



## تحلیل تنش مالبنده متحرک تراکتور به روش المان محدود (FEM)

احمد جهان بخشی<sup>۱\*</sup>، کامران خیرعلی پور<sup>۲</sup>، سعدی حیدری رزدره<sup>۳</sup>، بهنام تجری<sup>۴</sup>

۱، ۳ و ۴- دانشجویان کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ایلام

۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ایلام

\*نویسنده مسئول: ahmad.jahanbakhshi67@gmail.com

### چکیده

روش المان محدود امکان تشخیص نقاط بحرانی را به نحوی دقیق و صحیح فراهم می‌سازد. با توجه به شکست‌های مکرر پین مالبنده متحرک در حین کار، در این تحقیق به تحلیل تنش این مالبنده به روش المان محدود (FEM) در حین کشش با حداکثر نیروی کششی تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ پرداخته شد. شبیه‌سازی قطعه در نرم‌افزار سالیدورکس و فراخوانی آن در نرم‌افزار انسیس صورت گرفت. سپس قیود و شرایط مرزی اعمال و قطعه تحت بارگذاری قرار گرفت. بیشترین تنش ایستایی بر اساس معیار وان-میسز در نقطه اتصال پین سمت راست و چپ در گره‌های ۳۷۰ و ۱۸۰۲ به ترتیب برابر با ۱۲۸/۰۰ و ۹۹/۴ مگا پاسکال بدست آمد. مقدار ضریب اطمینان بدست آمده برای نقطه اتصال پین سمت راست و چپ مالبنده به ترتیب برابر ۱/۸۳ و ۲/۳۶ بوده که نشان می‌دهد احتمال وقوع شکستن یا ترک خوردن در نقطه اتصال پین سمت راست بالاتر است. برای جلوگیری از شکست پین نیاز است ضریب اطمینان این دو قسمت افزایش یابد. با صرف‌نظر از محل پین‌ها در مالبنده، محدوده تنش‌ها در نقاط دیگر نشان‌دهنده ضریب اطمینان بالای این قطعه در برابر نیروهای وارد بر آن است. حداکثر تغییر شکل در مالبنده مورد مطالعه برابر با  $0.793 \times 10^{-4}$  میلی‌متر بدست آمد که این تغییر شکل در مرکز مالبنده و در خلاف جهت کشش تراکتور بر روی مالبنده حادث شد. نتایج فوق و همچنین سایر نتایج حاصله از تحقیق حاضر در فرآیند بهینه‌سازی طراحی مالبنده متحرک مفید می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مالبنده متحرک، تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹، شبیه‌سازی، المان محدود.



## مقدمه

استفاده از روش المان محدود در آنالیز و بررسی قطعات مکانیکی بسیار سریع و دقیق می‌باشد، که در اکثر شاخه‌های مهندسی کاربرد دارد. توسط روش المان محدود مفاهیم متعددی از ریاضیات با هم پیوند خورده تا دسته‌ای از معادلات خطی یا غیرخطی ایجاد شوند. این معادلات که تعداد آن‌ها گاه از ۲۰ میلیون معادله فراتر می‌رود، به توان محاسبه رایانه‌ای نیاز دارند. روش المان محدود پایه و مبنای بسیاری از طراحی‌ها به کمک رایانه است. امروزه با به کارگیری فنون طراحی به کمک رایانه می‌توان به مطالعه عواملی از قبیل نیروها، تنش‌ها، تغییر شکل و بهینه‌سازی شکل قطعات پرداخت و عملکرد سازه تحت بارهای استاتیکی را بسیار کارآمدتر و سریع‌تر از گذشته بهینه‌سازی و تحلیل نمود (بشارتی گیوی، ۱۳۸۵). استفاده از روش المان محدود برای محاسبه تنش - کرنش و تغییر شکل قطعه یک روش نسبتاً جدید می‌باشد. در مقایسه با دیگر روش‌ها، این روش مزایای زیادی دارد. به عنوان مثال با استفاده از این روش می‌توان توزیع تنش - کرنش را در تمام قطعه بدست آورد. که این امر امکان تشخیص تمام نقاط بحرانی و غیربحرانی را به نحو معتبر و کارایی فراهم می‌سازد. بهینه‌سازی در برابر خستگی با استفاده از این روش می‌تواند به سرعت، به آسانی و با تغییر خصوصیات مؤثری مانند جنس ماده مورد استفاده، شرایط سطح و غیره انجام گیرد. استفاده از این روش منجر به تحلیل در یک محیط مجازی و بدون نیاز به یک مدل فیزیکی می‌شود (میره‌ای و همکاران، ۱۳۸۵). در تحقیقی به تحلیل خستگی شاتون تراکتور یونیورسال مدل U650 به روش المان محدود با استفاده از نرم‌افزار ANSYS جهت بررسی رفتار شاتون در برابر پدیده خستگی پرداخته شد. نتایج این تحقیق نشان داد که بحرانی‌ترین محل در نزدیک گژن پین با حداکثر تنش ۲۶/۷۹۳ مگا پاسکال می‌باشد (میره‌ای و همکاران، ۱۳۸۵). در تحقیقی به شبیه‌سازی و تحلیل استاتیکی و بررسی رفتار ماده تشکیل دهنده سه نوع ساقه L شکل، مایل و انحنادار (C شکل)، زیرشکن با استفاده از نرم‌افزار سالدورکس و انسیس پرداخته شد. نتایج تحلیل استاتیکی برای هر سه نوع ساقه نشان داد که بیشترین تنش در محل اتصال ساقه‌ها به شاسی می‌باشد (نعیمی و همکاران، ۱۳۸۹). شبیه‌سازی و تحلیل مکانیکی یک گاواهن برگردان‌دار به روش المان محدود با استفاده از نرم‌افزار آنسیس مورد بررسی قرار گرفت. آن‌ها پس از ساختن مدل سه‌بعدی یک خیش مشتمل بر تیغه، صفحه برگردان، کفش، ساقه و اتصالات با اعمال شرایط مرزی مقتضی به بارگذاری آن پرداخته شد. بارگذاری مدل را برای حالت بیشینه بارهای ممکنه، پیش‌بینی و اعمال نموده و تحلیل‌های مکانیکی مدل را نیز در دو حالت خطی و غیرخطی انجام دادند (مردانی کرانی و همکاران، ۱۳۸۱). در تحقیقی به بررسی رفتار ساقه چپزل هنگام کار در عمق زیاد در نرم‌افزار ANSYS پرداخته شد که نتایج نشان داد ساقه فنری با توجه به توانایی تحمل جابه‌جایی و تنش زیاد بهترین نوع ساقه برای کار کردن در عمق زیاد می‌باشد (خلیل وندی بهروزیار و نوید، ۱۳۹۲). یک تیغه زیرشکن را در خاک شنی - لومی غیرهمگن با روش المان محدود مورد تحلیل قرار دادند و نتایج این روش را با نتایج حاصل از زیرشکن در خاک مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که روش المان محدود روشی مناسب برای مدل کردن و تحلیل ابزار در خاک می‌باشد (موزن و نمینی، ۱۹۹۹).



تحلیل دینامیکی برای انتخاب بهترین شکل زیرشکن با استفاده از نرم‌افزار آنسیس در تحقیقی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که زیرشکن C شکل بیشترین ضریب اطمینان را در برابر خستگی دارد (ملازاده و همکاران، ۲۰۱۰).

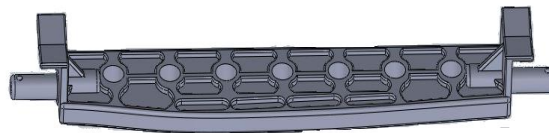
با توجه به شکست پین از محل اتصال آن به مالبند متحرک تراکتور (شکل ۱)، هدف از این تحقیق تحلیل تنش استاتیکی مالبند متحرک تراکتور به روش المان محدود می‌باشد. با استفاده از نتایج تحقیق می‌توان، در خصوص ضرورت بهینه‌سازی، استحکام و رفتار مکانیکی مالبند متحرک تراکتور اظهار نظر نمود.



شکل ۱- مالبند متحرک تراکتور.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق ابتدا ابعاد و اندازه‌های مالبند متحرک تراکتور مشخص گردید. سپس با ابعاد و اندازه‌های بدست آمده از مالبند مورد نظر، در نرم‌افزار Solid Works 2013 به صورت سه‌بعدی شبیه‌سازی گردید (شکل ۲).



شکل ۲- مالبند متحرک طراحی شده در نرم‌افزار Solid Works 2013.

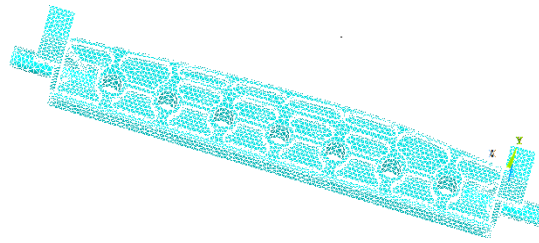
سپس فایل شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار سالیدورکس، در نرم‌افزار ANSYS 15 که یک نرم‌افزار قوی در زمینه تحلیل به روش المان محدود می‌باشد، فراخوانی گردید. جنس قطعه از فولاد (St 37) در نظر گرفته شده که خصوصیات مکانیکی آن در جدول (۱) آورده شده است (نعیمی و همکاران، ۱۳۸۹؛ واحدیان ۱۳۷۴).



جدول ۱- مشخصات ماده فولاد به کار رفته (St 37).

نسبت پواسن	مدول یانگ (Gpa)	تنش تسلیم (Mpa)	تنش نهایی (Mpa)	چگالی (kg/m3)
۰/۳	۲۰۰	۱۹۸	۲۳۵	۷۸۶۰

المان مدل از نوع solid>>10 node 187 در نظر گرفته شد. المان موردنظر سه‌بعدی و هشت گرهی می‌باشد که هر گره دارای سه درجه آزادی است. مدل طوری مش‌بندی شد که تعداد ۱۱۲۶ گره و ۷۱۸۹۹ نود در آن ایجاد گردید. مش بندی به صورت آزاد انجام پذیرفت (شکل ۳). سپس اعمال قیود در دو سر پین انجام گرفت.



شکل ۳- مدل مش‌بندی شده در نرم‌افزار ANSYS.

مالبند متحرک به دو بازوی تحتانی تراکتور متصل و در حین کار مورد کشش قرار می‌گیرد. بنابراین نیروی موردنظر موازی با جهت حرکت تراکتور (X) به صورت کششی در وسط مالبند اعمال گردید. برای در نظر گرفتن نیروی وارده بر مالبند، از حداکثر نیروی کششی تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ با مشخصات موجود در جدول (۲)، با صرف نظر از نیروی عمودی از طرف ادوات، استفاده شد. چون مقدار نیروی عمودی وارده بر مالبند از طرف ادوات مختلف متفاوت می‌باشد، بنابراین از اعمال این نیرو به مالبند صرفه نظر گردید. سپس مالبند موردنظر در نرم‌افزار انسیس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.



جدول ۲- مشخصات فنی تراکتور استفاده شده در تحقیق.

مشخصات	مقدار
مدل تراکتور	MF399
شرکت سازنده	تراکتورسازی ایران
تعداد دنده	۱۲f، ۴R
تعداد سیلندر	۶
وزن (Kg)	۳۵۸۶
حداکثر نیروی کششی (KN)	۶۸/۴
توان (hp)	۱۱۰

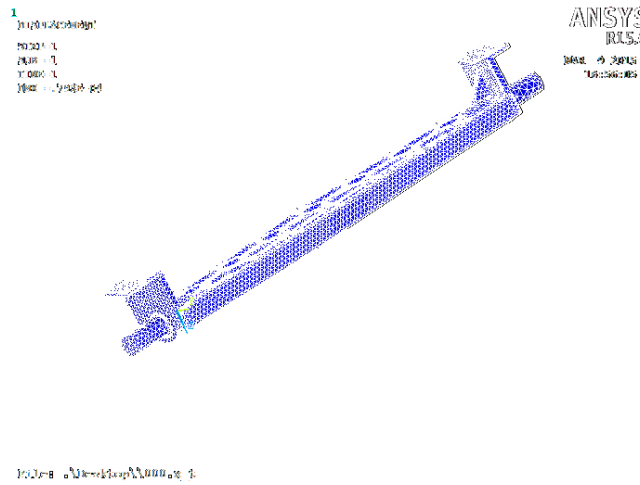
در تحلیل استاتیکی، بار بر روی گره مرکزی واقع بر مالبند متحرک اعمال شد و پس از انجام تحلیل مقادیر تنش‌های وارده بر مالبند بر اساس تئوری وان-مسیز بدست آمد. برای جلوگیری از شکست قطعات حداکثر تنش بدست آمده در اثر اعمال نیرو نباید از تنش نهایی مواد تجاوز کند. ضریب اطمینان در تحلیل استاتیکی از نسبت تنش تسلیم به تنش مجاز یا حداکثر، وارد بر قطعه بدست می‌آید. بسته به جنس قطعه موردنظر، تنش نهایی نیز می‌تواند مدنظر قرار گیرد. ضریب اطمینان در یک طراحی صحیح همواره عددی بزرگتر از یک در نظر گرفته می‌شود که سازه موردنظر بتواند تحت شرایط بارگذاری غیرعادی به صورت سالم باقی‌مانده و کارکرد خود را حفظ نماید. لذا از رابطه (۱) ضریب اطمینان بدست آمد (واحدیان، ۱۳۷۴).

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma_{all}} \quad (1)$$

که در آن  $n$ ، ضریب اطمینان،  $\sigma_y$ ، تنش تسلیم و  $\sigma_{all}$ ، تنش مجاز می‌باشد.

## نتایج و بحث

میزان تغییر شکل مالبند متحرک بر اثر نیروی وارده در شکل (۴) مشاهده می‌شود. حداکثر تغییر شکل در مالبند مورد مطالعه برابر با  $0.793 \times 10^{-4}$  میلی‌متر بدست آمد، که این تغییر شکل ناشی از حداکثر نیروی کششی تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ حین کشیدن ماشین‌ها و ادوات مختلف کشاورزی می‌باشد. این تغییر شکل در مرکز مالبند و در خلاف جهت کشش تراکتور بر روی مالبند رخ داده است.

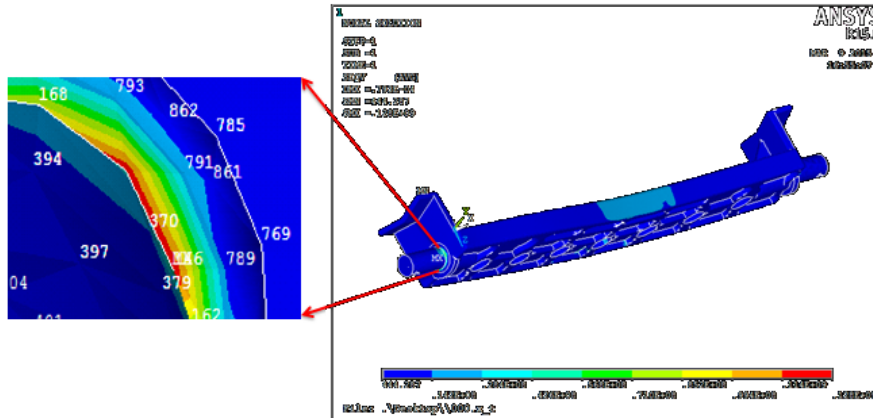


شکل ۴- نمایی از تغییر شکل مالبند متحرک.

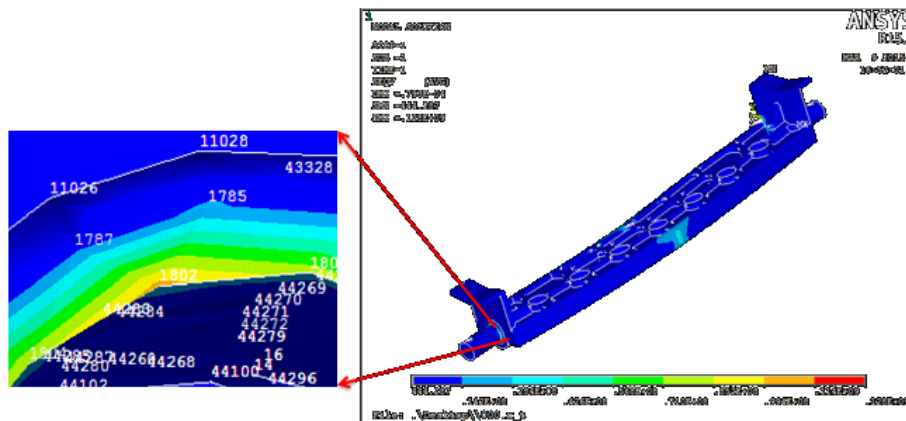
توزیع تنش بر اساس معیار وان-مسیز در مالبند متحرک در شکل‌های (۵) و (۶) آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار تنش در نقطه اتصال پین‌ها با مالبند متحرک اتفاق افتاده است. در شکل (۵) بیشترین تنش در نقطه اتصال پین سمت راست نشان داده شده است که برابر با ۱۲۸ مگا پاسکال بوده و در گره ۳۷۰ رخ داده است. بیشترین تنش در نقطه اتصال پین سمت چپ که در شکل (۶) نشان داده شده است برابر ۹۹/۴ مگا پاسکال بوده و در گره ۱۸۰۲ این اتفاق رخ داده است. بیشترین تنش در سرتاسر مالبند متحرک بر اساس معیار وان-مسیز، در نقطه اتصال پین سمت راست رخ داده و لذا احتمال شکستن پین سمت راست بیشتر می‌باشد. با استفاده از معادله (۱) و همچنین با توجه به حداکثر تنش در پین‌های سمت راست و چپ، ضریب اطمینان پین‌های دو طرف به ترتیب برابر ۱/۸۳ و ۲/۳۶ بدست آمد. این نشان می‌دهد که احتمال شکست پین سمت راست بیشتر از پین سمت چپ می‌باشد. بهتر است ضریب اطمینان بیشتر از ۳ باشد (بی نام، A). با صرف نظر از پین‌ها، محدوده تنش‌های آبی رنگ در نقاط دیگر مالبند نشان دهنده ضریب اطمینان بالای این قطعه در برابر نیروهای وارد بر آن است. ولی در محل اتصال آن به پین‌ها تنش‌های بیشتری مشاهده می‌شود که دارای ضریب اطمینانی بیشتر از یک است. ولی پیشنهاد می‌شود که این قسمت از مالبند برای جلوگیری از شکست به خاطر بارهای ناگهانی، برای حصول ضریب اطمینان بالاتر، به مصالح محکم‌تر یا قطعات با ابعاد بزرگتر مجهز شود. همچنین یکی دیگر از راه‌های بهینه‌سازی مالبند متحرک کاهش ضریب تمرکز تنش در نواحی با حداکثر تنش است. در تحقیقات مشابهی مراد خانی و همکاران (۱۳۹۲) به تحلیل بازوهای رابط اتصال سه نقطه تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ به روش المان محدود پرداختند. نتایج تحلیلی استاتیکی



نیروی وارد شده بر بازوهای رابط تراکتور نشان داد که حداکثر تنش برای متوسط بارگذاری‌ها در محل سوراخ‌های اتصال بازوهای بالابرنده به بازوهای پایینی اتصال سه نقطه بدست آمد.



شکل ۵- تنش در پین سمت راست مالبند محرک.



شکل ۶- تنش در پین سمت چپ مالبند محرک.

### نتیجه گیری

روش المان محدود و نرم‌افزار انسیس برای تحلیل توزیع تنش و کرنش در قطعات مختلف ابزار توانایی است. با بررسی نیروی استاتیکی وارده به مالبند متحرک حداکثر مقدار تنش بر اساس معیار وان-مسیز در نقاط اتصال دو پین به مالبند اتفاق می‌افتد که به ترتیب برای پین سمت راست و چپ  $128/00$  و  $99/4$  مگا پاسکال بدست آمد. همچنین



ماکزیمم تغییر شکل در محل مرکز مالبند و در خلاف جهت کشش تراکتور بر روی مالبند حادث شد. ضریب اطمینان بدست آمده از تحلیل استاتیکی برای نقطه اتصال بین سمت راست کمتر از بین سمت چپ بوده و این ضریب اطمینان به ترتیب برای بین سمت راست و چپ  $1/83$  و  $2/36$  می‌باشد. با توجه به این نتایج، احتمال شکست بین سمت راست به دلیل ضریب اطمینان کمتر بیشتر می‌باشد. لذا پیشنهاد می‌شود برای جلوگیری از شکستن بین‌ها استحکام این نواحی را بیشتر، یا با افزایش سطح مقطع در این ناحیه‌ها ضریب اطمینان را افزایش داد یا تمرکز تنش را کاهش داد. همچنین پیشنهاد می‌شود که جهت رسیدن به نتایج مطلوب‌تر تحلیل تنش در بارهای ضربه‌ای نیز برای مالبند متحرک انجام شود.

## منابع

۱. بشارتی گیوی، م.ک. ۱۳۸۵. مهندسی تولید و فناوری، جلد ۱، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران.
۲. خلیل‌وندی بهروزیار، س. نوید، ح. ۱۳۹۲. بررسی رفتار ساقه چیزل هنگام کار در عمق زیاد به روش اجزای محدود، مجموعه مقالات ششمین همایش یافته‌های پژوهشی کشاورزی، دانشگاه کردستان.
۳. مرادخانی، خ. جوادی کیا، پ. بهرامی، م. بگونند، ا. ۱۳۹۲. تحلیل بازوهای رابط اتصال سه نقطه تراکتور ۲۸۵ به روش المان محدود با ANSYS 14.0، مجموعه مقالات ششمین همایش یافته‌های پژوهشی کشاورزی، دانشگاه کردستان.
۴. مردانی کرانی، ع. کماریزاده، م. ح. مطلق، م. ۱۳۸۱. کاربرد روش المان محدود (FEM) و شبیه‌سازی کامپیوتری توسط ANSYS در آنالیز مکانیکی ساقه یک گاواهن برگرداندار، مجموعه مقالات دومین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون (کرج).
۵. میره‌ای، س. ا. امید، م. جعفری، ع. ۱۳۸۵. تحلیل خستگی در شاتون تراکتور یونیورسال مدل U650 به روش المان محدود با استفاده از نرم‌افزار ANSYS، مجله یافته‌های نوین کشاورزی، سال اول، شماره ۱.
۶. نعیمی، م. حسین پور، ع. ا. عمادی، ب. ۱۳۸۹. شبیه‌سازی و تحلیل استاتیکی سه نوع ساقه زیرشکن در خاک‌های مختلف به روش اجزاء محدود، مجموعه مقالات ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (کرج).
۷. واحدیان، ا. ۱۳۷۴. مقاومت مصالح (تألیف: فردیناند بیر و راسل جانستون)، ویرایش سوم، نشر علوم دانشگاهی، ۵۲۹-۵۳۱ صفحه.

8. Anonymous.  
<http://photos.state.gov/libraries/adana/5/SYE70013R0286/COMMERCIAL%20ITEM%20DESCRIPTION.pdf>

9. Mouazen, A. M. & Nemenyi, M. 1999. Finite Element Analysis of Subsoil cutting in Non-Homogeneous Sandy Loam Soil. Journal of Soil and Tillage Research. vol51. 1-15.

10. Mollazade, K. Jafari, A. & Ebrahimi, E. 2010. Application of Dynamical Analysis to Choose Best Subsoiler's Shape using ANSYS. New York Science Journal, 3(3): 93-100.





## Stress analysis of the tractor supplemental drawbar by finite element method (FEM)

### Abstract

Finite element method allows precise and accurate detection of all critical points. Considering the breaking of the linkage area between the pins and supplemental drawbar, the stress analysis of the drawbar using finite element method (FEM) with the maximum draft of Massey Ferguson 399 tractor was conducted in this research. Simulation of the drawbar was done in SolidWorks Software and transported to ANSYS Software. Then constraints and boundary conditions were applied to the model. The maximum static stress based on Van-Mises criteria in the connecting area of right left and pin at node 370 and 1802 was 128.0 and 99/4 MPa, respectively. The safety factor obtained for the right and left points as 1/83 and 2/36, respectively. This result indicates that the probability of breaking or cracking in the right pin is higher than another. To avoid any breaking in the drawbar, the safety factor of these areas should be increased. Except for the pins connecting points, the safety of the different area of the drawbar was high. The maximum deformation of the studied drawbar was achieved to  $0.793 \times 10^{-4}$  mm. This deformation was obtained in the center of the drawbar and against than the direction of tractor draft. The above results and also other results of the present research can be useful in the process of design optimization drawbar.

**Keywords:** Tractor supplemental drawbar, Massey Ferguson 399, Simulation, Finite element method.