی مکانیک

هیئت تحریریهٔ مجلهٔ مهندسی مکانیک، در کنار گزینش و چاپ مقاله‌های منتخب علمی، گزارش‌های فنی و تخصصی را نیز در فرایند داوری قرار می‌دهد و آنها را در صورت احراز شرایط چاپ می‌کند. برای این منظور لازم است تا دست‌نوشته‌های فنی و گزارش‌های تخصصی در حوزه‌های ذیل باشند:

۱. تأسیسات و سردخانه

۲. استانداردها

۳. هوا فضا

٤. نفت، گاز و پتروشیمی

۵. صنایع نیروگاهی و انرژی‌های تجدیدپذیر

٦. صنایع فلزی و معدنی

۷. سیمان و مصالح ساختمانی

۸. صنایع کوچک

۹. تولاید قطعات الکتریکی، الکترونیکی و اپتیک

۱۰. تجهیزات اندازه‌گیری و اتوماسیون

۱۱. نصب، راه‌اندازی و نگهداری و تعمیرات (نت)

۱۲. بازرگانی داخلی و خارجی

۱۳. آب و آبرسانی و صنایع دیگر