شبیه‌سازی سینماتیکی اتصال سه نقطه‌ی تراکتور MF285

سحر آخ‌نیا[1*]، عارف مردانی[2]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه ارومیه

۲- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه ارومیه

* ایمیل نویسنده مسئول Saharakhniya@yahoo.com

چکیده

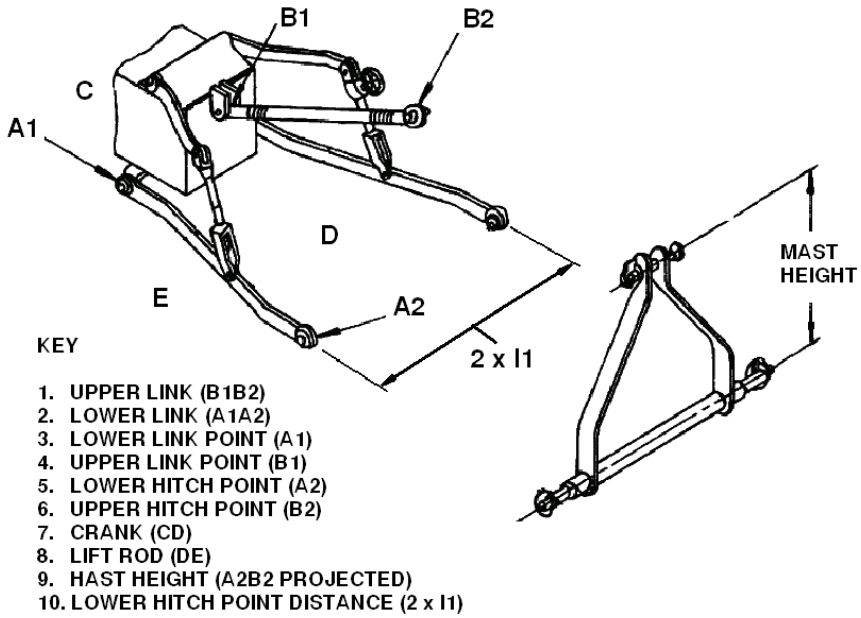
طراحی سیستم اتصال سه نقطه استفاده شده در تراکتورهای کشاورزی کاملا روند تکاملی خود را طی کرده است و توسط یک سری استانداردهای حاکم مدیریت می‌شود. آزادی در عرض استانداردها، می‌تواند برای سازمان‌دهی‌کردن عملکرد و کارایی اتصال مناسب باشد. یک اتصال سه نقطه می‌تواند مانند یک مکانیزم چهار میله‌ای در صفحه طولی و عمودی رفتار کند. در حال حاضر مسائل مشکلات ترکیبی بسیاری وجود دارد، چرا که محدودیت‌های اعمال شده به وسیله استانداردها بزرگ و پیچیده هستند. در این مقاله یک مثال که استفاده از این تکنیک را نشان دهد آورده شده است و یک دید هندسی از قیدهای اعمال شده از مکانیزم را برای مدل انتخاب شده با برجسته کردن عملکردها نشان داده است.

واژه‌های کلیدی: اتصال سه نقطه، اتصالات تراکتورهای کشاورزی، طراحی سینماتیکی، ADAMS.

مقدمه

اتصال سه نقطه به عنوان یک روش استاندارد برای اتصال ادوات به تراکتور است که برای اولین بار توسط هری فرگوسن در سال ۱۹۲۶ معرفی شد. اتصال سه نقطه از اجزای مختلف کاری متشکل از سیستم هیدرولیک تراکتور، بازوهای بلندکننده، نقاط اتصالی و تثبیت کننده‌ها ساخته شده است. یک اتصال سه نقطه از دو بازوی بلندکننده بیرونی و یک لینک مرکزی تشکیل شده است، که دو لینک بیرونی عمل بلندکردن و پایین آوردن را میسر ساخته و برای تنظیم شیب یک ادوه همچون گاوآهن استفاده می‌شود. هر دو بازوی بلندکننده توسط سیستم هیدرولیک تراکتور هدایت می‌شود. سیستم هیدرولیک توسط اپراتور کنترل شده و انواع گوناگونی از تنظیمات برای آن در دسترس است. در قسمت مرکزی عقب تراکتور لینک مرکزی قابلیت تنظیم و جابه‌جایی را دارد و معمولا به سیستم هیدرولیک تراکتور مجهز نیست. این لینک یک تنظیم دستی برای رسیدن به زاویه بهینه ادوه وصل شده به آن و تنظیمات طولی آن را دارد. سیستم اتصال سه نقطه می‌تواند همچون یک مکانیزم چهارمیله‌ای در صفحه طولی و عمودی تعریف شود (شکل ۱). این مکانیزم می‌تواند به صورت مرکب به عنوان یک مکانیزم شش‌میله‌ای و یا دو مکانیزم چهارمیله‌ای که در دو لینک با هم

مشترک هستند تعریف شود (Ambike and schmiedeler, 2007). مکانیزم چهارمیله‌ای اول مکانیزم حرکتی یا راه‌انداز سیستم اتصال نامیده می‌شود (شکل ۱). مکانیزم چهارمیله‌ای محرک شامل بازوی بالابر (CD)، میله‌ی بالابر (DE) ، لینک پایینی (A_1E) و بدنه تراکتور است و مکانیزم چهارمیله‌ای دیگر سیستم اتصال سه نقطه نامیده می‌شود که شامل لینک بالایی (B_1B_2) و دو لینک پایینی (A_1A_2) می‌باشد.



شکل ۱- اعضای سیستم اتصال سه نقطه (تطبیق یافته با استانداردهای ASAE,2001)

مزیت عمده اتصال سه نقطه، انتقال وزن و افزایش تنش برشی منجر به کشش در چرخ‌های محرک طی اتصال ادوات به تراکتور است. یک تجزیه و تحلیل سینماتیکی و دینامیکی جامع از سیستم اتصال سه نقطه توسط مورلینگ ارائه شده است (Morling, 1979). مهندسین به دنبال کنترل بهتر ادوات با کنترل سیستم اتصال سه نقطه در طول عملیات کشاورزی هستند (Cordesses *et al.*, 2002). به منظور ترکیب حرکتی مکانیزم‌های سطحی در یک سری موقعیت‌های متناهی مخصوص، از برنامه‌نویسی هندسه اتصالات (Kinzel *et al*., 2006; Ambike and schmiedeler, 2007) و این روش در تحقیق دیگری برای طراحی سینماتیکی اتصال سه نقطه استفاده شد (Ambike and schmiedeler, 2007). در تحقیقات صورت گرفته با استفاده از برنامه‌نویسی برای هندسه اتصالات سه نقطه (GCP)، به طور مؤثر از آزادی در طراحی برای ایجاد تنظیمات حرکتی که محدودیت‌های اعمال شده توسط استانداردها را تامین کرده است، بهره گرفتند و از این طریق برای دستیابی به عملکرد مورد نظر، تراکتور مناسب را طراحی کردند.

در یک کار تحقیقی از مکانیزم اتصال سه نقطه برای بهینه‌سازی توان مورد نیاز خاکورز استفاده شد (Bentaher *et al*., 2008). به منظور مطالعه و بهینه‌سازی قدرت خاکورزی، یک سیستم اندازه‌گیری نیرو با ترنسدیوسر در مکانیزم اتصال سه نقطه ساخته و

سپس کالیبره گردید. در این تحقیق یک برنامه محاسباتی دینامیکی ایجاد گردید تا تغییرات هندسه مکانیزم اتصال سه نقطه در طول عملیات خاکورزی را در نظر بگیرد. نتایج حاصل از کالیبراسیون نشان داد که یک ارتباط خطی بین نیروهای اعمال شده روی سیستم و مقادیر اندازه‌گیری شده وجود دارد. این سیستم به وجود آمده می‌تواند به آسانی برای به حداقل رساندن انرژی مصرفی طی عملیات خاکورزی مورد مطالعه قرار بگیرد.

در تحقیقاتی که در رابطه با شبیه‌سازی ریاضیاتی سینماتیک کوپلرهای اتصال سه نقطه برای تراکتورهای کشاورزی انجام شده، یک روش تحلیلی برای کوپلرهای اتصال سه نقطه استفاده شد (Padureanu and nastasoiu, 2011). یک برنامه کامپیوتری نیز برای تولید مسیر نقاط اتصال تراکتور ایجاد شده است (Kumar, 2012). در این تحقیق راه‌حل نیوتون رافسون برای مشخص‌کردن محدوده‌ی حرکتی یک بازوی بالابر و تولید مسیر حرکتی نقاط اتصال لینک‌های بالا و پایین در محدوده حرکتی آن، به کار گرفته شده بود. برنامه ایجاد شده توانایی تولید مسیر حرکت نقاط اتصالی لینک‌ها را داشت و همچنین پارامترهای عملکردی هندسی اتصال سه نقطه را مشخص کرده بود.

یک سیستم اتصال متفاوت برای بهبود ثبات تراکتور، برای تهیه‌کردن و میسرساختن ارتفاع‌های مختلف از اتصالات از ۰/۴ متر به ۰/۷ با درنظر گرفتن سیستم هیدرولیک تراکتور و با استفاده از تحلیل المان‌های محدود طراحی و توسعه داده شد (Kumar and Hifjur, 2014).

در پژوهشی برای طراحی بهینه سیستم اتصال سه نقطه در جهت افزایش راندمان بالابری روشی پیشنهاد شد. هدف از این تحقیق ارائه یک ابزار طراحی برای بهینه‌سازی اتصال سه نقطه با افزایش ظرفیت بالابری و حفظ قیدهای اعمال شده توسط استانداردها بود. این روش از یک تکنیک بهینه‌سازی روی سیستم اتصال سه نقطه استفاده می‌کند که در نتیجه آن اجازه یک نیروی حداکثر بالابری، حدودا ۲۵ درصد بیشتر از مقدار موجود را می‌دهد (Molari *et al*., 2014).

پارامترهای عملکردی هندسه سیستم اتصال سه نقطه تراکتور دو چرخ محرک هندی توسط کومار مشخص شده است (Kumar, 2015). در موقعیت‌های مختلف از نقطه اتکاء محوری لینک بالایی و پایینی و تنظیمات در طول میله بالابری سیستم اتصال سه نقطه تمامی الزامات استانداردهای اعمال شده برای دسته‌های ۱و۲ اتصال‌ها تعبیه شده است. یک دید جامع در رابطه با آنالیز حرکتی نشان داد که سیستم اتصال پیوندی تراکتور انتخاب شده مناسب‌ترین انتخاب برای عملیات با ادواتی که روی خاک کار می‌کنند می‌باشد. این پژوهش دربرگیرنده ایجاد مختصات مسیر نقاط بالایی و پایینی اتصال سه نقطه و جابه جایی بازوی بالابر تراکتور با استفاده از تجزیه و تحلیل سینماتیکی به کمک رایانه است. از سویی تعیین پارامترهای عملکردی هندسی اتصال بر اساس مختصات مسیر ایجاد شده نقاط اتصال نیز در همین راستا میسر گردید.

تحلیل سینماتیکی شامل استخراج معادلات مشخص‌کننده سرعت و شتاب هر یک از اجزای مکانیزم و سپس حل آن‌ها و بدست آوردن منحنی‌های مربوطه می‌باشد. هندسه اتصال سه نقطه از نظر سرعت عکس‌العمل سیستم در بالا و پایین رفتن دنباله‌بند با توجه به تناسب سرعت با وزن و هندسه دنباله‌بند و قابلیت مانور در عملیات زراعی اهمیت دارد. بنابراین حل سینماتیک، تعیین‌کننده سینتیک اتصال دنباله‌بند است. در تحقیق حاضر از نرم افزار تحلیل دینامیکی ADAMS برای استخراج معادلات سرعت و شتاب هر یک از نقاط سیستم اتصال سه نقطه و مسیر جابجایی مختصات مرکز ثقل ادوه متصل شده به سیستم اتصال سه نقطه تراکتور مسی فرگوسن MF285 استفاده شد. ADAMS یکی از قوی‌ترین و معروف‌ترین نرم‌افزارهای شبیه‌سازی سیستم‌های مکانیکی است. قابلیت اصلی این نرم‌افزار ایجاد نمونه‌ی آزمایشی مجازی از یک طرح می‌باشد. با بهره‌گیری از بخش‌های مختلف در نظر گرفته شده در این نرم‌افزار می‌توان با شبیه‌سازی حرکتی سیستم مکانیکی، تست سینماتیکی سیستم، تحلیل قطعات قابل انعطاف، اندازه‌گیری نیروهای وارده بر اتصالات، ارتعاشات و عمر قطعه در چرخه‌ی کاری را تعیین نموده و مکان‌دهی قطعات را به صورت بسیار دقیق انجام داد. این نرم‌افزار قابلیت ارتباط با نرم‌افزارهای تخصصی دیگر مانند، Abaqus، Catia، Matlab/Simulink و مانند آن را دارد.

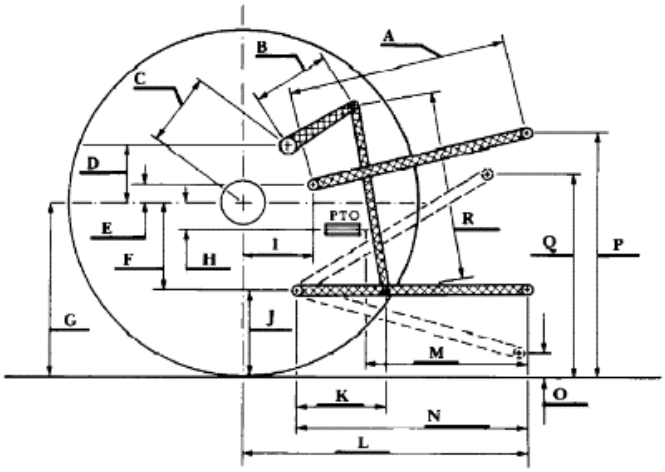
مواد و روش‌ها

باتوجه به آمارگرفته شده از کارخانه تراکتورسازی ایران، بیشترین محصول تولیدی این شرکت، تراکتور MF285 است. در کار تحقیقی حاضر از تراکتور مسی فرگوسن MF285 موجود در مرکز تست و آزمون ماشین‌های کشاورزی دانشگاه ارومیه استفاده گردید. تراکتور MF285 ساخت کارخانه‌ی تراکتورسازی ایران- تبریز دارای قدرت اسمی ۷۵ اسب بخار و وزن ۲۸۰۰ کیلوگرم است و طبق گزارشات برگرفته از استاندارد (استاندارد ماشین‌های کشاورزی- تراکتورهای چرخ‌دار- اتصال سه نقطه‌ی نصب شده در عقب)، در کاتگوری[۱] ۲ از طبقه‌بندی‌های 4، 4N، 3، 3N، 2، 2Nو 1، 1N قرار دارد (شکل ۲).

[۱] category

شکل ۲- تصویر سیستم هیدرولیک و مکانیزم اتصال سه نقطه تراکتور مسی فرگوسن MF285

با استناد به استاندارد (ASAE,2001 و استاندارد ماشین‌های کشاورزی- تراکتورهای چرخ‌دار- اتصال سه نقطه‌ی نصب شده در عقب) و اندازه‌گیری‌هایی که به طور دستی روی مکانیزم اتصال سه نقطه (شکل ۲) انجام شد، مشخصات ابعاد و الزامات سیستم برای اتصال ادوات به عقب تراکتور مزبور استخراج گردید. ابعاد تمامی لینک‌ها و موقعیت‌های مکانی تمامی اتصالات به صورت مختصات کارتزین نسبت به محور مرکزی چرخ‌های عقب تراکتور که به عنوان مبدأ سیستم مختصات در نظر گرفته شد (شکل ۳)، لحاظ گردید و در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۳- ابعاد و مختصات اتصال سه نقطه تراکتور بر حسب استانداردهای OECD/SAE

جدول ۱- ابعاد اتصال سه نقطه تراکتور مسی فرگوسن MF285

مشخصه	ابعاد اتصال سه نقطه MF285

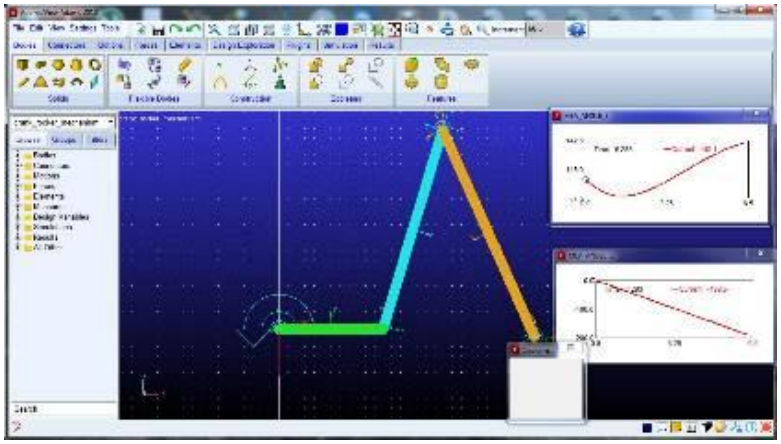
A	طول لینک بالایی	۸۰۰
B	طول بازوی بالابر	۳۰۰
C	فاصله‌ی مرکز محور تایر تا نقطه اتصال بازوی بالابر- تراکتور	۲۷۰
D	فاصله عرضی مرکز محور تایر تا نقطه اتصال بازوی بالابر- تراکتور	۲۲۰
E	فاصله عرضی محور مرکزی تایر تا نقطه اتصال لینک بالایی- تراکتور	۱۶۰
F	فاصله عرضی محور مرکزی تایر تا نقطه اتصال لینک پایینی- تراکتور	۱۹۰
G	شعاع تایر	۷۱۰
I	فاصله طولی مرکز تایر تا نقطه اتصال لینک بالایی- تراکتور	۷۳۰
J	ارتفاع نقطه‌ی اتصال بازوی پایینی- تراکتور از سطح زمین	۵۲۰
K	فاصله نقطه اتصال لینک پایینی- تراکتور تا مفصل مشترک میله رابط	۵۶۰
L	فاصله طولی مرکز محور تایر تا نقطه اتصال لینک پایینی- ادوه	۴۲۰
M	فاصله طولی مرکز محور PTO تا نقطه اتصال پایینی- ادوه	۵۵
N	طول بازوی پایینی	۱۰۳۰
O	پایین‌ترین ارتفاع نقطه اتصال پایینی- ادوه از سطح زمین	۲۷۰
P	ارتفاع نقطه اتصال بالایی- ادوه از سطح زمین	۱۲۹۰
Q	بالاترین ارتفاع نقطه اتصال پایینی- ادوه از سطح زمین	۹۵۰
R	طول میله رابط	۷۰۰

ابعاد بر حسب میلی‌متر می‌باشد.

سرعت خروجی سیستم هیدرولیک تراکتور متغیر بوده و اندازه‌گیری سرعت دورانی توسط یک روش تجربی مورد آزمایش قرار گرفت. در این روش از یک صفحه‌ی مدرج نصب شده به بدنه‌ی تراکتور و عقربه تعبیه شده در محور مرکزی دوران بازوی بالابر اتصال سه نقطه استفاده شد (شکل ۴). به این صورت که بعد از روشن کردن تراکتور و به کار انداختن سیستم هیدرولیک تراکتور توسط اهرم هیدرولیک که برای بالابردن و پایین‌آوردن بازوهای اتصال به کار می‌رود، جابه‌جایی زاویه‌ای بازوی بالابری بر حسب زمان اندازه‌گیری گردید. این آزمون در سه دور متفاوت برای ورودی سیستم هیدرولیک و در هر دور با دو بار تکرار انجام شد و در هر بار با استفاده از فیلم‌برداری بازه‌ی جابه‌جایی زاویه‌ای بر حسب زمان بدست آورده شد.

شکل ٤- اندازه‌گیری جابه‌جایی زاویه‌ای بازوی بالابر هیدرولیک تراکتور مسی فرگوسن MF285

داده‌ها با عنوان جابه‌جایی زاویه ای (θ) و مدت زمان (t) بالارفتن سیستم هیدرولیک، به نرم‌افزار اکسل وارد شده و نمودار جابه‌جایی بر حسب زمان برای هر سه آزمون رسم گردید. از آنجاییکه طبق قوانین حاکم بر نمودارهای جابه‌جایی زاویه‌ای بر حسب زمان، شیب نمودار جابه‌جایی زاویه‌ای-زمان برابر سرعت دورانی و شیب نمودار سرعت زاویه‌ای- زمان مقدار شتاب زاویه‌ای را مشخص می‌کنند، شیب نمودار زاویه- زمان برای هر سه آزمون استخراج گردید. تمامی داده‌ها و پارامترهای محاسبه شده برای شبیه‌سازی مکانیزم اتصال سه نقطه به نرم‌افزار تحلیل دینامیکی ADAMS-2012 وارد شد (شکل ۵).



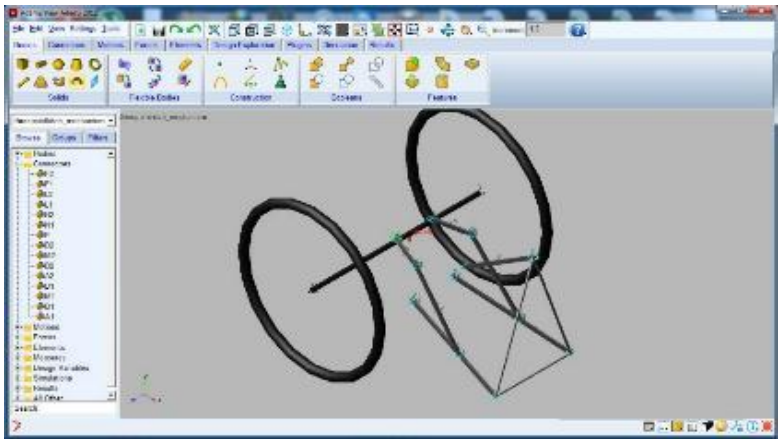
شکل ٥- نمایی از محیط طراحی نرم‌افزار Adams/Viwe-2012

از آنجاییکه مکانیزم اتصال به صورت یک مکانیزم چهارمیله‌ای است می‌توان آن را در نرم‌افزار با استفاده از قابلیت‌های طراحی تعبیه شده در یکی از محیط‌های نرم‌افزار Adams (Adams-view)، با استفاده از ابزارهای نقطه و لینک طراحی کرده و از لحاظ سینماتیکی مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. بعد از شبیه‌سازی و طراحی مکانیزم اتصال و اعمال قیدها سرعت ورودی مکانیزم به

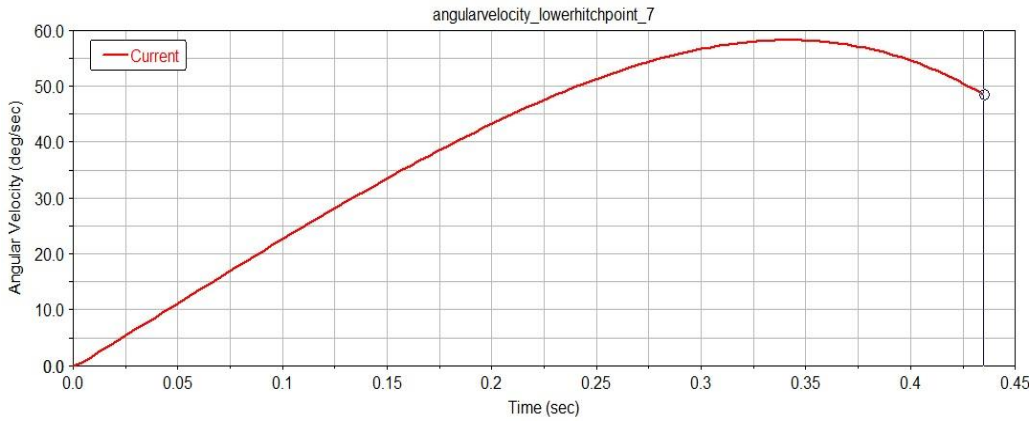
صورت رابطه‌ی جابه‌جایی–زمان به مکانیزم اعمال گردید و پارامترهای سرعت و شتاب زاویه‌ای خروجی مکانیزم مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مشاهدات و نتایج نرم‌افزار با فرمت JPG ذخیره شده و مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت.

بحث و نتایج

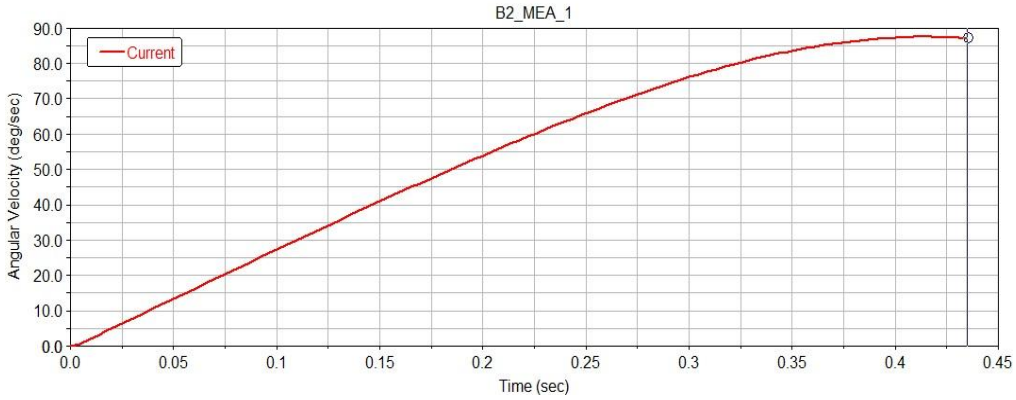
پس از تحلیل شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار و اعمال سرعت زاویه‌ای متغیر توسط سیستم هیدرولیک، مقدار جابه‌جایی زاویه‌ای طی شده توسط بازوی بالابر هیدرولیکی اندازه‌گیری شده و مکانیزم راه‌اندازی گردید (شکل ۶). تحلیل سینماتیکی توسط نرم‌افزار انجام شده و مقادیر سرعت، شتاب و جابه جایی زاویه‌ای بر حسب پارامتر زمان هر سه نقطه اتصال سه نقطه استخراج گردیده و مورد بررسی قرار گرفت (شکل‌های ۷ تا ۱۰).



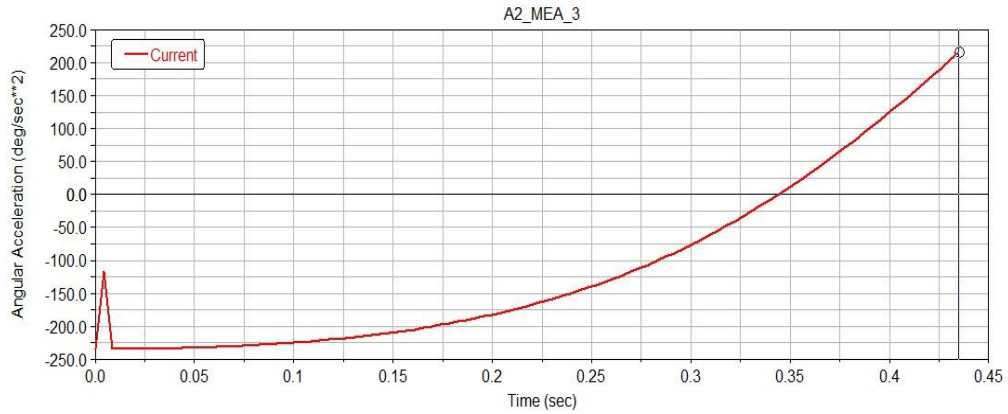
شکل ٦- نمایی از شبیه‌سازی مکانیزم در نرم‌افزار Adams



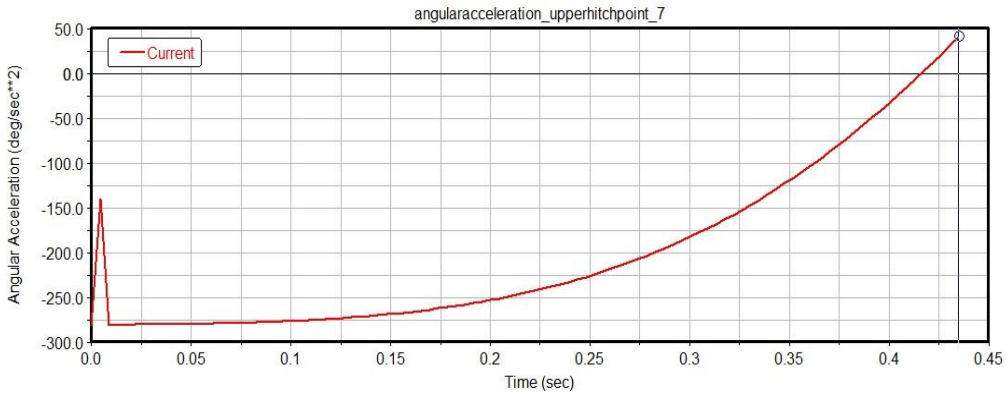
شکل ۷- تحلیل سرعت زاویه‌ای اتصالات تحتانی تراکتور طی راه اندازی سیستم هیدرولیک



شکل ۸- تحلیل سرعت زاویه‌ای ساق وسط تراکتور طی راه اندازی سیستم هیدرولیک



شکل ۹- تحلیل شتاب زاویه‌ای اتصالات تحتانی تراکتور طی راه اندازی سیستم هیدرولیک

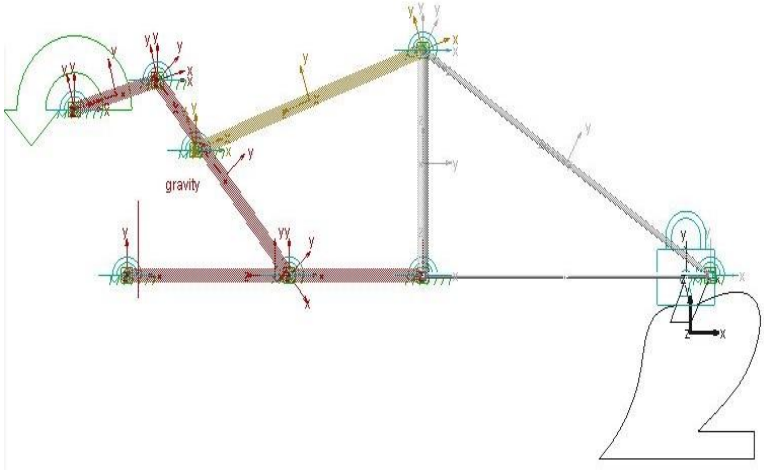


شکل ۱۰- تحلیل شتاب زاویه‌ای ساق وسط تراکتور طی راه اندازی سیستم هیدرولیک

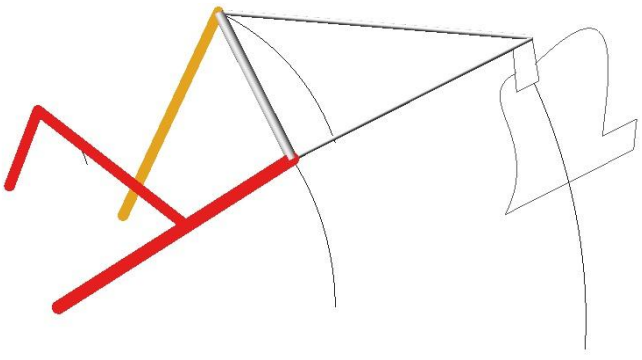
نتایج تحلیل مدل اتصال سه نقطه در قالب سرعت و شتاب بازوهای تحتانی و ساق وسط نشان دهنده تغییرات در ابتدا با شیب ملایم و سپس تند کمیت های سرعت و شتاب است. بدیهی است که سرعت سر این سه اتصال و همپنین شتاب آنها نیز متاثر از همین تغییرات سرعت و شتاب زاویه ای است. آنچه که در نهایت می‌تواند به عنون مزیت تحلیل سینماتیک اتصال سه نقطه مطرح

گردد بررسی وضعیت سینماتیک دنباله بند است که با توجه به اینکه دنباله بند در سه نقطه با سر سه اتصال دارای نقاط مشترک است از این رو می‌توان به تحلیل وضعیت دنباله بند نیز دست یافت.

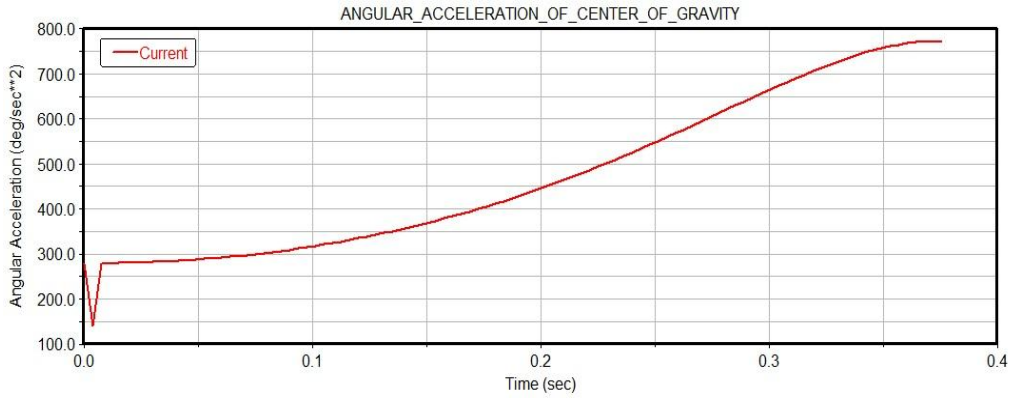
در این تحقیق به صورت موردی به تحلیل وضعیت سینماتیکی مرکز ثقل یک گاوآهن برگرداندار یونیورسال ساخت کارخانه مشهد پرداخته شده است. در همین راستا موقعیت هندسی مرکز ثقل این گاوآهن در قالب نقطه‌ای از یک جسم صلب فاقد جرم و اینرسی در اتصال مفصلی با سر سه اتصال تراکتور در نظر گرفته شده است و مکانیزم مرکب اتصال سه نقطه- دنباله بند در محیط نرم افزار تحلیل شده است (شکل ۱۱). شکل ۱۲ مسیر جابجایی مرکز ثقل گاوآهن را نشان داده است. این تحلیل را می‌توان در مورد هر نقطه دلخواهی از دنباله بند نیز تکرار کرد. شکل های ۱۳ و ۱۴ نیز تغییرات سرعت و شتاب نقطه مرکز ثقل گاوآهن را نمایش داده است.



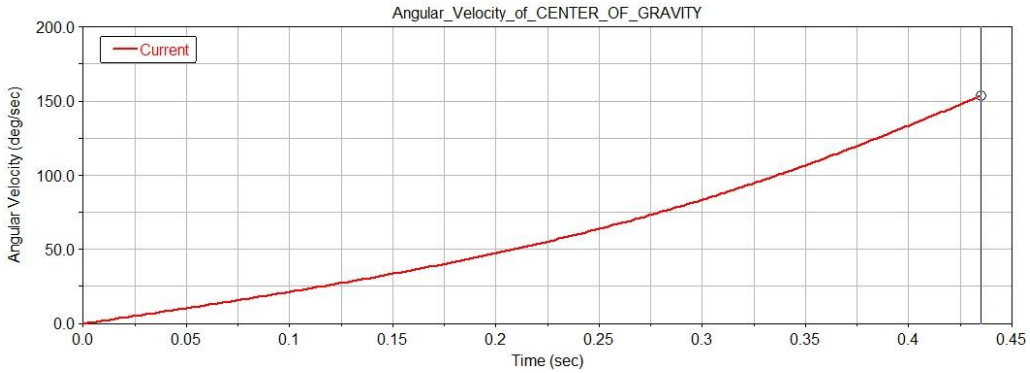
شکل ۱۱- مکانیزم مرکب اتصال سه نقطه- دنباله بند در محیط نرم افزار



شکل ۱۲- مسیر جابجایی مرکز ثقل گاوآهن طی بالا آمدن اتصال سه نقطه تراکتور



شکل ۱۳- شتاب مرکز ثقل گاوآهن طی بالا آمدن اتصال سه نقطه تراکتور



شکل ١٤- سرعت مرکز ثقل گاوآهن طی بالا آمدن اتصال سه نقطه تراکتور

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی سینماتیک اتصال سه نقطه تراکتور مسی فرگوسن مدل ۲۸۵ پرداخته شده است. بر اساس مدل‌سازی مکانیزم مرکب اتصالات تراکتور در محیط نرم افزار ADAMS تحلیل سرعت و شتاب اتصالات سه گانه تراکتور میسر شده است. بر همین اساس تحلیل وضعیت نقاط دلخواه از دنباله بند متصل به تراکتور نیز مقدور خواهد بود که این موضوع در رابطه با تحلیل سینتیکی و دیاگرام بارهای دینامیکی وارده بر تراکتور و دنباله بند نیز حائز اهمیت است.

منابع

استاندارد ملی ایران (ISIRI)، سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران- ماشین‌های کشاورزی- تراکتورهای چرخ‌دار- اتصال سه نقطه‌ای نصب شده در عقب- طبقه‌بندی‌های 1,1N,2,2N,3,3N,4,4N

Ambike, S. S., and Schmiedeler, J. P. 2007. Application of geometric constraint programming to the kinematic design of three-point hitches. Applied Engineering in Agriculture, 23: 13–21.

ASAE Standards. 2003. S278.7. Agricultural tractors and implements - Three-point hitch couplers - Part 1: U-frame coupler. St. Joseph, Mich.: ASAE.

ASAE Standards. 2001. S217.12. Three-point free link attachment for hitching implements to agricultural wheel tractors. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Bentaher, H., Hamza, E., Kantchev, G., Maalej, A., and Arnold, W. 2008. Three-point hitch mechanism instrumentation for tillage power optimization. Biosystems engineering, 100: 24-30.

Cordesses, L., Poirier, J. P., and Veron, C. 2002. Performance analysis of a three-point hitch controller. In Proc. IEEE/RSJ Intl. Conf. Intelligent Robots Syst., 2233-2238.

Kinzel, E. C., Schmiedeler, J. P., and Pennock, G. R. 2006. Kinematic synthesis for finitely separated positions using geometric constraint programming. ASME J. Mech. Design 128(5): 1070-1079.

Kumar, G. V. P. 2012. Development of a computer program for the path generation of tractor hitch points, Biosystems engineering. 113:272-283.

Kumar, G. V. P. 2015. Geometric performance parameters of three-point hitch linkage system of a 2WD Indian tractor, Res. Agr. Eng. 61(1): 47–53.

Kumar, R., and Hifjur, R. 2014. Design and development of a variable hitching system for improving stability of tractor trailer combination. In; engineering agriculture, environment food xxx, 21 Dec, 1-8.

Molari, G., Mattetti, M., and Guarnieri, A. 2014. Optimal three-point hitch design to maximize lifting performance. Transactions of the ASABE. 57(2): 371-379.

Morling, R. W. 1979. Agricultural tractor hitches, analysis of design requirements. In ASAE Distinguished Lecture Series - Tractor design No. 5. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Padureanu, V., and Nastasoiu, M., 2011. Researches regarding the mathematical simulation of kinetostatics of the three-point hitch couplers used to agricultural tractors. The 4th international conference “computational mechanics and virtual engineering”. October 20-22.