

تحلیل سینماتیکی سامانه اتصال سه‌نقطه تراکتور MF 285

نوروز مرادی‌نژاد^{*۱}

چکیده

در این تحقیق ابتدا یک دستگاه گاواهن برگرداندار به تراکتور متصل و مختصات انتهای بازوهای پایینی و ساق وسط در محدوده حرکتی بازوهای بالایی اندازه‌گیری شد. سپس با هدف بررسی تأثیر ویژگی‌های هندسی سامانه اتصال سه‌نقطه بر عملکرد آن، از نرم‌افزار Solid Works برای شبیه‌سازی حرکت سامانه اتصال سه‌نقطه استفاده شد. با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده، مسیر حرکت بازوها ترسیم و ویژگی‌های عملکردی هندسی محاسبه شدند. نتایج کارگاهی نشان داد، زمانی که بازوی ساق‌وسط به سوراخ پایینی در بدنه تراکتور متصل بود، فاصله همگرایی عمودی کم‌تر از مقدار استاندارد ASABE بود. از این‌رو در هنگام استفاده از ادوات خاک‌ورزی بهتر است ساق‌وسط به سوراخ بالایی یا وسطی در بدنه تراکتور متصل شود و در غیر این صورت استفاده از سوراخ پایینی ممکن است پایداری تراکتور دچار اختلال شود. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که با افزایش فاصله نقطه اتصال بازوی رابط به بازوی پایینی، مزیت مکانیکی تا $3/18$ افزایش ولی محدوده حرکتی بازوها $95/28$ میلی‌متر کاهش یافت. همچنین با کاهش طول بازوی رابط، مزیت مکانیکی تا $3/16$ افزایش و این در حالی بود که محدوده حرکتی بازوها $487/11$ میلی‌متر کاهش یافت. با کاهش فاصله نقطه اتصال بازوی رابط به بازوی پایینی و همچنین افزایش طول بازوی رابط در ارتفاع‌های کمتر از حد استاندارد ASABE برای بازوهای پایینی، موقعیت نقطه‌اتصال مجازی به سمت عقب چرخ‌های عقب تراکتور منتقل شد که این امر ممکن است پایداری تراکتور را به ویژه در سربالایی‌ها تحت تأثیر قرار دهد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل سینماتیکی، عملکرد هندسی، نقطه‌اتصال مجازی، مزیت مکانیکی، تراکتور.

ارجاع: مرادی‌نژاد ن. ۱۴۰۳. تحلیل سینماتیکی سامانه اتصال سه‌نقطه تراکتور MF 285. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۳۱: ۶۹-۷۸
<https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2024.14611.685>

۱- استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

* نویسنده مسئول: n.morad@iaut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۶

مقدمه

سامانه اتصال سه نقطه‌ای تراکتور توسط فرگوسن در سال ۱۹۳۵ به منظور اتصال ادوات به تراکتور، از طریق دو بازوی پایینی و یک بازوی بالایی (میانی) معرفی شد. نقش اصلی آن اتصال ادوات به تراکتور و افزایش بازده کششی تراکتورهای دو چرخ محرک از طریق افزایش انتقال بار دینامیکی روی چرخ‌های عقب در هنگام کشیدن ادوات است. هم‌چنین به مانورپذیری تراکتور-ادوات در مزرعه و در حین حمل و نقل کمک می‌کند (Molari et al., 2014).

انجمن مهندسين کشاورزی و زیستی آمریکا (ASABE, 2001) و سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO, 2009) استانداردهایی را برای طراحی سیستم اتصال سه نقطه‌ای تعیین کرده‌اند. این استانداردهای طراحی برای طراحی سامانه اتصال سه نقطه، برخی از محدودیت‌های هندسی را به منظور افزایش ایمنی، سازگاری با ادوات و پایداری ادوات تعریف کرده‌اند. تجزیه و تحلیل ابعاد هندسی اتصال سه نقطه در تعدادی از تراکتورها نشان می‌دهد که هندسه سامانه اتصال سه نقطه بهینه نشده است (Dhruw et al., 2018). از این‌رو، نیاز به ارزیابی طراحی سامانه اتصال سه نقطه بر اساس یک استاندارد برای عملکرد مناسب آن وجود دارد. با توجه به دامنه تغییرات ابعاد هندسی اجزای اتصال سه نقطه و الزامات تجویز شده توسط استانداردها، طراحان با وظیفه تعریف هندسه به منظور برآوردن الزامات سینماتیکی، عملکردی، ساختاری، کاری و اقتصادی مواجه هستند (Avello et al., 2022).

Ambike & schmiedeler (2007) با هدف تعیین هندسه‌ی بهینه، برنامه محدودیت هندسی را برای تعیین پیکربندی اتصال سه نقطه که محدودیت‌های اعمال شده توسط استاندارد ASABE را برآورده می‌کند، پیشنهاد کردند. ابزار توسعه یافته در مطالعه آنها به کاربر اجازه می‌دهد تا به صورت گرافیکی اثرات ویژگی‌های مختلف را بر روی هندسه طراحی، توسط یک بسته نرم‌افزاری CAD مشاهده کند. Prasanna Kumar (2015) یک الگوریتم مبتنی بر تئوری نیوتن - رافسون را توسعه داد که قادر به ایجاد و ترسیم مسیر نقاط اتصال پایین، بالایی (میانی) و مجازی است. این الگوریتم هم‌چنین ویژگی‌های عملکرد هندسی و مزیت مکانیکی را محاسبه می‌کند. الگوریتم بر

روی ۱۶۵ سامانه مختلف جمع‌آوری شده از گزارش‌های آزمایش تراکتور نبراسکا اجرا شد و طرح‌های بهینه بر اساس ویژگی‌های عملکرد سینماتیکی و حداکثر مزیت مکانیکی سامانه اتصال سه نقطه انتخاب شدند. آنها مدلی برای بررسی تأثیر تنظیم سامانه اتصال سه نقطه بر توزیع بار بین چرخ‌های عقب تراکتور در طول شخم درون شیار ارائه دادند. از مطالعه آنها می‌توان نتیجه گرفت که اختلاف بار بین چرخ‌های درون شیار و روی زمین می‌تواند با تنظیم طول بازوی میانی به طور قابل توجهی کاهش یابد (Bauer et al., 2017). در پژوهش دیگری از یک روش بهینه‌سازی عددی برای بهینه‌کردن اتصال سه نقطه از طریق افزایش ظرفیت بالابری و برآورده کردن محدودیت‌های مربوط به استانداردها استفاده شد (Molari et al., 2014).

نتایج ارزیابی یک برنامه‌ی رایانه‌ای در نرم‌افزار Visual Basic که عملکرد سامانه اتصال سه نقطه تراکتور را در صفحه طولی - عمودی (xz) ارزیابی می‌کرد، نشان داد که طول بازوی رابط بیش‌ترین تأثیر را بر روی مزیت مکانیکی داشت (Dhruw et al., 2018). نتایج یک ابزار محاسباتی (بهینه‌ساز) برای تعیین ابعاد هندسی سامانه اتصال سه نقطه که اثر انتقال وزن را به حداقل می‌رساند، نشان داد که بهینه‌ساز، پس از ۳۶ تکرار، توانست هندسه‌ی بهینه شده‌ای را که اثر انتقال وزن را تا ۱۴/۹٪ کاهش دهد، پیدا کند (Avello et al., 2022).

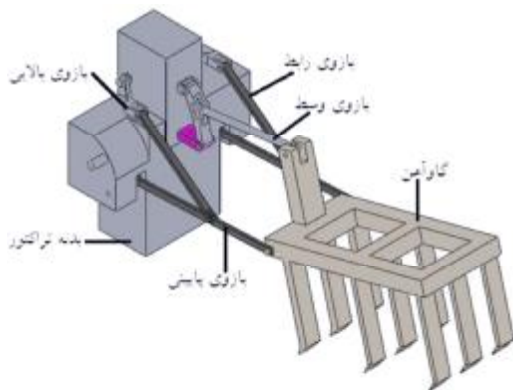
شبیه‌سازی رایانه‌ای معمولاً برای نمایش و تحلیل یک سامانه خاص بدون انجام اندازه‌گیری عملی استفاده می‌شود و انعطاف‌پذیری لازم برای کاربر در انتخاب و ترکیب ویژگی‌های مختلف طراحی و تجزیه و تحلیل تأثیر آنها بر روی عملکرد سامانه را فراهم می‌کند. شبیه‌سازی رایانه‌ای سامانه اتصال سه نقطه به طراح کمک می‌کند تا ویژگی‌های هندسی سامانه اتصال سه نقطه را بدون انجام آزمایش‌های میدانی پرهزینه و زمان‌بر تجزیه و تحلیل کند. علاوه بر این، یک روش کم هزینه نیز برای محققان و سازندگان تراکتور جهت ردیابی مسیر حرکت اتصال سه نقطه و ارزیابی این‌که آیا طرح موجود از استانداردهای طراحی پیروی می‌کند یا خیر، ارائه می‌دهد.

بنابراین پژوهش حاضر با هدف ارزیابی عملکرد سامانه اتصال سه نقطه تراکتور MF285 انجام شد و از نرم‌افزار Solid Works به منظور بررسی تأثیر ویژگی‌های

تعیین مسیر حرکتی بازوهای اتصال سه‌نقطه تراکتور

در تحلیل سینماتیک اتصال سه‌نقطه، مرکز چرخ‌های عقب تراکتور به عنوان مبدأ لحاظ شد. با حرکت بازوهای بالایی، انتهای بازوهای پایینی فاصله عمودی بین دو نقطه M و N را طی می‌کنند (شکل ۱).

سامانه اتصال سه‌نقطه در صفحه XZ یک سازوکار شش میله‌ای است که می‌توان به صورت دو سازوکار چهار میله‌ای تحلیل کرد (شکل ۲). یک سازوکار چهار میله‌ای از بازوی بالایی به عنوان میل‌لنگ، بازوهای رابط، بازوهای پایینی و بدنه تراکتور تشکیل شده است. سازوکار چهار میله‌ای دوم شامل بازوهای پایینی، شاسی ادوات، بازوی وسط و بدنه تراکتور است. در سازوکارهای چهار میله‌ای، با معلوم بودن زاویه یکی از میله‌های متحرک، می‌توان زاویه میله‌های متحرک دیگر را به دست آورد. برخی از پژوهش‌گران از روابط هندسی و ریاضی برای شبیه‌سازی حرکتی سامانه اتصال سه‌نقطه تراکتور استفاده کرده‌اند (Ambike & Schmiedeler, 2007; Kumar, 2012).



شکل ۲- اجزای سامانه اتصال سه‌نقطه تراکتور

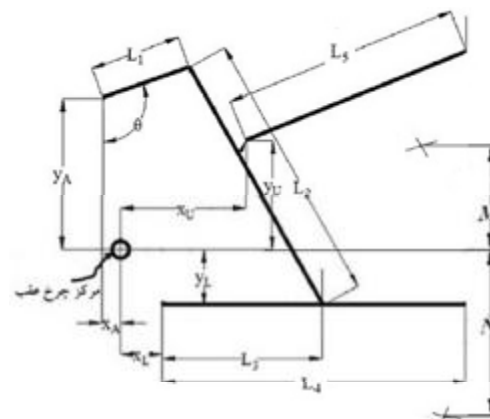
در این پژوهش ابتدا یک دستگاه گاواهن برگرداننده سه خیش به تراکتور متصل و بعد از انجام تنظیمات لازم، مختصات نقاط اتصال بازوهای پایینی و ساق وسط به گاواهن در حالت بالاروی و پایین‌روی در کارگاه اندازه‌گیری شد. در تمامی اندازه‌گیری‌ها مرکز چرخ‌های عقب تراکتور به عنوان مبدأ در نظر گرفته شد. با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده، مسیر حرکت بازوها در نرم‌افزار Microsoft Excel نسخه ۲۰۱۶ ترسیم و ویژگی‌های عملکردی هندسی با استفاده از روابط مربوطه

هندسی مختلف روی مزیت مکانیکی و موقعیت نقطه اتصال مجازی سامانه اتصال سه‌نقطه استفاده شد.

مواد و روش‌ها

انتخاب تراکتور و مشخصات سامانه اتصال سه‌نقطه

تراکتور مسی‌فرگوسن مدل ۲۸۵ ساخت شرکت تراکتورسازی تبریز در مقایسه با تراکتورهای دیگر در سطح کشور ایران فراوانی بالاتری دارد. قدرت موتور آن در ۲۰۰۰ دور در دقیقه، ۷۱ اسب بخار، فاصله چرخ‌های عقب ۱۷۲۹ میلی‌متر، فاصله مرکز به مرکز چرخ‌های جلو و عقب ۲۲۸۶ میلی‌متر و قطر چرخ عقب ۱۴۰۰-۱۵۰۰ میلی‌متر است (Shani, 2015). شماتیک و ابعاد قسمت‌های مختلف سامانه اتصال سه‌نقطه در صفحه XZ در شکل ۱ نشان داده شده است. مطابق استاندارد ASABE، سامانه اتصال سه‌نقطه تراکتور MF285 در گروه ۱ و ۲ قرار دارد.



ویژگی های هندسی	ابعاد (میلی‌متر)
L_4	۱۰۰۰
L_1	۲۳۰
L_2	۶۴۰-۷۰۰
L_3	۷۵۰-۸۵۰
L_3	۶۱۰
X_L	۲۱/۷۵
Y_L	۲۱۲/۵
X_U	۲۱۷.۲۰/۵.۱۸۸
Y_U	۱۴۰/۳.۱۷۹/۲.۲۰۸
X_A	۱۹۵/۲۵
Y_A	۲۲۵
M	۲۵۲
N	۳۲۲
R	۷۰۰

شکل ۱- شماتیک و مشخصات سامانه اتصال سه‌نقطه تراکتور

MF285

عملکردی بررسی شدند. در اندازه‌گیری کارگاهی، کم‌ترین و بیش‌ترین فاصله نقطه انتهایی بازوی پایینی سمت چپ به ترتیب ۳۲۰ میلی‌متر، ۹۲۰ میلی‌متر و در حالت افقی بودن بازوی پایینی ۴۸۷ میلی‌متر به دست آمدند (طول بازوی رابط سمت چپ، ۷۰۰ میلی‌متر). از آن جا که طول بازوی رابط سمت راست متغیر است، مقادیر مذکور برای بازوی پایینی سمت راست با طول بازوی رابط سمت راست ۶۸۰ میلی‌متر به ترتیب ۳۸۰، ۹۸۰ و ۴۸۷ میلی‌متر و با کمترین طول بازوی رابط (۶۴۰ میلی‌متر)، به ترتیب ۴۵۰، ۱۰۲۰ و ۴۸۷ میلی‌متر اندازه‌گیری شدند. بر این اساس جهت برآورده شدن محدوده حرکت بازوهای پایینی در شبیه‌سازی، زاویه حرکت موتور ۸۰ درجه تعریف گردید (از ۳۲- تا ۴۸+ درجه نسبت به محور افقی).

ویژگی‌های عملکردی هندسی سامانه اتصال سه نقطه از معادلات زیر محاسبه می‌شوند:

- (۱) ارتفاع نقطه انتهای بازوی پایینی در پایین‌ترین موقعیت - شعاع چرخ عقب = ارتفاع نقطه اتصال بازوی پایینی
- (۲) ارتفاع نقطه انتهای بازوی پایینی در بالاترین موقعیت - شعاع چرخ عقب = ارتفاع حمل
- (۳) ارتفاع نقطه انتهای بازوی پایینی - ارتفاع حمل = محدوده حرکت بازوها
- (۴) شعاع چرخ - فاصله مرکز چرخ تا نقطه انتهای بازوی پایینی در حداکثر ارتفاع = لقی نقطه انتهای بازوی پایینی

نتایج و بحث

نتایج کارگاهی

مسیر حرکت نقاط انتهای بازوهای پایینی و ساق وسط و ویژگی‌های عملکردی هندسی سامانه اتصال سه نقطه در شکل ۳ نشان داده شده است.

در آزمایش و اندازه‌گیری کارگاهی مشخص شد که انتهای بازوی پایینی از ۳۸۰ تا ۹۵۵ میلی‌متر از سطح زمین حرکت می‌کند. محدوده جابجایی ۵۷۵ میلی‌متر بود. با کوتاه کردن طول بازوی رابط سمت راست از ۷۰۰ به ۶۴۰ میلی‌متر، ارتفاع حمل به ۱۰۲۰ و ارتفاع نقطه انتهای بازوی پایینی به ۴۵۰ میلی‌متر افزایش یافتند. بر این اساس، سامانه اتصال سه نقطه تراکتور MF285، استاندارد لازم را برای حداقل ارتفاع حمل در تراکتورهای گروه ۱ (۸۲۰ میلی‌متر) و گروه ۲ (۹۵۰ میلی‌متر) دارد، ولی استاندارد ASABE برای حداقل ارتفاع نقطه انتهایی بازوی پایینی از زمین (۲۰۰ میلی‌متر)، و محدوده جابجایی (۶۱۰ میلی‌متر) در تراکتورهای گروه ۱ و ۲ را

محاسبه شدند. سپس با هدف مطالعه تأثیر ویژگی‌های هندسی سامانه اتصال سه نقطه بر عملکرد آن، از نرم‌افزار Solid Works نسخه ۲۰۱۸ برای شبیه‌سازی حرکت سامانه اتصال سه نقطه استفاده شد.

ابتدا اجزای سامانه اتصال سه نقطه با دقت یک سانتی‌متر در محیط Part نرم‌افزار طراحی و در گام بعدی تمامی اجزا در محیط Assembly بر روی هم سوار شدند (شکل ۲). برای شبیه‌سازی و تحلیل حرکت سامانه اتصال سه نقطه در محیط Solid Work Motion، یک موتور چرخشی نوسانی بر روی محور گردنده هیدرولیک تعریف و تنظیمات لازم آن انجام شد. در شبیه‌سازی با نرم‌افزار، عامل‌های مختلف از قبیل: طول بازوهای پایینی، موقعیت نقطه اتصال بازوهای پایینی به بدنه تراکتور، طول بازوی رابط، فاصله نقطه اتصال بازوی رابط به بازوی پایینی از بدنه، طول بازوی بالایی و موقعیت نقطه اتصال بازوی بالایی در بدنه تغییر داده و تأثیر آن‌ها بر روی ویژگی‌های

نقطه اتصال مجازی عبارت است از نقطه برخورد امتداد خطوط بازوهای پایینی و بازوی وسط در صفحه XZ که با استفاده از معادلات (۵) تا (۸) محاسبه می‌شود:

$$X_{VHP} = \frac{m_{UL}X_U - Y_U - m_{LL}X_L + Y_L}{m_{UL} - m_{LL}} \quad (5)$$

$$Y_{VHP} = \frac{m_{UL}Y_L - m_{LL}Y_U + m_{LL}m_{UL}(X_U - X_L)}{m_{UL} - m_{LL}} \quad (6)$$

$$m_{LL} = \frac{Y_{LHP} - Y_L}{X_{LHP} - X_L} \quad (7)$$

$$m_{UL} = \frac{Y_{UHP} - Y_U}{X_{UHP} - X_U} \quad (8)$$

مزیت مکانیکی عبارت است از نسبت گشتاور اعمال شده روی بازوی متحرک (بازوی پایینی) به گشتاور لازم در بازوی محرک (بازوی بالایی).

$$\text{مزیت مکانیکی} = \frac{\text{گشتاور خروجی}}{\text{گشتاور ورودی}} = \frac{L_3 \sin \mu}{L_1 \sin \gamma} \quad (9)$$

(Uicker et al., 2016).

تراکتور، فاصله همگرایی عمودی نباید کمتر از ۰/۹ قطر چرخ باشد. از این‌رو در هنگام استفاده از ادوات گروه ۲، ساق وسط را می‌توان به نقاط بالایی و وسطی اتصال ساق وسط در بدنه تراکتور متصل کرد؛ ولی نمی‌توان از نقطه اتصال پایینی در بدنه تراکتور استفاده کرد، در غیر این‌صورت ممکن است پایداری تراکتور دچار اختلال شود. Prasanna Kumar (2015) در بررسی ویژگی‌های عملکردی یک نوع تراکتور دو چرخ محرک گزارش کردند که در هنگام استفاده از ادوات گروه ۱، ساق وسط را می‌توان به هر یک از سه سوراخ موجود در بدنه تراکتور متصل کرد، ولی در هنگام استفاده از ادوات گروه ۲، فقط از بالاترین سوراخ در بدنه تراکتور می‌توان استفاده کرد.

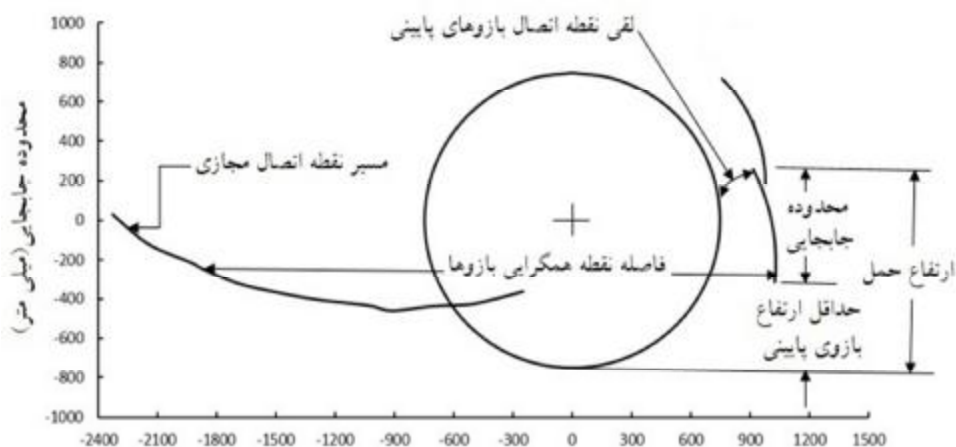
موقعی که بازوهای پایینی به بالاتر از موقعیت افقی بالا برده شدند، نقطه اتصال مجازی به محور چرخ عقب نزدیک‌تر شد و موقعی که نقطه اتصال مجازی نزدیک محور عقب بود، با بالا رفتن وسیله، موقعیت نقطه اتصال مجازی تغییر زیادی نکرد. با وجود این، زمانی که وسیله پایین برده شد، نقطه اتصال مجازی، سریعاً به جلوی محور عقب جابجا شد. جابجایی نقطه اتصال مجازی در حالتی که ساق وسط به نقطه وسطی متصل بود، کمی سریع‌تر اتفاق افتاد (شکل ۴). این امر بیان‌گر آن است که هنگام استفاده از ادوات خاک‌ورزی با تراکتور MF285، به منظور انتقال بهتر وزن از وسیله به روی چرخ‌های عقب، بهتر است ساق وسط به سوراخ میانی در بدنه تراکتور متصل شود. این نتیجه با نتایج پژوهش Prasanna Kumar (2015) مشابهت دارد.

برآورده نکرد. به منظور مطابقت حداقل ارتفاع نقطه‌های انتهایی بازوی پایینی و محدوده جابجایی، با استاندارد تعریف شده برای تراکتورهای گروه ۱ و ۲، لازم است سایر عامل‌های هندسی سامانه اتصال سه‌نقطه دستکاری و طوری تنظیم شوند تا استانداردهای مذکور برآورده شوند.

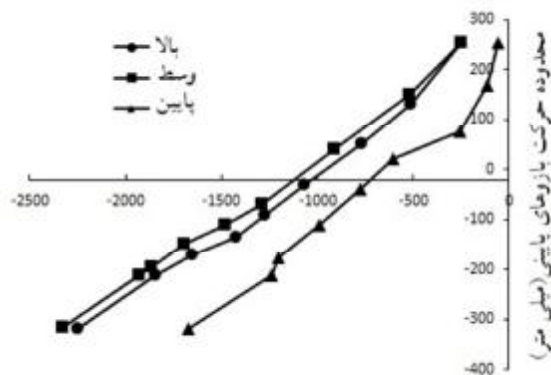
میزان لقی نقطه انتهایی بازوی پایینی ۲۷۳ میلی‌متر به دست آمد که بیش‌تر از حداقل مقدار توصیه شده در استاندارد (۱۰۰ میلی‌متر) برای تراکتورهای گروه ۱ و ۲ است. در حالت افقی بودن بازوی‌های پایینی و عمود بودن نقطه اتصال گاوآهن (فیل گوش)، با کوتاه کردن طول بازوی رابط از ۷۰۰ میلی‌متر به ۶۴۰ میلی‌متر، ارتفاع نقطه انتهایی بازوی پایینی، ۱۳۰ میلی‌متر افزایش پیدا کرد (محدوده تنظیم ارتفاع). حداقل ارتفاع انتهایی بازوی پایینی توصیه شده در استاندارد تراکتورهای گروه ۱ و ۲، ۱۰۰ میلی‌متر است.

تغییرات فاصله همگرایی عمودی نقطه اتصال مجازی

فاصله همگرایی عمودی (فاصله نقطه اتصال مجازی در حالت افقی بودن بازوهای پایینی) و تغییرات فاصله افقی نقطه اتصال مجازی از محور چرخ عقب در محدوده جابجایی برای سه موقعیت نقطه اتصال ساق وسط به بدنه تراکتور (نقاط بالایی، وسط و پایینی) در شکل ۴ نشان داده شده است. فاصله همگرایی عمودی برای موقعیت‌های بالایی، وسط و پایینی ساق وسط به بدنه تراکتور به ترتیب ۱۸۴۴-، ۱۹۲۹- و ۱۲۴۲- میلی‌متر به دست آمدند. مطابق استاندارد ASABE جهت پایداری



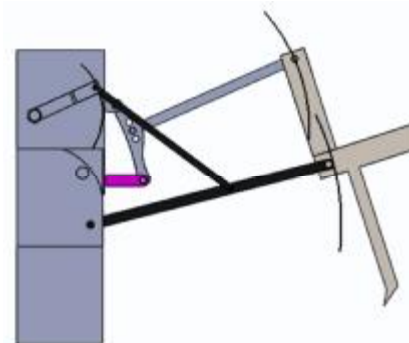
شکل ۳- مسیر نقاط انتهایی بازوهای پایینی و ساق وسط و ویژگی‌های عملکردی هندسی سامانه اتصال سه‌نقطه



شکل ۴- تغییرات فاصله افقی نقطه اتصال مجازی در محدوده حرکتی بازوهای پایینی برای موقعیت‌های مختلف بازوی وسط

نتایج شبیه‌سازی

در شبیه‌سازی با نرم‌افزار، زاویه محور گردنده در حداکثر ارتفاع، در حالت افقی بودن بازوهای پایینی و در کم‌ترین ارتفاع به ترتیب ۱۳۸، ۸۴ و ۵۸ درجه نسبت به خط عمود به دست آمدند. مسیر حرکت نقاط انتهایی بازوی پایینی، ساق وسط و بازوی بالایی در محدوده جابجایی در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- مسیر نقاط انتهایی بازوها در شبیه‌سازی نرم‌افزاری

۲۰۱۸ به نرم‌افزار Microsoft Excel نسخه ۲۰۱۶ فراخوانی شد و موقعیت نقطه اتصال مجازی و مزیت مکانیکی با استفاده از روابط مربوط در محدوده حرکتی بازوهای اتصال سه نقطه محاسبه و ترسیم شدند. تأثیر ویژگی‌های مختلف بر روی نقطه اتصال مجازی و مزیت مکانیکی به ترتیب در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است.

تغییرات مزیت مکانیکی نقطه اتصال مجازی در محدوده جابجایی

نتایج شبیه‌سازی با ابعاد، اندازه‌ها و تنظیمات موجود بر روی تراکتور نشان داد که مزیت مکانیکی در حداقل ارتفاع بازوهای پایینی، بیش‌ترین مقدار را داشت (۲/۵۱) و با افزایش ارتفاع تا حالت افقی بودن بازوهای پایینی کاهش یافت (۱/۹۵). همچنین مزیت مکانیکی برای موقعیت‌های بالاتر از حالت افقی بودن بازوهای پایینی، افزایش یافت (شکل ۶).

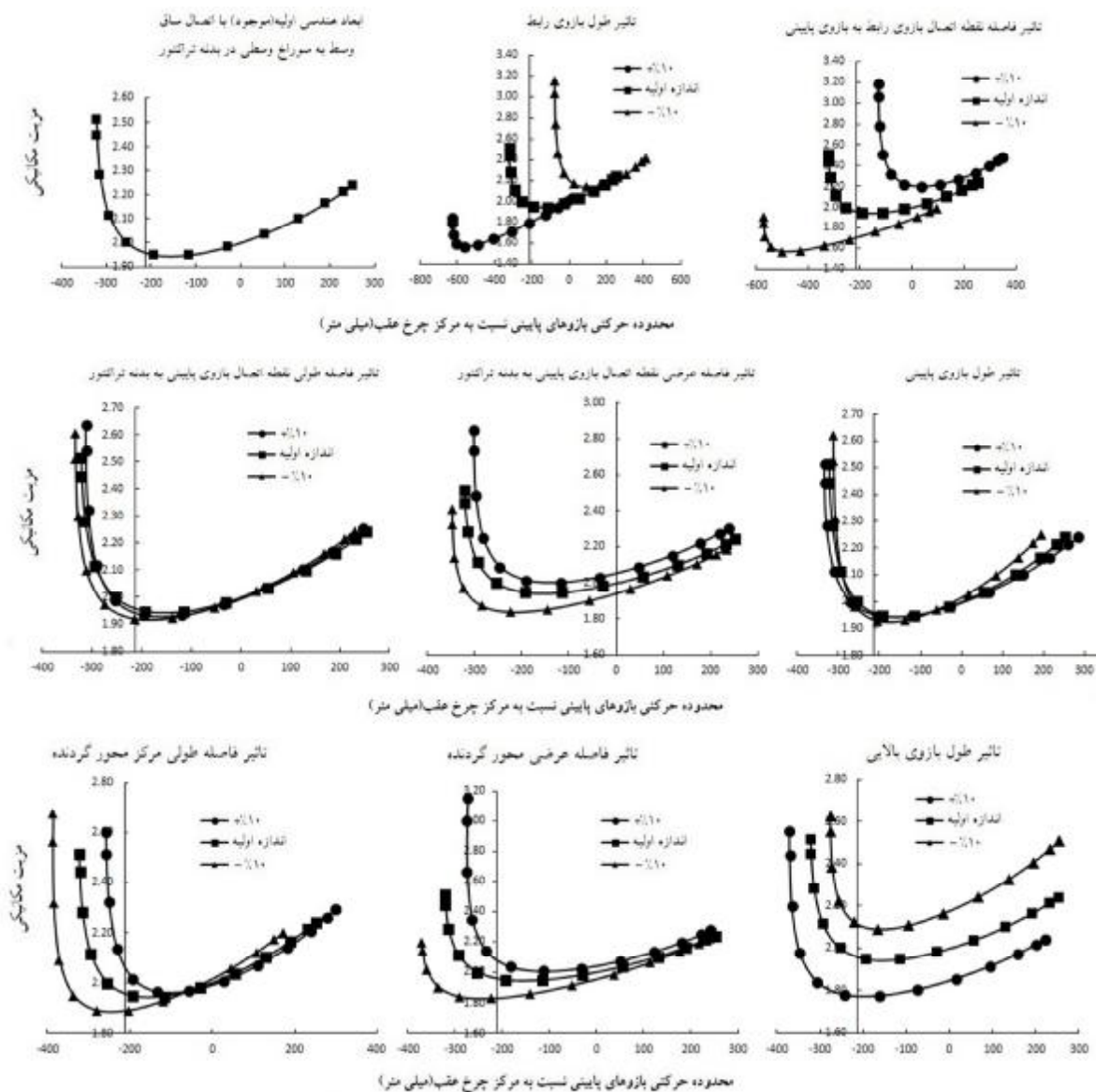
با افزایش فاصله نقطه اتصال رابط به بازوی پایینی مزیت مکانیکی افزایش محسوسی نشان داد (۳/۱۸)، ولی در محدوده حرکتی، کاهش زیادی اتفاق افتاد، به طوری که حداقل ارتفاع بازوی پایینی (۲۱۹/۸ میلی‌متر) استاندارد لازم را برآورده نکرد. با کاهش این فاصله مزیت مکانیکی در حداقل ارتفاع بازوها به ۱/۹ کاهش یافت و حداقل ارتفاع بازوی پایینی در محدوده استاندارد ASABE بود. با کاهش طول بازوی رابط، مزیت مکانیکی افزایش زیادی پیدا کرد و این در حالی بود که حداقل ارتفاع بازویی پایینی و محدوده حرکتی کاهش زیادی داشتند. با افزایش طول بازوی رابط، مزیت مکانیکی برای موقعیت‌های پایین‌تر از حالت افقی کاهش زیادی داشت و

به منظور بررسی تأثیر ویژگی‌های مختلف هندسی سامانه اتصال سه نقطه بر روی نقطه اتصال مجازی و مزیت مکانیکی، هر کدام از ویژگی‌های هندسی سامانه اتصال سه نقطه از قبیل: طول بازوهای پایینی، موقعیت نقطه اتصال بازوهای پایینی به بدنه تراکتور، طول بازوی رابط، فاصله نقطه اتصال بازوی رابط به بازوی پایینی از بدنه، طول بازوی بالایی و موقعیت نقطه اتصال بازوی بالایی در بدنه از ۱۰٪ تا ۱۰٪+ اندازه اولیه خود تغییر داده شدند و با تغییر هر کدام از ویژگی‌های مذکور، ویژگی‌های دیگر ثابت نگه داشته شدند (در تمامی آزمایش‌ها ساق وسط به نقطه میانی بدنه تراکتور متصل بود). سپس داده‌های حاصل از شبیه‌سازی در نرم‌افزار Solid Works نسخه

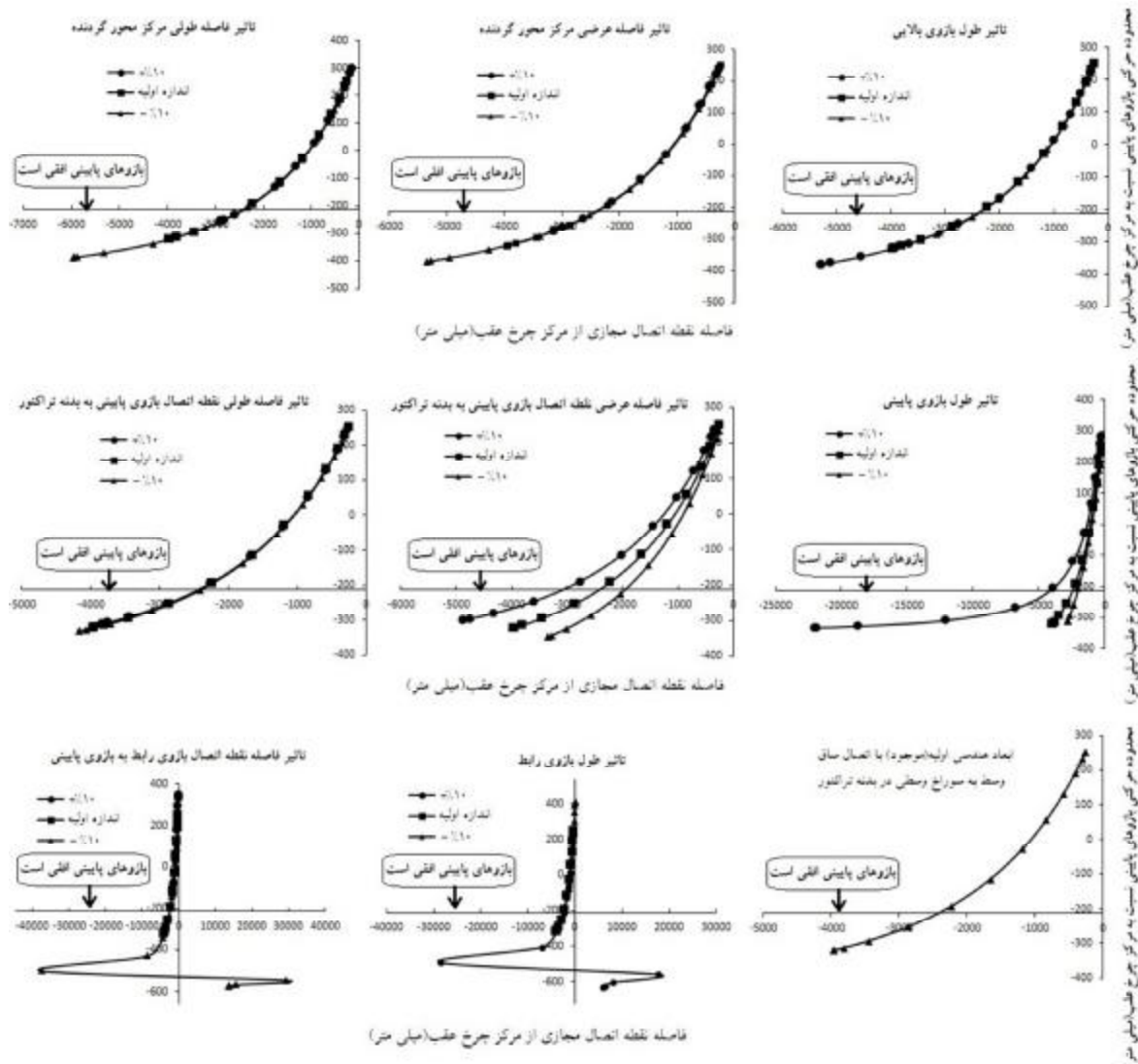
با افزایش فاصله طولی نقطه اتصال بازوی بالایی، مزیت مکانیکی برای موقعیت‌های پایین‌تر از حالت افقی بازوی پایینی، افزایش و برای موقعیت‌های بالاتر از حالت افقی کاهش یافت. در حالی که با کاهش این فاصله تغییرات معکوس اتفاق افتاد. با افزایش فاصله عمودی نقطه اتصال بازوی بالایی مزیت مکانیکی افزایش محسوس و با کاهش این فاصله، مزیت مکانیکی کاهش زیادی یافت. با کاهش طول بازوی بالایی، مزیت مکانیکی افزایش پیدا کرد، ولی حداقل ارتفاع بازویی پایینی افزایش یافت و اختلاف زیادی با استاندارد ASAE پیدا کرد.

حداقل ارتفاع بازوی پایینی در محدوده استاندارد ASAE بود (شکل ۶ و جدول ۱). نتایج پژوهش دیگران نشان داد که طول بازوی رابط، بیش‌ترین تأثیر را بر روی مزیت مکانیکی دارد (Dhruw et al., 2018).

با تغییر فاصله طولی نقطه اتصال بازویی پایینی به بدنه و تغییر طول بازوی پایینی، تغییر محسوسی در مزیت مکانیکی مشاهده نشد. با افزایش فاصله عمودی نقطه اتصال بازوی پایینی، مزیت مکانیکی در تمام مسیر حرکت افزایش یافت و با کاهش این فاصله، کاهش پیدا کرد. (شکل ۶ و جدول ۱).



شکل ۶- تأثیر ویژگی‌های مختلف سامانه اتصال سه‌نقطه بر روی مزیت مکانیکی



شکل ۷- تأثیر ویژگی‌های مختلف سامانه اتصال سه نقطه بر روی فاصله نقطه اتصال مجازی

بازوهای پایینی (۲۰۰ میلی‌متر)، موقعیت‌های نقطه اتصال مجازی به سمت عقب چرخ‌های عقب تراکتور منتقل شد و این امر ممکن است پایداری تراکتور را به ویژه در سربالایی‌ها تحت تأثیر قرار دهد. با تغییر ویژگی‌های هندسی، دیگر تفاوت چندانی در موقعیت‌های نقطه اتصال مجازی در محدوده حرکتی بازوهای پایینی مشاهده نشد (شکل ۷ و جدول ۱). در تمامی موارد، فاصله همگرایی عمودی مطابق استاندارد ASABE بیشتر از ۰/۹ قطر چرخ عقب بود (جدول ۱). بیش‌ترین مقدار مربوط به ویژگی افزایش طول بازوی پایینی و کم‌ترین مقدار مربوط در ویژگی کاهش طول بازوی پایینی بود (جدول ۱).

بیش‌ترین مقادیر مزیت مکانیکی برای ویژگی‌های افزایش فاصله نقطه اتصال بازوی رابط به بازوی پایینی، کاهش طول بازوی رابط و افزایش موقعیت عمودی مرکز محور گردنده به ترتیب ۳/۱۸۵، ۳/۱۵۹ و ۳/۱۵۵ به دست آمدند. کم‌ترین مقادیر برای ویژگی‌های کاهش فاصله نقطه اتصال بازوی رابط به بازوی پایینی، افزایش طول بازوی رابط و کاهش موقعیت عمودی مرکز محور گردنده به ترتیب ۱/۹۸۷، ۲/۰۳ و ۲/۱۹۴ به دست آمدند (جدول ۱).

کاهش فاصله نقطه اتصال بازوی رابط به بازوی پایینی و هم‌چنین افزایش طول بازوی رابط نشان دادند که در ارتفاع‌های کمتر از حد استاندارد ASABE برای

جدول ۱- تأثیر ابعاد هندسی سامانه اتصال سه‌نقطه بر روی ویژگی‌های عملکردی

X_A		Y_A		L_1		X_L		ابعاد موجود	
+۱۰٪	-۱۰٪	+۱۰٪	-۱۰٪	+۱۰٪	-۱۰٪	+۱۰٪	-۱۰٪		
۲/۶	۲/۶۷۸	۳/۱۵۵	۲/۱۹۴	۲/۵۵۶	۲/۶۲۴	۲/۶۳۷	۲/۶۰۶	۲/۵۱	ماکزیمم مزیت مکانیکی و
-۲۵۷/۳۱	-۳۸۶/۱۵	-۲۲۳/۴۱	-۳۷۱/۶۵	-۳۷۰/۳۱	-۲۷۶/۰۹	-۳۱۱/۷۶	-۳۳۲/۸۷	-۳۲۱/۹	ارتفاع بازوهای پایینی (میلی‌متر)
۱/۹۶۵	۱/۸۹۱	۲/۰۰۷	۱/۸۲۸	۱/۷۷۳	۲/۰۸۷	۱/۹۳۴	۱/۹۲۱	۱/۹۴	مینیمم مزیت مکانیکی و
-۱۳۲/۰۵	-۲۰۳/۸۸	-۱۱۲/۰۳	-۲۲۳/۸۹	-۱۶۳/۷۲	-۱۶۶/۴۶	-۱۹۴/۴۸	-۲۱۴/۷۹	-۱۱۵	ارتفاع بازوهای پایینی (میلی‌متر)
-۰/۱۹۶	-۰/۲۳۹	-۰/۳۶۱	-۰/۱۴۸	-۰/۲۳۹	-۰/۱۸۰	-۰/۲۱۵	-۰/۲۰۹	-۰/۱۷۷	انحراف معیار مزیت مکانیکی
۲۴۱۰	۲۴۲۰	۲۴۱۰	۲۴۱۵	۲۴۲۰	۲۴۱۵	۲۴۴۰	۲۳۹۰	۲۴۰۰	فاصله نقطه همگرایی عمودی (میلی‌متر)
-۲۵۷/۳۱	-۳۸۶/۱۵	-۲۲۳/۴۱	-۳۷۱/۶۵	-۳۷۰/۳۱	-۲۷۶/۰۹	-۳۱۱/۷۶	-۳۳۲/۸۷	-۳۲۱/۹	حداقل ارتفاع (میلی‌متر)
۳۰۰/۱۲	۱۷۱/۷۴	۲۴۱/۳۴	۲۳۹/۱۱	۲۲۲/۲۳	۲۵۳/۳۴	۲۴۶/۶۴	۲۳۰/۰۵	۲۵۱/۹۷	حداکثر ارتفاع (میلی‌متر)

Y_L		L_4		L_3		L_2		ابعاد موجود	
+۱۰٪	-۱۰٪	+۱۰٪	-۱۰٪	+۱۰٪	-۱۰٪	+۱۰٪	-۱۰٪		
۲/۸۴۶	۲/۴۰۹	۲/۵۱۳	۲/۶۲۲	۳/۱۸۵	۱/۹۸۷	۲/۰۰۳	۳/۱۵۹	۲/۵۱	ماکزیمم مزیت مکانیکی و
-۳۰۰/۹۱	-۳۴۷/۳۵	-۳۳۲/۹۸	-۳۱۱/۶۵	-۱۳۰/۱۶	-۹۴/۵۵	-۱۳/۷۵	-۷۷/۱۶	-۳۲۱/۹	ارتفاع بازوهای پایینی (میلی‌متر)
۲/۰۰۱	۱/۸۳۷	۱/۹۴۶	۱/۹۲۷	۲/۱۹۳	۱/۵۶۵	۱/۵۶۲	۲/۱۳۸	۱/۹۴	مینیمم مزیت مکانیکی و
-۱۱۷/۲۲	-۲۲۳/۵۱	-۱۲۰/۲۰	-۲۰۵/۵	۳۴/۹۷	-۴۹۸/۶۲	-۵۵۹/۵۲	۹۳/۰۴	-۱۱۵	ارتفاع بازوهای پایینی (میلی‌متر)
-۰/۲۶۰	-۰/۱۷۸	-۰/۱۷۷	-۰/۲۱۲	-۰/۳۱۰	-۰/۱۵۵	-۰/۱۶۹	-۰/۳۲۰	-۰/۱۷۷	انحراف معیار مزیت مکانیکی
۲۷۶۰	۲۱۰۰	۴۲۰۰	۲۰۸۰	-	۲۴۰۰	۲۴۲۵	-	۲۴۰۰	فاصله نقطه همگرایی عمودی (میلی‌متر)
-۳۰۰/۹۱	-۳۴۷/۳۵	-۳۳۲/۹۸	-۳۱۱/۶۵	-۱۳۰/۱۶	-۵۷۱/۰۸	-۶۲۹/۵۳	-۷۷/۱۶	-۳۲۱/۹	حداقل ارتفاع (میلی‌متر)
۲۳۸/۲۰	۲۳۴/۹۶	۲۸۲/۶۶	۱۹۴/۰۸	۳۸۴/۴۴	۹۴/۵۵	۱۳/۵۷	۴۰۹/۹۵	۲۵۱/۹۷	حداکثر ارتفاع (میلی‌متر)

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف ارزیابی عملکرد سامانه اتصال سه‌نقطه‌ای تراکتور MF285 انجام شد. با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در کارگاه، مسیر حرکت بازوها ترسیم و ویژگی‌های عملکردی هندسی محاسبه شدند. نتایج کارگاهی نشان داد که در هنگام استفاده از ادوات خاک‌ورزی بهتر است ساق وسط به سوراخ بالایی یا وسطی در بدنه تراکتور متصل شود و در صورت استفاده از سوراخ پایینی ممکن است پایداری تراکتور دچار اختلال شود.

نتایج شبیه‌سازی نشان داد که فاصله نقطه اتصال بازوی رابط به بازوی پایینی و طول بازوی رابط بیشترین تأثیر روی مزیت مکانیکی و فاصله نقطه اتصال مجازی دارند. بنابراین ویژگی‌های مذکور را می‌توان طوری تنظیم کرد که ضمن حفظ پایداری تراکتور و رعایت استاندارد

ASABE، مزیت مکانیکی بیشینه (افزایش ظرفیت بالابری سامانه) حاصل شود.

منابع

Ambike, S. S., & Schmiedeler, J. P. (2007). Application of geometric constraint programming to the kinematic design of 3-point hitches. *Applied Engineering in Agriculture*, 23(1): 13-21.

ASABE. (2001). *Three-point free link attachment for hitching implements to agricultural wheel tractors*. ASABE standards, S217.12 (48th ed.). St. Joseph, MI, USA: ASABE.

Avello Fernández, L., Maraldi, M., Mattetti, M., & Varani, M. (2022). A Computational Tool for Three-Point Hitch Geometry Optimisation Based on Weight-Transfer Minimisation. *Agriculture*, 12: 460.

Bauer, F., Portes, P., Slimarík, D., Cupera, J., & Fajman, M. (2017). Observation of Load Transfer from Fully Mounted Plough to

- Prasanna Kumar, G. V. (2012). Development of a Computer Program for the Path Generation of Tractor Hitch Points. Biosystem. *Engineering*, 113: 272–283.
- Prasanna Kumar, G. V. (2015). Geometric performance parameters of three-point hitch linkage system of a 2WD Indian tractor. *Research of Agricultural Engineering*. 61: 47-53.
- Shani., M. (2015). Service Manual of MF285 Tractors. Iran Tractor Manufacturing company. (In Persian).
- Uicker, J. J., Pennock, G. R., & Shigley, J. E. (2016). Theory of machines and mechanisms, 5th Edition. New York, Oxford University Press.
- Tractor Wheels by Analysis of Three Point Hitch Forces during Ploughing. *Soil Tillage Research*, 172: 69-78.
- Dhruw, L. K., Pareek, C. M., & Singh, N. A. (2018). Visual Basic Programmer for Performance Evaluation of Three-Point Linkage Hitch System of Agricultural Tractors. *Current Journal of Applied Science Technology*, 28(6): 1–12.
- ISO. (2009). *Agricultural wheeled tractors e Rear mounted three-point linkage e Categories 1N, 1, 2N, 2, 3N, 3, 4N and 4. ISO standards, 730* (1st ed.). Geneva, Switzerland: ISO.
- Molari, G., Mattetti, M., & Guarnieri, A. (2014). Optimal three-point hitch design to maximize lifting performance. *Transactions of ASABE*, 57(2): 371-379.

فهرست علائم

ویژگی	شرح	ویژگی	شرح
L_1	طول بازوی بالایی	(X_{LHP}, Y_{LHP})	موقعیت انتهای بازوی پایینی نسبت به مرکز چرخ عقب
L_2	طول بازوی رابط	(X_U, Y_U)	موقعیت نقطه اتصال بازوی وسط در بدنه نسبت به مرکز چرخ عقب
L_3	فاصله نقطه اتصال بازوی رابط به بازوی پایینی	(X_{UHP}, Y_{UHP})	موقعیت انتهای بازوی وسط نسبت به مرکز چرخ عقب
L_4	طول بازوی پایینی	(X_A, Y_A)	موقعیت مرکز محور گردنده هیدرولیک نسبت به مرکز چرخ عقب
L_5	طول بازوی وسط	μ	زاویه بین بازوی رابط و بازوی پایینی
M_A	مزیت مکانیکی	γ	زاویه بین بازوی بالایی و بازوی رابط
Q	حداکثر ارتفاع انتهای بازوی پایینی	(X_{VHP}, Y_{VHP})	موقعیت نقطه اتصال مجازی
O	حداقل ارتفاع انتهای بازوی پایینی	M_{LL}	شیب بازوی پایینی
(X_L, Y_L)	موقعیت نقطه اتصال بازوی پایینی در بدنه نسبت به مرکز چرخ عقب تراکتور	M_{UL}	شیب بازوی وسط
R	شعاع چرخ عقب		