امکان‌سنجی طراحی و ساخت یک تراکتور سه محور مخصوص شالیزار

بهروز پایدار[۱]، علی حاجی‌احمد[۲]، علی رجبی‌پور[۳]، فاطمه سلکی چشمه سلطانی[۴]

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تهران
۲. استادیار، دانشگاه تهران
۳. استاد، دانشگاه تهران
۴. دانشجوی کارشناسی ارشد-گرایش طراحی و ساخت، مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تهران

چکیده

عملیات کشاورزی برای کشت و کار برنج و سایر محصولات زراعی مشابه، کاری هزینه‌بر و زمان‌بر می‌باشد. بخشی از این مشکل مربوط به تجهیزات نامتناسبی است که در این عملیات استفاده می‌شوند. ابعاد این مسئله به نحوی است که بیشتر کشاورزان توانایی خرید طیفی کامل از ابزارآلات تخصصی را ندارند و در این صورت به کشت و کار به شیوه سنتی خود ادامه می‌دهند. در پژوهش حاضر، تراکتور مناسب شالیزار طراحی و پیشنهاد گردید. تراکتور با قدرت موتور ۷۵ اسب‌بخار با وزن بیشینه ۲۵۵۰ کیلوگرم به صورت شش چرخ محرک، فرمان‌پذیر در سه حالت فرمان‌پذیری و سیستم انتقال توان هیدرواستاتیکی پیشنهاد گردید. همچنین ارتفاع بدنه این تراکتور از سطح زمین ۰/۵۱۰ متر و دارای اتصال سه نقطه تیپ ۲ با قابلیت سازگاری با طیف وسیعی از ادوات کشاورزی می‌باشد.

کلمات کلیدی: *شبیه‌سازی، انتقال قدرت، مدل‌سازی*

نویسنده مسئول:

امکان‌سنجی طراحی و ساخت یک تراکتور سه محور مخصوص شالیزار

مقدمه

تراکتورهای کشاورزی به‌عنوان واحد تولید توان مکانیکی در انجام امور کشاورزی ازجمله عملیات شخم، کاشت، داشت، برداشت و حمل محصولات دارای اهمیت بالایی هستند. تراکتورهای یونیورسال برای طیف گسترده‌ای از امور کشاورزی مورداستفاده قرار می‌گیرند. همچنین تراکتورهای مختلف با کاربردهای ویژه وجود دارد مانند تراکتورهای کشت محصولات ردیفی و تراکتورهای باغی [۷].

استفاده از تراکتور در شالیزارها به دلیل وضعیت باتلاقی و خاک چسبنده با محدودیت‌هایی روبه‌رو هستند. همچنین مقدار توان کششی موردنیاز برای کشیدن ادوات در زمین‌های باتلاقی به دلیل لغزنده بودن خاک و بکسوات چرخ‌های محرک خیلی زیادتر از حالت کار در زمین‌های خشک خواهد بود. در طراحی تراکتورهای معمولی با افزایش توان موردنیاز، وزن و اندازه تراکتور نیز افزایش پیدا می‌کند. به همین علت استفاده از آن‌ها در شالیزارها با مشکلاتی روبه‌رو می‌شود. در شالیزارها از تراکتورهای یونیورسال استفاده می‌گردد که توان آن‌ها پایین بوده و در صورت افزایش توان ، وزن آن‌ها نیز افزایش پیدا می‌کند و بنابراین کار کردن با آن‌ها در کرت‌های کوچک و باتلاقی با مشکل روبه‌رو می‌شود.

به دلیل نبود تنوع زیاد ماشین‌های تخصصی زراعت برنج و زمین‌های شالیزاری، امکان مکانیزه کردن عملیات زارعی در شالیزارها به‌سختی ممکن است و این امر علاوه بر سختی کشت و کار برنج، منجر به افزایش هزینه تمام‌شده محصول گردیده است [۱۱].

انجام تحقیقات و تهیه مدل‌هایی برای حل مشکل توان مکانیکی موردنیاز در عملیات برنج‌کاری تنها محدود به شخم‌زنی نبوده و باید طیف وسیعی از سایر عملیات برنج‌کاری نظیر عملیات کاشت، داشت و برداشت و انتقال محصولات را تا حد امکان پوشش دهد [۱۱].

تراکتورهایی که برای شالیزارها طراحی می‌شوند باید دارای برخی ویژگی‌ها ازجمله توان مانوردهی در کرت‌های کوچک، سبک، کوچک؛ سطح اتکای وسیع به‌گونه‌ای که تراکتور در کرت‌های برنج فرو نرود (اندازه کرت‌ها عموماً بین ۲۰ تا ۵۰ مترمربع می‌باشد)؛ داشتن توان کششی متناسب با نیازهای فعالیت‌هایی که در شالیزار انجام می‌شود؛ دارا بودن قابلیت‌های عمومی سایر تراکتورها ازجمله محور انتقال توان، مال‌بندهای استاندارد و سیستم هیدرولیک استاندارد؛ مقاومت در برابر فرسودگی، خوردگی و پوسیدگی به دلیل کار در شرایط مرطوب شالیزار؛ قابلیت عبور از موانع مختلف ازجمله نهرها، رودخانه‌ها و باتلاق‌های کم‌عمق و تعمیر و نگهداری ساده و ارزان.

در بحث تراکتور مخصوص انجام امور شالیزار، تحقیقات زیادی صورت نگرفته است. بااین‌وجود بخشی از کارهای تحقیقی انجام‌شده را که با توجه به خصوصیات حرکت وسیله نقلیه در زمین‌هایی با شرایط سخت و باتلاقی انجام‌شده است را می‌توان برای مشخص کردن برخی از الزامات موردنیاز در امر طراحی تراکتور شالیزاری و همچنین ارائه راهکارهای لازمه جهت پیشبرد طرح را مورداستفاده قرار داد.

در پژوهشی انجام‌شده، سیستم‌های فرمان پذیری مختلف مورداستفاده در انواع وسایل نقلیه تجاری موردبررسی قرار گرفت. همچنین در پژوهش ذکرشده انواع تراکتورها به همراه نوع فرمان پذیری آن‌ها طبقه‌بندی گردید [۸]. در برخی دیگر از پژوهش‌ها کارایی فرمان پذیری خودرو شش چرخ محرک و فرمان‌پذیری آن مورد بررسی قرار گرفت [۴ و ۵]. در پژوهشی دیگر، یک ابزار محاسباتی برای تراکتورهایی که دارای دوچرخ محرک در جلو هستند، جهت تأثیر نوع بافت خاک بر شرایط کار تراکتور ارائه گردید. در پژوهش مذکور نیروی کششی و لغزش برای تراکتورهای دوچرخ جلو محرک باقدرت ۴۰ تا ۱۲۳ کیلووات در خاک‌های رسی، لومی رسی، سیلتی لومی و شنی لومی اندازه‌گیری شد [۶]. در یک پژوهش انجام شده نیروی وارده بر چرخ‌های تراکتور چهار چرخ محرک و هر چهار چرخ فرمان‌پذیر در زمان گردش در حالت پایدار دور یک دایره در مزارع شالیزاری برنج مطالعه کرد [۲]. در پژوهشی دیگر رابطه فرمان پذیری بین محور اول و دوم یک خودروی نظامی بررسی شد [۱۰]. در یک پژوهش یک سیستم فرمان پذیری مکانیکی برای یک خودرو چهار چرخ محرک و

فرمان پذیر ارائه شد [۹]. در تحقیقی انجام شده رفتار مواد تشکیل دهنده بازوی تحتانی تراکتور مسی فرگوسن ۵۸۲ شبیه‌سازی شد و مورد تحلیل دینامیکی محدود قرار گرفت. در این پژوهش از روش المان محدود بهره گرفته شد [۳].

در پژوهش حاضر امکان‌سنجی طراحی و تولید یک تراکتور مخصوص شالیزار بررسی‌شده است. تمام قطعات لازم برای این تراکتور معرفی‌شده که برخی در بازار موجود می‌باشد و برخی نیاز به ساخت دارند.

مالکیت‌های کوچک، قطعات نامنظم و ناهموار و نبود جاده‌های مواصلاتی موانع موجود در مکانیزه شدن تولید برنج در استان مازندران می‌باشد. بنابراین در پژوهشی صورت گرفته توسط سایر پژوهشگران، نگرش کشاورزان به یکپارچه‌سازی اراضی شالیزاری بررسی شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش انجام‌شده در روستای کیاسرا در دهستان ماچیان صورت گرفته است. دهستان ماچیان در شرق استان گیلان و جنوب شهرستان رودسر واقع‌شده است. برنج محصول اصلی کشاورزی مردم این منطقه می‌باشد. برای انجام پژوهش زمینی به مساحت ۱۶۰۰ مترمربع انتخاب شد.

اطلاعات و داده‌هایی برای به دست آمدن دیدگاه بهتر برای در نظر گرفتن فاکتورهای موردنیاز برای طراحی تراکتور مخصوص شالیزار به دست آمد. این داده‌ها شامل اطلاعات از ۵۱ کرت می‌باشد که در جدول ۱ نشان داده‌شده است.

جدول ۱: اطلاعات و مشخصات زمین موردمطالعه

ارتفاع کرت*	میانگین اختلاف ارتفاع دو کرت	۰/۴۵ متر	عمق کرت	میانگین عمق تا بستر سخت:	۳۵ سانتیمتر
	کرت با بیشترین ارتفاع	۸/۴۵ + متر		کمترین عمق تا بستر سخت:	۲۶ سانتیمتر
	کرت با کمترین ارتفاع	۳/۲۰ - متر		بیشترین عمق تا بستر سخت	۶۷ سانتیمتر
مساحت کرت	میانگین مساحت کرت‌ها	۶۳ مترمربع	رطوبت کرت	میانگین رطوبت خاک	
	مساحت بزرگ‌ترین کرت	۹۰ مترمربع		بیشتر رین رطوبت	گل فوق اشباع
	کوچک‌ترین کرت	۳۲ مترمربع		کمترین رطوبت	

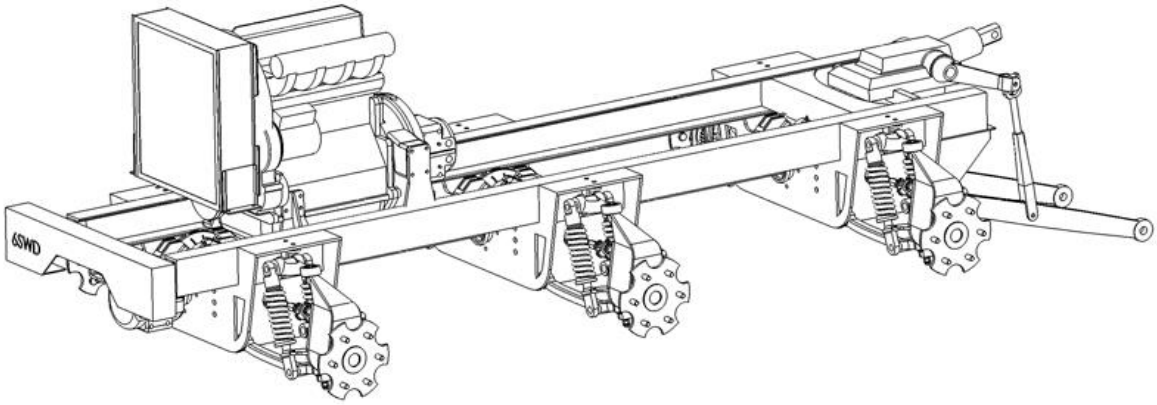
نوع خاک: رسی-سیلتی: شن (۱۷/۳)، سیلت (۴۰/۰)، رس (۴۲/۸) در عمق ۰-۲۵ سانتیمتری، pH : ۷/۲۱

* ارتفاع کرت با توجه به سطح مرجع (کف جاده آسفالته مجاور) اندازه‌گیری شده است.

با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده سیستم تراکتور مخصوص شالیزار انتخاب، طراحی و پیشنهاد گردید. اجزا تراکتور طراحی‌شده عبارت است از شاسی، سیستم حرکتی، چرخ‌ها، سیستم تعلیق، سیستم هدایت، سازوکار فرمان‌پذیری تراکتور شالیزار، ترمزها، فنربندی، مجموعه محور اصلی (اکسل)، بدنه، سیستم انتقال قدرت (پمپ هیدرولیک اصلی، موتور هیدرولیک محور تواندهی، موتور هیدرولیک اصلی، مدار کنترلر)، دیفرانسیل، کاهنده نهایی، سیستم تولید توان و اتصال سه نقطه.

شاسی

در طراحی این تراکتور شاسی به‌عنوان حامل قطعات اصلی ازجمله موتور، بدنه و سیستم تعلیق در نظر گرفته‌شده است. شاسی تراکتور مذکور به‌صورت جداشدنی (مستقل) طراحی‌شده است. دلیل طراحی مستقل شاسی کاهش هزینه‌های تمام‌شده تولید ازجمله پرس‌کاری و جوش‌کاری. شکل کلی شاسی به‌صورت دو تیر حامل با پروفیل C شکل از جنس فولاد ساختمانی می‌باشد که به‌وسیله دو تیرک عرضی بااتصال پیچی به هم متصل شده‌اند. محورهای اصلی در زیر و قطعات بدنه، موتور، مخازن سوخت، خطوط هیدرولیک، سیم‌های برق در بالای شاسی قرار می‌گیرند. همچنین، در قسمت جلوی شاسی نیز، قطعه‌ای به‌عنوان سپر به‌صورت اتصال پیچی به شاسی متصل شده است که علاوه بر نقش اصلی خود، به‌عنوان تیرک حامل بار فرعی، برای این شاسی عمل می‌کند، ضمن اینکه محورهای اصلی متصل شده به شاسی هم به‌عنوان نقاط تقویتی و بهارخواب‌های فرعی برای جلوگیری از پیچش شاسی عمل کرده و آن را تقویت می‌کنند. نمای کلی شاسی در شکل ۱ نشان داده‌شده است.



شکل ۱: نمای کلی شاسی و ادوات متصله

سیستم حرکتی

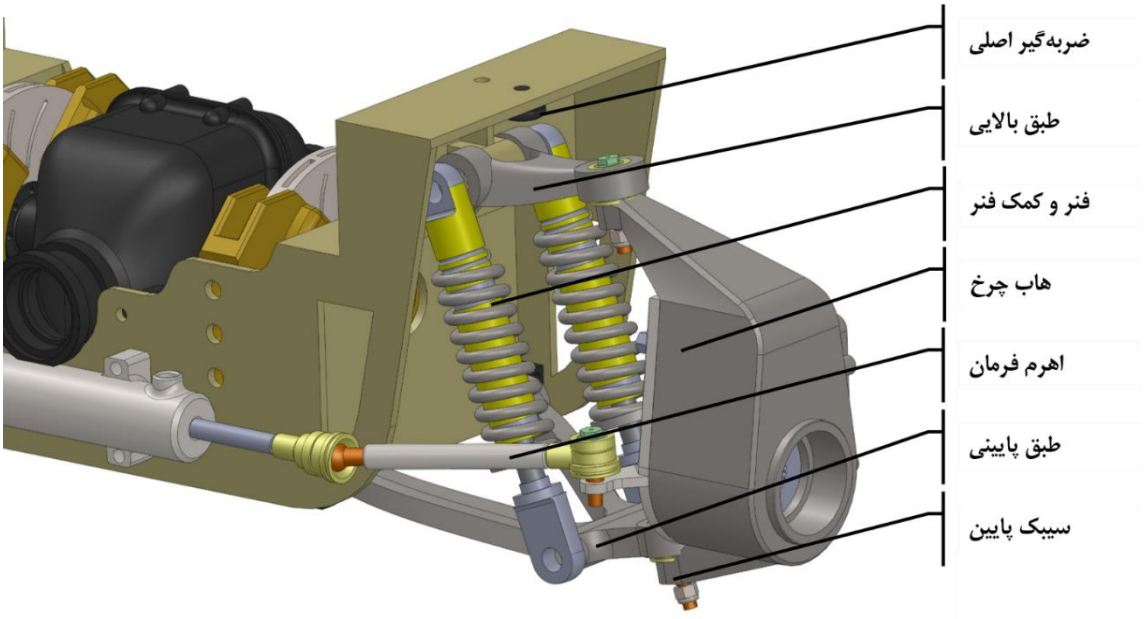
دو نوع سیستم حرکتی چرخ‌دار و چرخ زنجیری برای تراکتورهای شالیزار قابل استفاده می‌باشد. برای تراکتور طراحی‌شده سیستم چرخ‌دار در نظر گرفته شد. علت استفاده از این مکانیزم، کاهش هزینه‌های تعمیر و نگه‌داری می‌باشد؛ زیرا این چرخ‌ها به‌راحتی در دسترس هستند. از مکانیزم چرخ زنجیری به دلیل خوردگی زنجیرها در شرایط مرطوب شالیزار استفاده نشد. همچنین از مکانیزم چرخ زنجیری با چرخ‌های لاستیکی نیز به دلیل عدم دسترسی سریع و راحت به آن‌ها در هنگام پاره شدن، استفاده نگردید.

چرخ‌ها

با توجه به محدودیت تنوع در بازارهای تولید لاستیک کشاورزی ایران، شش لاستیک آج‌دار کشاورزی با ابعاد ۲۴-۱۲/۴ در نظر گرفته شد. لاستیک‌های موردنظر برای طراحی تراکتور مخصوص شالیزار در کارخانجات لاستیک‌سازی داخلی تولید می‌گردند. این چرخ‌ها در قالب سه محور محرک و فرمان پذیر طراحی شدند. سه عدد از لاستیک‌ها در یک سمت تراکتور و سه عدد دیگر آن در سمت دیگر تراکتور در نظر گرفته شد. با توجه به نوع و تعداد لاستیک‌های انتخاب‌شده، طول حریم چرخ‌ها ۳۶۰۰ میلی‌متر خواهد بود.

سیستم تعلیق

در تراکتوری با ۶ چرخ وجود سیستم تعلیق امری ضروری می‌باشد. اگر تراکتور به سیستم تعلیق مجهز نشود، قابلیت کششی از دست می‌رود به‌گونه‌ای که در هنگام عبور یک چرخ از مانعی همه چرخ‌ها باهم از زمین فاصله می‌گیرند. از سیستم تعلیق دار دوبل برای این تراکتور استفاده گردید. نمای سیستم تعلیق مورداستفاده برای تراکتور شالیزار در شکل ۲ نشان داده‌شده است.



شکل۲: سیستم تعلیق تراکتور شالیزار

در پیکربندی جاری (شکل ۲)، طبق پایینی به‌صورت تیرک دوشاخه حامل بار با مقطع U شکل به‌صورت وارونه در نظر گرفته‌شده است که از یک سمت به بدنه محور اصلی (اکسل) و از سمت دیگر به سیبک‌های چرخ-کاهنده نهایی متصل شده است. محل اتصال فنر و کمک‌فنر از یک سمت به بدنه محور اصلی و از طرف دیگر به نقطه انتهایی نزدیک به محل اتصال طبق پایین به هاب چرخ، لولا شده است. طبق بالایی به‌صورت قطعه مثلثی شکل به فرم یک اهرم شکاف دار از یک سمت به بدنه محور اصلی و از سمت دیگر به سیبک بالایی هاب چرخ متصل است. در بالای این طبق، ضربه‌گیر اصلی در فاصله ۸۵ میلی‌متری آن قرار دارد که حد نهایی صعود چرخ در هنگام مواجهه با دست‌اندازها بوده و پس‌ازآن نیروی وارده به چرخ به‌صورت مستقیم به بدنه انتقال پیدا می‌کند.

این سیستم تعلیق به‌صورت کاملاً متقارن طراحی‌شده است که به‌واسطه آن بتوان تنوع قطعات یدکی برای ساخت و تعمیر را کاهش داد و قطعات چپ و راست، قابلیت تعویض با یکدیگر را دارا هستند.

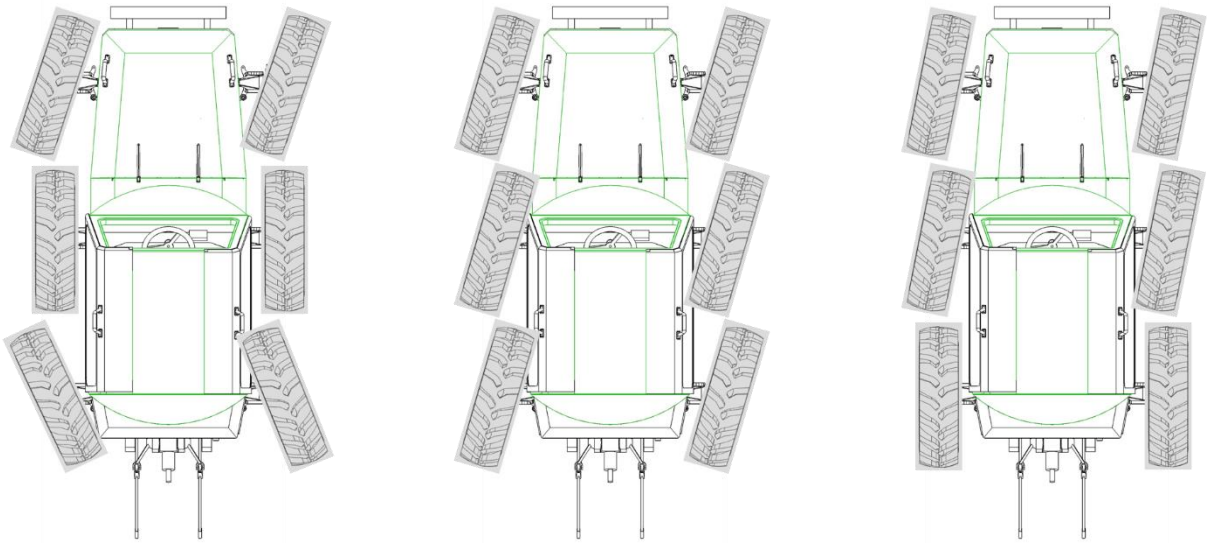
سیستم هدایت

سیستم فرمان هیدرولیک (هیدرو استاتیکی)، الکتروهیدرولیک و الکتریکی برای تراکتور شالیزار قابل‌استفاده می‌باشند. سیستم فرمان هیدرولیکی و الکتروهیدرولیکی به دلیل موجود بودن قطعات رابط، جک‌های هیدرولیک، مقسم‌ها و سایر قطعات موردنیاز برای طرح تراکتور شالیزار به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه انتخاب گردید. سیستم فرمان الکتریکی به دلیل موجود

نبودن قطعات لازم و نیاز به ساخت هر یک از قطعات موردنیاز هزینه استفاده از این سیستم بالا بوده و به همین دلیل این سیستم مورداستفاده واقع نگردید.

سازوکار فرمان پذیری تراکتور شالیزار

فرمان پذیری تراکتور شالیزار، سه حالت فرمان پذیری خرچنگی، همراه و معمولی در نظر گرفته شد. سیستم فرمان پذیری خرچنگی برای حرکت به سمت جوانب هنگامی که گردش تراکتور با محدودیت مواجه هست استفاده می‌شود. در این حالت، کمینه شعاع چرخش به دست می‌آید که در سرعت‌های متوسط (بین ۶ تا ۱۵ کیلومتر در ساعت) این حالت فعال است. سیستم فرمان پذیری همراه هنگامی که تراکتور نیاز به گردش تند داشته باشد، مورداستفاده قرار می‌گیرد. در سرعت‌های کم (کمتر از ۶ کیلومتر بر ساعت) این گزینه ارجحیت دارد، چراکه تراکتور قابلیت مانور زیادی داشته و از طرف دیگر در این سرعت‌های کم، خطر واژگونی تراکتور را تهدید نمی‌کند. سیستم فرمان پذیری معمولی در حالتی که نیاز به پیچش تند نمی‌باشد استفاده می‌گردد. از این سیستم در سرعت‌های بالا (بیشتر از ۱۵ کیلومتر در ساعت) که پیچش تند خطر واژگونی تراکتور را تهدید می‌کند، استفاده می‌شود. سه حالت ذکرشده در شکل ۳ نشان داده‌شده است.



شکل۳: سه نوع حالت فرمان‌پذیری: معمولی (راست)، خرچنگی (وسط)، همراه (چپ)

پارامترهای فرمان پذیری تراکتور شالیزار در جدول ۲ ارائه‌شده است.

جدول۲: پارامترهای فرمان تراکتور شالیزار

سیستم هدایت	از نوع شانه‌ای با محرک هیدرولیکی	**شعاع چرخش چرخ فرمان گیر**	۵۰+ میلی‌متر
زاویه کمبر	۱+ (درجه)	**زاویه کینگ پین**	۸/۵ درجه
زاویه کستر	۰ (درجه)	**حداکثر زاویه پیچش چرخ خارجی**	۴۲ درجه
زاویه تو-این	۰ (درجه)	**حداقل شعاع گردش قابل حصول**	۴/۵ متر
زاویه تو-اوت	۰ (درجه)	**زاویه قفل-قفل فرمان**	۸۴ درجه

ترمزها

در طراحی تراکتور شالیزار، نصب ترمز کفشکی علیرغم نیروی ترمز گیرندگی زیاد آن، دارای مشکلات نصب و همچنین تنظیم‌های دوره‌ای (رگلاژ) بیشتری می‌باشد، لذا از ترمز دیسکی (کالیپر)، علیرغم قدرت کمتر ترمزکنندگی نسبت به نوع مشابه کفشکی، استفاده‌شده است. همچنین سیستم انتقال قدرت استفاده‌شده مجهز به ترمز جداگانه به همراه تجهیزات ترمز هیدرولیکی مخصوص به خود بوده که این سه نوع ترمز در کنار هم، ایمنی خوبی را به تراکتور اعطا می‌کنند. در جدول ۳، مشخصات سیستم ترمز موردنظر درج‌شده است.

جدول .Error! No text of specified style in document. مشخصات سیستم ترمزی

مشخصات	مقادیر
ماکزیمم فشار کاری	۱۴۰ بار
قطر دیسک ترمز	۳۳۰ میلی‌متر
وزن مجموعه ترمز	۱۴ کیلوگرم
ماکزیمم گشتاور ترمزی	۳۰۵۰ نیوتن متر

فنربندی

وظیفه فنرها در سیستم تعلیق، جذب ضربات چرخ ناشی از عبور از عوارض زمینی و کاستن انتقال آن‌ها به اتاق تراکتور، استهلاک ضربات چرخ‌ها و جلوگیری از انتقال آن‌ها به اتصالات و مفاصل، فشردن دائم چرخ‌ها به سطح زمین و درنتیجه افزایش نیروی کششی چرخ‌های محرک، تماس کامل چرخ با زمین و تسلط رانندگی و کنترل بهتر تراکتور در مواجهه با عوارض زمینی است. مشخصات پارامترهای موردنیاز برای سیستم فنربندی تراکتور شالیزار بنا به مدل‌سازی‌ها و شبیه‌سازی‌های انجام‌شده، مطابق جدول ۴ بهینه‌سازی و تنظیم‌شده است. لازم به توضیح است که به دلیل ایجاد تقارن در کار و همچنین مشکل عبور محور انتقال توان (کاردان) چرخ‌ها، برای هر اکسل دو فنر در طرفین استفاده‌شده است که در این صورت امکان ایراد فشار کمتر بر روی یکایک فنرها و عملیاتی باقی ماندن تراکتور در حین از دست رفتن یکی از فنرها تا زمان رسیدن به تعمیرگاه، از مزیت‌های جانبی این نوع پیکربندی به شمار می‌رود.

جدول ٤: پارامترهای سیستم فنربندی

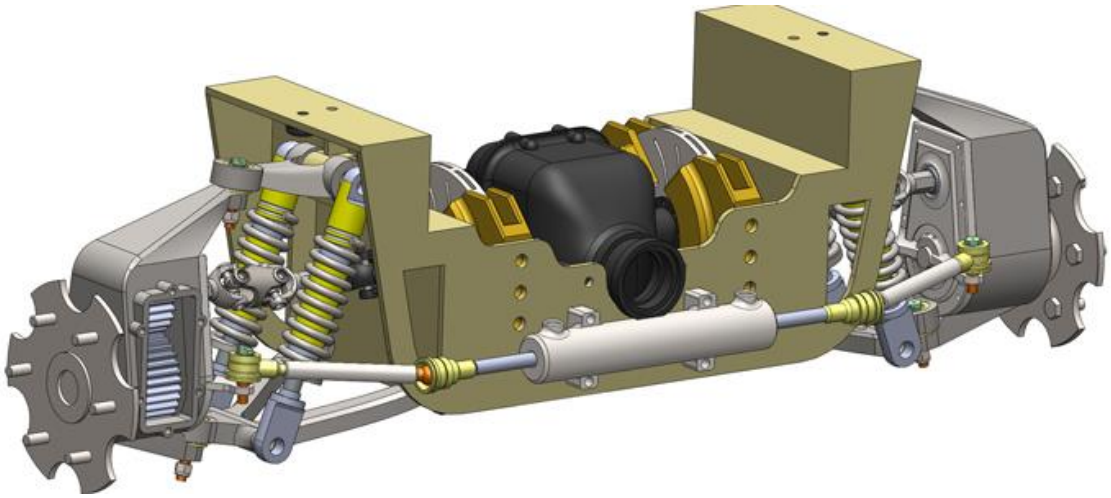
جرم فنربندی نشده	۴۱۲ کیلوگرم	فاصله کف اکسل از زمین	۵۰۸ میلی‌متر
جرم فنربندی شده	۲۱۳۸ کیلوگرم	ارتفاع چرخ	۱۱۰۰ مسلمی‌تر
ممان اینرسی	I_x = (0.00, -0.02, 1.00) I_y = (1.00, -0.02, 0.00) I_z = (0.02, 1.00, 0.02)	مرکز ثقل تراکتور[1] (x,y,z)	X = 0.00 Y = 0.08 Z = 0.00

مجموعه محور اصلی (اکسل)

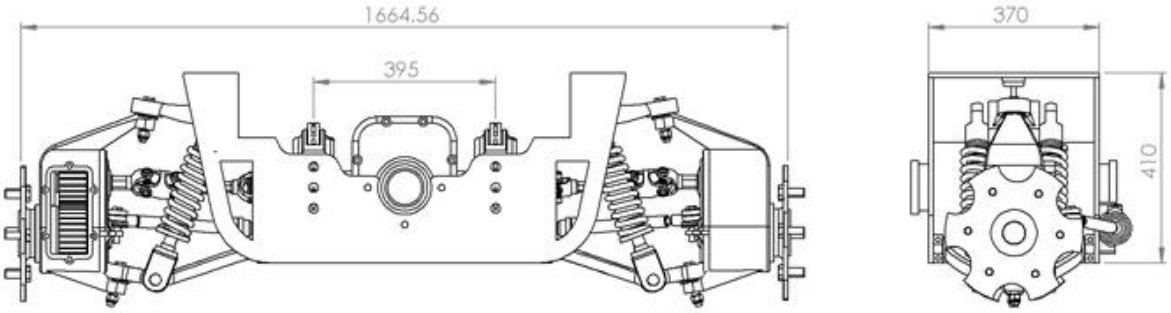
با گردآوری سیستم تعلیق، دیفرانسیل، شافت انتقال نیرو، ترمز و کاهنده نهایی، مجموعه محور اصلی شکل می‌گیرد (شکل۴). ابعاد کل محور اصلی در شکل ۵ نشان داده‌شده است. در تراکتور شالیزار طراحی‌شده سه محور اصلی یکسان در نظر گرفته‌شده‌اند و به‌وسیله اتصال پیچ و مهره به شاسی تراکتور متصل می‌گردند. این مجموعه به‌صورت یک قالب کامل اکسل گردآوری‌شده است که قابل تعویض کردن با

[1] مرکز ثقل تراکتور، هردو با توجه به نقطه مرجع نقطه میانی خط گذرنده از محور دو چرخ آکسل وسطی تراکتور شالیزار به متر بیان شده‌اند.

یکدیگر بوده و قطعات آن نیز مشابه هم هستند . همچنین در صورت عدم نیاز، می‌توان محور وسط را در بعضی از مدل‌ها حذف کرد و در این صورت یک تراکتور چهارچرخ محرک را به وجود آورد.



شکل٤: مجموعه مونتاژی محور محرک تراکتور



شکل٥: ابعاد کلی محور اصلی

بدنه

ازآنجایی‌که راه دسترسی راننده به کابین از طرفین تراکتور به دلیل وجود چرخ‌ها ممکن نیست (به دلیل فرمان گیر بودن هر سه محور) دو پلکان در انتهای تراکتور طراحی‌شده است که با عریض‌تر کردن سطح گلگیر، مسیری را برای عبور سرنشینان تراکتور فراهم آورده است که به‌وسیله نرده‌هایی، حفاظت کافی برای عبور امین را فراهم کرده است. درب‌های کابین به‌صورت کشویی بوده که سهولت کافی برای ورود و خروج سرنشینان را فراهم کند.

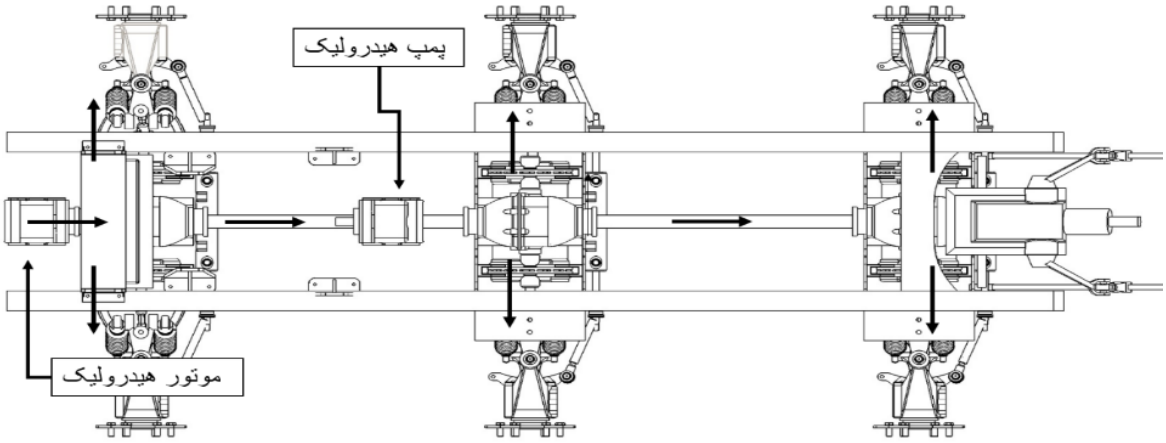
بدنه از جنس ورق آلیاژ آلومینیوم باضخامت ۲ میلی‌متر طراحی‌شده که با پوشش‌های آستر و رنگ مقاوم به خوردگی باید رنگ‌آمیزی شود. همچنین با اتصالات پیچی به شاسی تراکتور متصل می‌گردد. نمای کلی بدنه تراکتور شالیزار طراحی‌شده در شکل نشان داده‌شده است.

شکل٦: نمای بدنه تراکتور شالیزار

سیستم انتقال قدرت

در این تراکتور، از سیستم انتقال قدرت هیدرواستاتیک[2] یا اچ اس تی در ترکیب با دیفرانسیل مکانیکی استفاده‌شده است که وظیفه آن انتقال توان از سیستم محرک (معمولاً موتور احتراق داخلی) به بار به‌صورت حرکت دورانی است (شکل ۷). در این سیستم، پمپ توان را از محور ورودی (سیستم محرک) گرفته و جریان سیال را به موتور هیدرولیکی جهت چرخاندن بار (چرخ‌ها) ارسال می‌کند.

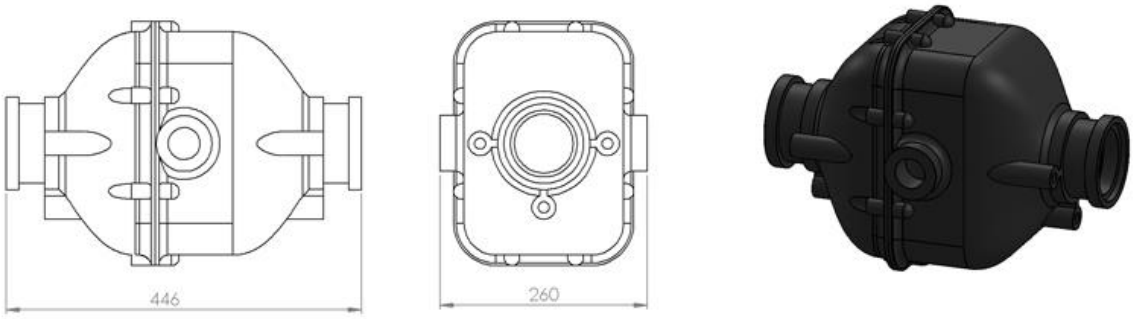
2 Hydrostatic transmission



شکل Error! No text of specified style in document.**۷: سیستم انتقال قدرت**

دیفرانسیل

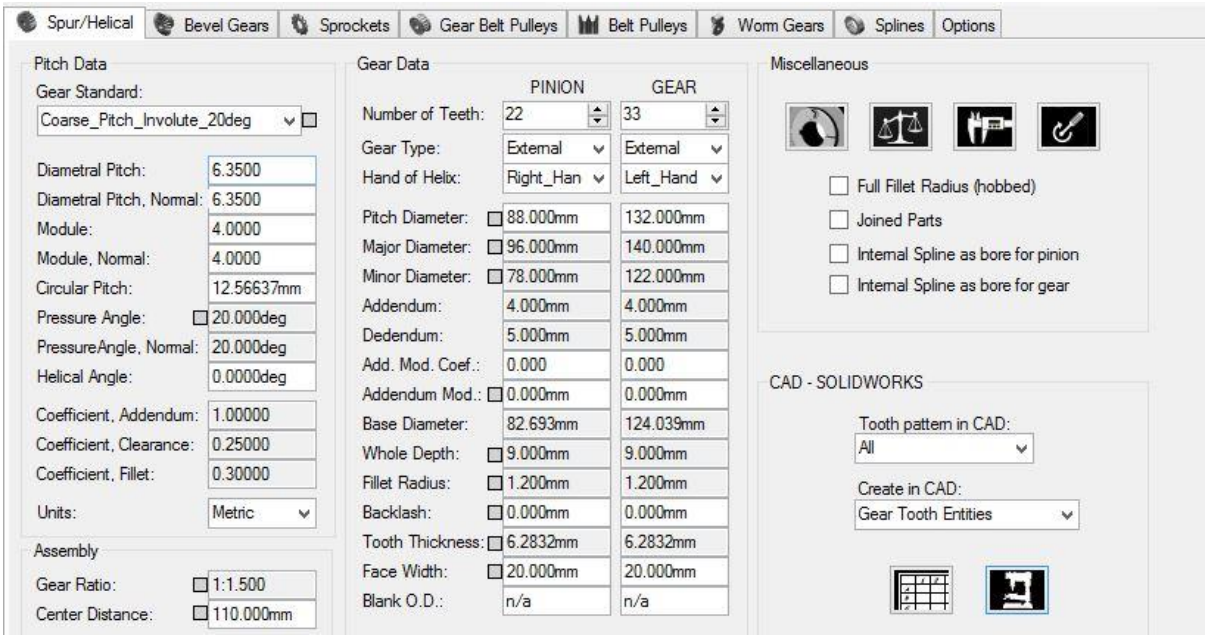
قطعات داخلی دیفرانسیل انتخاب‌شده (کرانویل، پینیون، هرزگردها، بلبرینگ‌ها و اتصالات مکانیکی داخلی) ، مربوط به یکی از خودروهای نیمه سنگین تولید داخل بوده که برای امور حمل‌ونقل به‌کاررفته می‌شود. به دلیل انتقال توان به‌صورت سری از دیفرانسیلی به دیفرانسیل دیگر، یک پوسته طراحی شد (شکل۸) که قابلیت اتصال به شافت گاردان را از هر دو سمت دارا می‌باشد و در سمت‌های جانبی آن نیز، خروجی توان برای چرخ‌ها تعبیه‌شده است. پوسته به‌صورت دوتکه می‌باشد که توسط پیچ و درزگیر، به هم متصل شده و تشکیل بدنه‌ای واحد را می‌دهند. جنس پوسته از چدن ریخته‌گری انتخاب گردید.



شکل۸: پوسته دیفرانسیل

کاهنده نهایی

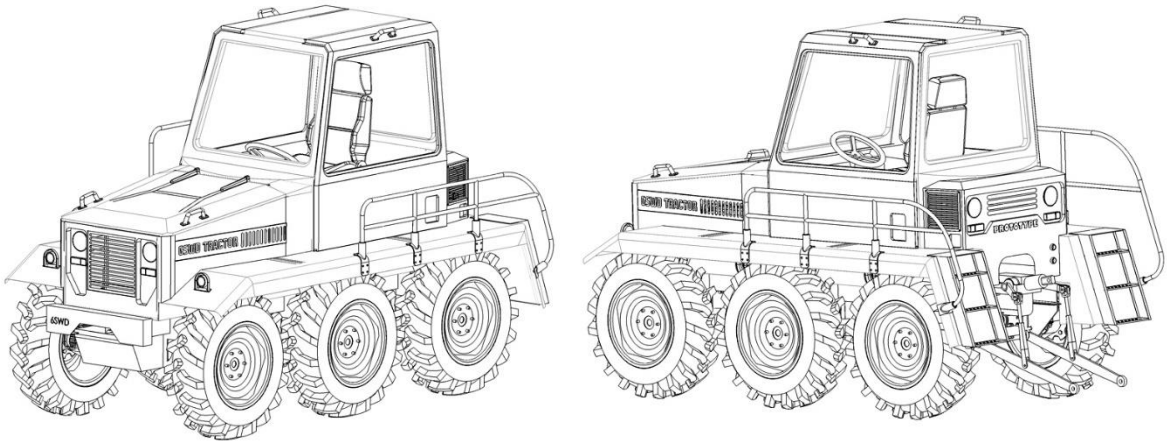
به‌عنوان آخرین مرحله خط انتقال قدرت، نقش کاهنده نهایی کاهش سرعت زاویه‌ای و افزایش گشتاور انتقالی به چرخ‌ها است. کاهنده نهایی که در طرح تراکتور شالیزار توصیه‌شده است از نوع محرک نهایی چرخ‌دنده‌ای ساده می‌باشد. پوسته بدنه کاهنده نهایی، هاب چرخ را نیز نگه‌می‌دارد و بخشی از سیستم تعلیق نیز محسوب می‌گردد. چرخ‌دنده‌های موردنظر در بازار موجود نمی‌باشد و باید به روش ریخته‌گری تولید گردد. قطعه به‌صورت متقارن طراحی‌شده است تا در سمت چپ و راست اکسل تراکتور، از یک نوع قطعه استفاده کرد و تنوع قطعه کمتر شود. نسبت دنده در این کاهنده نهایی ۱:۱/۵کاهنده می‌باشد (شکل ۹). داخل شفت اصلی هاب چرخ، مجرایی راه به در تعبیه شده است تا راه عبور هوای سیستم تنظیم فشار باد تایر تأمین شود.



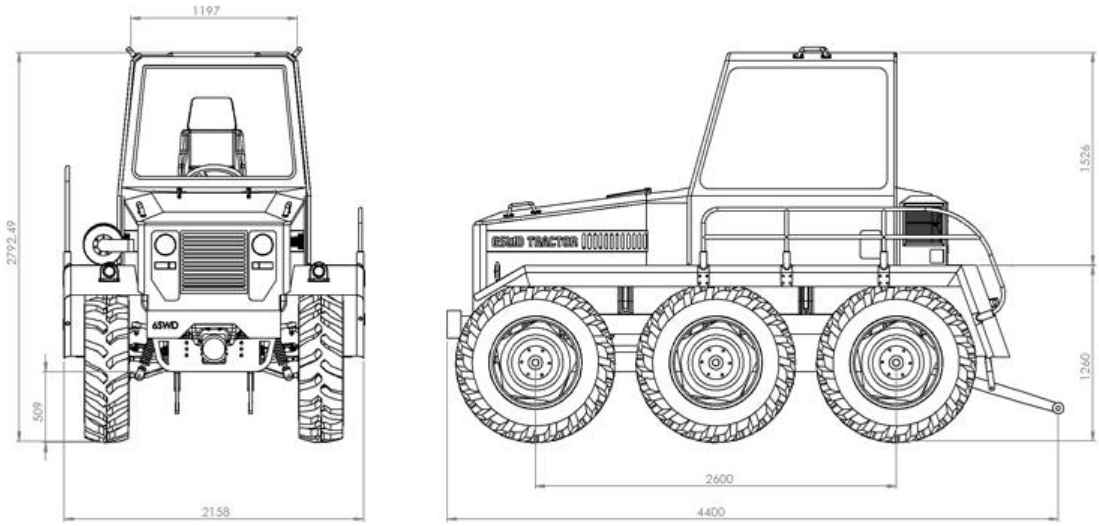
شکل۹: مشخصات چرخ‌دنده‌های کاهنده نهایی

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر امکان‌سنجی طراحی و تولید یک مدل تراکتور مخصوص شالیزار بررسی‌شده است. در طرح حاضر، شرایط و الزامات کاری با توجه به وضعیت زمین و نحوه کار در شالیزارها، تبیین شده است. در شکل ۱۰ نمای ظاهری تراکتور شالیزار طراحی‌شده را از زوایای جلو و عقب نشان می‌دهد. همچنین ابعاد کلی این تراکتور در شکل ۱۱ درج‌شده و مشخصات فنی تراکتور پیشنهادی برای کاربرد در امور مربوط به شالیزار در جدول۵ بیان‌شده است.



شکل Error! No text of specified style in document. **۱۰: نمای ظاهری تراکتور شالیزار**



شکل ۱۱: ابعاد کلی تراکتور شالیزار

جدول .Error! No text of specified style in document: مشخصات فنی تراکتور شالیزار

موتور	مدل آ۴-۲۴۸ ساخت شرکت موتورسازان چهار سیلندر، دیزل پاشش مستقیم، آب‌خنک باقدرت ۷۵ اسب بخار در سرعت دورانی ۲۰۰۰ دور بر دقیقه			
سیستم برق	۱۲ ولت بااتصال منفی بدنه، دارای باطری با ظرفیت ۱۲۵ آمپرساعت، دینام ۴۵ آمپر، استارت ۲/۸کیلووات، به همراه چراغ‌های جلو، عقب، داخلی و کناری، خروجی برق ۷ پایه برای اتصال به تریلر			
انتقال قدرت	هیدرو استاتیک، شامل موتور و پمپ هیدرولیک موتور هیدرولیک: از نوع جابجایی متغیر با توان بیشینه ۷۰ کیلووات، فشار بیشینه ۴۵۰ بار، بیشینه حجم جابجایی ۲۸۱۲ سانتیمتر مکعب در هر دور، مجهز به کنترلرهای سروهیدرولیک و الکتریک، سنسور سرعت، پمپ هیدرولیک: از نوع جابجایی متغیر، پیستونی، با فشار نامی ۳۰۰ بار، مجهز به کنترل‌های سروهیدرولیک و الکتریک،			
محور تواندهی	هیدروموتور: از نوع جابجایی ثابت با توان بیشینه ۴ کیلووات، حجم جابجایی ۱۲۴۸ سانتی‌مترمکعب، بیشینه فشار ۴۵۰ بار،			
اتصالات	اتصال سه‌نقطه از نوع تیپ ۲ با کنترل عمق شخم، کنترل وضعیت (با بازوی حساس مرکزی) کنترل عکس‌العمل، پمپ هیدرولیک پیستونی با حداکثر دبی ۱۶/۷ لیتر بر دقیقه با حداکثر فشار ۲۱۳ بار، دارای دو کانال خروجی و ورودی هیدرولیک			
سیستم تعلیق	تعلیق مستقل طبق دار دوبل			
فرمان	هیدرو استاتیک با سروو کنترلر الکتریکی. حداکثر زاویه فرمان: ۴۲ درجه			
اکسل‌ها	سه محور دارای توان بافرمان پذیری کامل هر سه محور در سه حالت فرمان‌پذیری (خرچنگی، همراه و معمولی)			
حداکثر سرعت	۲۸ کیلومتر بر ساعت (حرکت در جاده)، بینهایت نسبت سرعت با توجه به وضعیت کاری تراکتور			
ترمز	دیسکی با لنت متقارن، یک دیسک ترمز به محور هر چرخ			
چرخ‌ها	۶ یا ۸ لایه با اندازه۱۲/۴-۲۴ برای هر سه محور			
اوزان	وزن روی محور جلو ۸۳۰ کیلوگرم	وزن روی محور وسط ۶۳۰ کیلوگرم	وزن روی محور عقب ۷۹۰ کیلوگرم	وزن کل ۲۵۵۰ کیلوگرم
ابعاد	طول (بازوی عقب به حالت افقی): ۴۴۰۰ میلی‌متر عرض: ۲۱۵۰ میلی‌متر ارتفاع (بالای کابین): ۲۷۹۰ میلی‌متر		فاصله محورهای جلو و عقب: ۲۶۰۰ میلی‌متر حداقل شعاع چرخش: ۴/۵ متر فاصله از زمین: ۵۱۰ میلی‌متر	
ظرفیت‌ها	مخزن سوخت: ۱۱۰ لیتر مخزن روغن هیدرولیک: ۱۱۰ لیتر		روغن‌موتور: ۸ لیتر سیستم خنک‌کننده (آب): ۱۴/۲ لیتر	

امکانات	کابین درب دار، سیستم‌های تهویه مطبوع، دستگاه بیسیم، پمپ آب داخلی

اهداف کلی تراکتور پیشنهادی توانایی عبور از موانع و عوارض زمینی، سازگاری با شرایط داخل شالیزار و سهولت کاربری آن می‌باشد. به‌منظور ارزان‌تر شدن هزینه تمام‌شده ساخت تراکتور شالیزار، تا آنجا که امکان داشته است، سعی بر این بوده که قطعات در حال تولید در بازار لوازم کشاورزی ایران و کشورهای خارجی لحاظ گردد و تنوع قطعات به لحاظ تأمین قطعات یدکی و ساخت به‌صورت کمینه درآید. ماحصل کار، تراکتوری در رده متوسط با توان ۷۵ اسب بخار، مجهز به سامانه انتقال قدرت هیدرو استاتیک با بینهایت نسبت سرعت به گشتاور بوده که مجهز به شش چرخ محرک فرمان گیر با سه نوع استراتژی فرمان‌پذیری است که همه این عوامل در کنار هم، کار این تراکتور در زمین‌های باتلاقی شالیزاری را تسهیل کرده و قابلیت چشمگیری در عبور از عوارض زمینی مثل نهرها، مرزها، پستی‌وبلندی‌ها و جاده‌های صعب‌العبور را به آن داده است.

نتیجه‌گیری

با توجه به شرایط زمین شالیزارها از جمله رطوبت امکان استفاده از ادوات و ماشین‌های کشاورزی در این‌گونه زمین‌ها با مشکلاتی همراه است. در پژوهش انجام شده یک تراکتور مناسب زمین‌های شالیزار طراحی گردید. در تراکتور مذکور محدودیت‌های کار در شرایط شالیزار مد نظر قرار گرفت.

منابع

1. Emami, S.F. and Yasori, M. (2014). Mechanism and Its Role in Sustainable Agriculture Case study: Rice cultivation in Guilan province. International Conference on Sustainable Development, Solutions and Challenges Focusing on Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism. (In Farsi)
2. Itoh, H., Oida, A., & Yamazaki, M. (1995). Measurement of forces acting on 4WD-4WS tractor tires during steady-state circular turning in a rice field. Journal of Terramechanics, 32(5), 263-283.
3. Jahanbakhshi A., Heydarbeygi K. and Heydari Rozdare S. (2016). Investigation of the strength and mechanical behavior of the lower arm of the Ferguson Messi Tractor 582 by Finite Element Method (FEM). 1st International conference on new research achievement in mechanics, mechatronic and biomechanics. (In Farsi)
4. Kim, S.-H., Kim, D.-H., Kim, C.-J., Kim, Y.-R., Choi, J.-Y., & Han, C.-S. (2010). A study on motion control of 6WD/6WS vehicle using optimum tire force distribution method. Paper presented at the Control Automation and Systems (ICCAS), 2010 International Conference on.
5. Kim, W., Kang, J., & Yi, K. (2011). Drive control system design for stability and maneuverability of a 6WD/6WS vehicle. International Journal of Automotive Technology, 12(1), 67-74.
6. Kolator, B., & Białobrzewski, I. (2011). A simulation model of 2WD tractor performance. Computers and Electronics in Agriculture, 76(2), 231-239.
7. Mansouri Rad D. (1996). Farms machinery and tractors. Bu-Ali university, Vol.1 (In Farsi)
8. Rackham, D., & Blight, D. (1985). Four-wheel drive tractors—A review. Journal of Agricultural Engineering Research, 31(3), 185-201.
9. Shakir, S. M., Mahadik, S., Singh, P., Sawant, A., & Sayyed, S. (2017). Active Four Wheel Steering. Imperial Journal of Interdisciplinary Research, 3(4), 33-45.

10. Van Eeden, C.-J. (2007). The steering relationship between the first and second axles of a 6x6 off-road military vehicle.
11. Yousefzadeh S. and firouzi S. (2016). The study of the factors affecting the development of mechanization of rice cultivation in Guilan province by Delphi technique. Iranian Journal of Biosystem Engineering, 47 (1), 83-92. (In Farsi)

Design and manufacturing evaluation of the tree axes tractor specialized for paddy fields operations

Behrouz Paidar[1], Ali Hajiahmad[2], Ali Rajabipour[3], Fatemeh Solki Cheshmeh Soltani [4]

1. Master graduated, Mechanic of Biosystem engineering, university of Tehran
2. Assistant professor, university of Tehran
3. Professor, university of Tehran
4. Master student, Mechanic of Biosystem engineering, university of Tehran

Abstract

Agricultural operations for rice and other similar crops are costly and time consuming. Part of this problem is related to the disproportionate equipment used in this operation. The dimensions of this issue are such that most farmers do not have the ability to buy a full range of specialized tools, and then continue to cultivate in a traditional way. In the present study, suitable shrubbery tractor was designed and proposed. The tractor with a 75-horsepower engine with a maximum weight of 2550 kg was proposed as a six-wheel drive, driven in three steering modes and a hydrostatic power transmission system. Also, the body height of this tractor is from the ground level of 0.510 m and has a connection of three point type 2 compatible with a wide range of agricultural implements.

keywords: simulation, hydrostatic drive train and modeling

*Corresponding author
E-mail: hajiahmad@ut.ac.ir