نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ – کرج

تحلیل تنش ایستایی در میله عرضی گاوآهن برگردان دار به روش اجزاء محدود

سعدی حیدری رزدره[1*] ، کامران خیرعلی پور[2] ، بهنام تجری[1]

۱- دانشجویان کارشناسی ارشد، مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام

۲- استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام

نویسنده مسئول: Saadi.dorfak@yahoo.com

چکیده

با توجه به شکست پین‌های میله عرضی گاوآهن برگرداندار در حین کار، تحلیل تنش آن به روش اجزاء محدود در این پژوهش مد نظر قرار گرفت. پس از طراحی مدل سه‌بعدی قطعه در نرم‌افزار سالیدورکس و انتقال آن به نرم‌افزار انسیس، قیود و شرایط مرزی اعمال و قطعه تحت بارگذاری قرار گرفت. برای در نظر گرفتن نیروهای وارده از حداکثر توان کششی تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ استفاده شد. بیش‌ترین تنش ایستایی بر اساس معیار وان- میسز در نقطه اتصال پین سمت چپ و راست در گره‌های ۱۷ و ۳۹۰ به ترتیب ۷۹/۴ و ۵۲/۹ مگاپاسکال بدست آمد. مقدار ضریب اطمینان بدست آمده برای نقطه اتصال پین سمت چپ و راست به میله عرضی به ترتیب برابر ۲/۴۹ و ۳/۸۰ بوده که نشان می‌دهد احتمال وقوع شکست در نقطه اتصال پین سمت چپ بالاتر است.

کلیدواژه: تحلیل اجزاء محدود، تنش، گاوآهن برگردان‌دار، میله عرضی.

مقدمه

تلاش پیوسته مهندسان در جهت بهینه‌سازی ماشین‌های کشاورزی از جمله ماشین‌های خاک‌ورزی و نیز محافظت از خاک‌های زراعی منجر به پژوهش‌ها و مطالعات زیادی شده است که در این باره توجه و اهتمام به همه جنبه‌های درگیر با مسئله مورد نظر ضروری می‌باشد. در این خصوص، از جمله می‌توان به رفتار مکانیکی و دقت در طراحی ابزار اشاره کرد که توجه در این امر نه تنها باعث دوام و بهبود کیفیت ابزار می‌شود بلکه باعث تغییرات بسیاری از عوامل درگیر با کشاورزی در جهت بهبود عملکرد نیز خواهد شد(رفیعی، ۱۳۸۳). ادوات برش، خردکننده و بر گرداننده‌ی خاک، مانند تیلرهای دوار، گاوآهن‌های برگردان‌دار و زیرشکن‌ها جزء ادوات اصلی عملیات خاک-ورزی به حساب می‌آیند. این ادوات بیش‌ترین مصرف انرژی را در بین ادوات کشاورزی به خود اختصاص می-دهند. از طرف دیگر، فرآیند ساخت و آزمایش این ادوات هزینه‌بر می‌باشد. بنابراین بهینه‌سازی طراحی آن‌ها یکی از عوامل مهم در زمینه‌ی کاهش هزینه‌های مربوط به ساخت، آزمایش و استفاده از آن‌ها در بخش کشاورزی است(ژی جون و همکاران، ۲۰۰۹). در اکثر کشورها، گاوآهن برگردان‌دار به عنوان اصلی‌ترین وسیله خاک‌ورز کاربرد فراوانی دارد(اشرفی زاده و همکاران، ۲۰۰۳). در کشور ما نیز این وسیله پرکاربردترین وسیله در بین دیگر ادوات خاک-ورزی می‌باشد. شکل پیچیده و عمق کارهای مختلف این نوع گاوآهن‌ها موجب شکست قسمت‌های مختلف آن‌ها در حین کار می‌گردد. یکی از اجزاء حساس گاوآهن میله عرضی آن می‌باشد که هنگام کار تحت کشش قرار می‌گیرد و در معرض شکست قرار می‌گیرد. شکست میله عرضی، موجب اتلاف وقت و هزینه اضافه در امر خاک-ورزی می‌گردد. امروزه با بکارگیری 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 ایستایی را بسیار کارآمدتر و سریع‌تر از گذشته شبیه‌سازی و تحلیل نمود(بشارتی گیوی، ۱۳۸۵). روش اجزاء محدود (FEA) یک روش عددی است که می‌تواند برای تعیین جواب بسیاری از مسائل مهندسی به کار رود. مسائل پایدار، گذرا، خطی و غیرخطی زیادی در تحلیل تنش‌ها، انتقال حرارت، جریان سیال و الکترومغناطیس می‌توانند با استفاده از روش اجزاء محدود بررسی شوند(رائو، ۱۹۷۷). انسیس یک نرم‌افزار فراگیر و چندمنظوره برای روش اجزاء محدود می‌باشد؛ که قادر است تحلیل‌هایی در زمینه‌های دینامیک، استاتیک، جریان سیالات و الکترومغناطیس را ارائه دهد(معاونی ۲۰۰۲). در تحقیقی به بررسی رفتار ساقه چیزل هنگام کار در عمق زیاد در نرم‌افزار انسیس پرداخته شد. نتایج آن‌ها نشان داد که ساقه فنری با توجه به توانایی تحمل جابجایی و تنش زیاد بهترین نوع ساقه برای کار کردن در عمق زیاد می‌باشد(خلیلوند و همکاران، ۱۳۹۲). در تحقیقی به کمک روش اجزاء محدود هرس رفت و برگشتی تحلیل شده است و مقادیر ضرایب اطمینان را برای دندانه در حالت‌های تحلیلی خطی و غیرخطی و نیز تحلیل خستگی محاسبه کرده اند و مشخص گردید که احتمال شکستن دندانه در خاک در اثر بارهای ضربه‌ای به علت پایین بودن مقدار

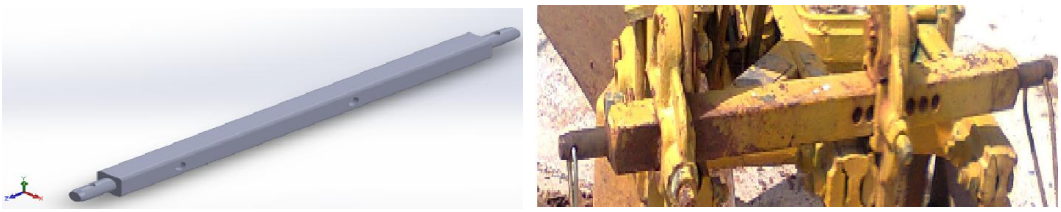
ضرایب اطمینان، بالا می‌باشد(رفیعی، ۱۳۸۳). در تحقیقی استحکام مکانیکی ساقه و شاسی گاوآهن برگرداندار دو طرفه مستطیلی را به روش اجزاء محدود

مورد بررسی قراردادند. نتایج تحلیل حاکی از آن است که بیش‌ترین تنش‌ها به محل نصب ساقه‌ها وارد می‌شود(کرمی و همکاران، ۱۳۸۷). درپژوهشی شاسی یک گاوآهن سه خیش را در نرم‌افزار انسیس شبیه‌سازی کرده و به روش اجزاء محدود مورد تجزیه و تحلیل تنش قراردادند(گورسیل و همکاران، ۲۰۰۵). درتحقیقی جهت تأثیر تنش‌ها و کرنش‌ها بر عامل خاک‌ورز از روش اجزاء محدود استفاده کردند(کوشواها و شان، ۱۹۹۵). در تحقیقی به مدل‌سازی اجزاء محدود لبه‌ی تیغه‌های برش خاک پرداختند و اثر هندسه‌ی لبه‌ها و تیزی آن‌ها را در نحوه‌ی عمل تیغه‌ها از نظر برش خاک مورد بررسی قرار دادند(فیلک، ۱۹۹۴). با توجه به این که یکی از مشکلات عمده در کاربرد گاوآهن‌های برگرداندار مسئله‌ی شکستگی میله عرضی در حین کار می‌باشد (شکل ۱) و موجب بالا بردن هزینه نگهداری این ماشین‌ها می‌شود؛ تحلیل مکانیکی میله عرضی تحت سخت‌ترین شرایط کاری به منظور بررسی علت شکستن آن امری ضروری به نظر می‌رسد. لذا هدف از این پژوهش تحلیل مکانیکی میله عرضی گاوآهن برگردان‌دار به منظور بررسی استحکام و رفتار مکانیکی آن می‌باشد.

شکل ۱. میله‌های عرضی سالم و شکسته جوش شده.

مواد و روش

در این تحقیق میله عرضی یک گاوآهن برگردان‌دار یک طرفه مد نظر قرار گرفت. ابتدا میله عرضی با ابعاد و اندازه واقعی در نرم‌افزار solidworks 2013 به صورت سه‌بعدی شبیه‌سازی و به صورت فایل parasolid(*.x_t) ذخیره گردید. شکل (۲) قطعه اصلی و نمای ایزومتریک مدل‌سازی شده آن در نرم‌افزار solidworks 2013 آورده شده است.



شکل ۲. قطعه اصلی و نمایی ایزومتریک مدل‌سازی شده.

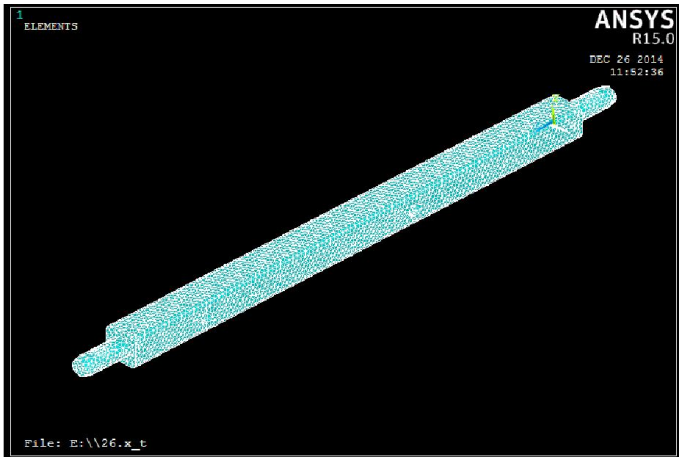
سپس مدل طراحی شده در نرم‌افزار Ansys. 15، که یک نرم‌افزار قوی در زمینه تحلیل به روش اجزاء محدود می‌باشد، فراخوانی شد. جنس قطعه از فولاد (ST 37) برای میله عرضی گاوآهن برگرداندار در نظر گرفته می‌شود. مشخصات کامل این فولاد در جدول (۱) آورده شده است(واحدیان، ۱۳۸۵).

جدول ۱. مشخصات جنس میله عرضی گاوآهن.

مشخصات	مقدار
تنش نهایی استحکام (σ_{ut})	۲۳۵ Mpa
تنش حد تسلیم (σ_y)	۱۹۸ Mpa
نسبت پوآسون (ε)	۰/۳
الاستیسیه (E)	۲۰۰ Gpa
جرم حجمی (ρ)	۷۸۶۰ Kg/m^3

از المان solid>>brick10node187 برای مدل قطعه مورد نظر استفاده شد. این المان سه‌بعدی و هشت گرهی بوده و هر گره دارای سه درجه آزادی است. مدل طوری مش‌بندی شد (شکل ۳) که تعداد ۵۱۸۶۶ گره در آن ایجاد گردید. پس از مش‌بندی، شرایط مرزی بر روی گره‌های واقع بر محل تکیه‌گاه‌های مدل اعمال و گره‌های مورد نظر در تمام جهات مقید گردید. برای در نظر گرفتن نیروی وارده به میله عرضی گاوآهن برگرداندار، که حداکثر نیروی کششی وارده بر آن مد نظر است، از نیروی کششی تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ با حداکثر توان ۱۱۰ اسب بخار و حداکثر نیروی کششی ۶۸/۴ کیلو نیوتن استفاده شد. نیروهای وارده بر میله عرضی که معمولاً این نیروها به پین‌های دو طرف میله عرضی وارد می‌شود و جهت نیروها به صورت کششی و در جهت حرکت تراکتور (X) می‌باشد. پین‌های میله عرضی این گاوآهن‌ها به دو بازوی تحتانی تراکتور متصل و در حین کار مورد کشش قرار می‌گیرد. از

آن جا که تکیه‌گاه‌های که در روی گاوآهن برای این میله عرضی در نظر گرفته شده به دلیل عرض کارهای متفاوت نسبت به پین‌های دو طرف در یک فاصله قرار ندارد، نیروهای کششی دو پین این میله عرضی با هم برابر نیستند. با در نظر گرفتن نمای پشت گاوآهن، تکیه‌گاه سمت راست به پین نزدیک‌تر و تکیه‌گاه سمت چپ کمی با فاصله بیشتر از پین سمت چپ قرار دارد. به همین دلیل نیروهای وارده به دو طرف نمی‌تواند با هم مساوی باشند. لذا مقدار نیروهای وارد بر هر پین محاسبه گردید و نیروی وارد بر پین سمت راست (F_1) برابر ۲۵/۹۰۹ کیلونیوتن و بر پین سمت چپ (F_2) برابر ۴۲/۴۹۱ کیلونیوتن بدست آمد. در تحلیل استاتیکی بارها بر روی گره‌های واقع بر پین‌های میله عرضی اعمال شد و پس از انجام تحلیل مقادیر تنش‌های وارده بر میله عرضی بر اساس تئوری وان-مسیز بدست آمد.



شکل ۳. مدل مش بندی شده در نرم افزار انسیس

در طراحی قطعات برای مقاومت در برابر شکست باید مطمئن شد که حداکثر تنش‌های اعمالی از تنش نهایی مواد تجاوز نکند. برای بدست آوردن ضریب اطمینان در تحلیل استاتیکی، تنش حد تسلیم بر حداکثر تنش حادث‌شده تقسیم می‌شود. لذا از رابطه (۱) ضریب اطمینان بدست آمد(شیگلی، ۱۹۸۹).

$$Fs = \frac{\sigma y}{\sigma all} \qquad (۱)$$

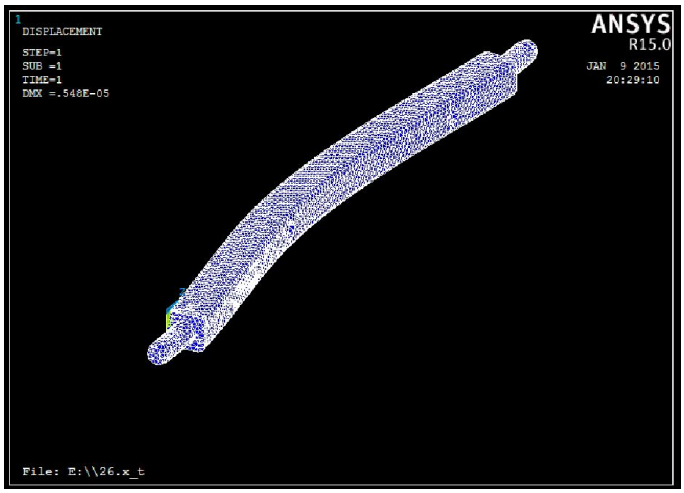
که در آن FS، ضریب اطمینان در حالت اسیتایی، σ_y، تنش حد تسلیم و σ_{all}، تنش مجاز یا حداکثر تنش وارده می-باشد.

نتایج و بحث

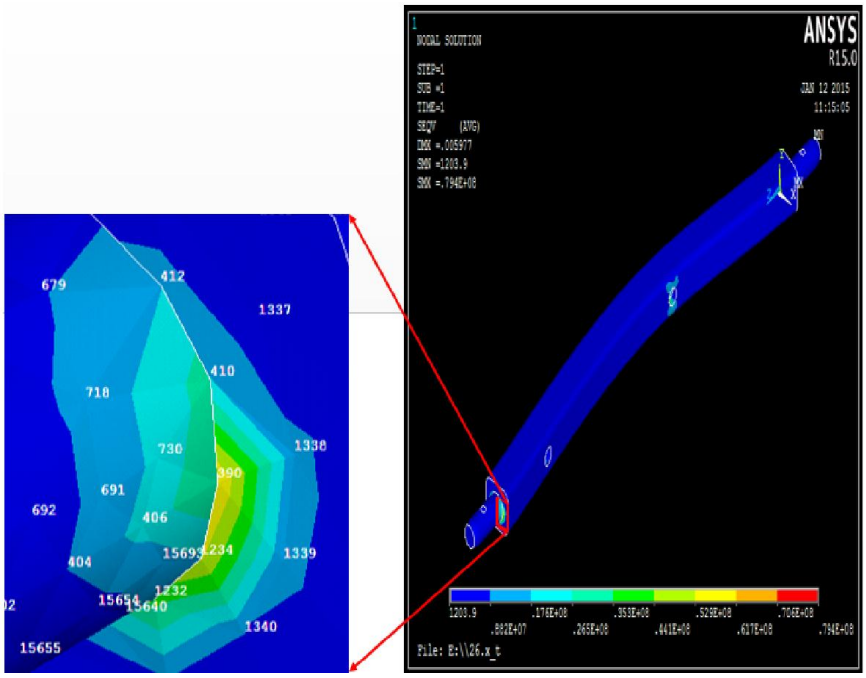
در شکل (۴) میزان تغییر شکل میله عرضی گاوآهن برگرداندار بر اثر نیروی وارده به پین‌ها مشاهده می‌شود. مقدار حداکثر تغییر شکل در میله عرضی مورد مطالعه برابر با $۰/۵۴۸\times۱۰^{-۵}$ m بود. این جابجایی در محل تکیه‌گاه‌ها سمت چپ رخ داده است.

توزیع تنش بر اساس معیار وان–مسیز در میله عرضی گاوآهن برگردان‌دار در شکل‌های (۵) و (۶) نشان داده شده است. همان طور که در این شکل‌ها دیده می‌شود، بیش‌ترین مقدار تنش در نقطه اتصال پین‌ها با میله عرضی اتفاق افتاده است. در شکل (۵) بیش‌ترین تنش در نقطه اتصال پین سمت راست نشان داده شده است که برابر با ۵۲/۹ مگاپاسکال بوده و در گره ۳۹۰ رخ داده است. بیش‌ترین تنش در نقطه اتصال پین سمت چپ که در شکل (۶) نشان

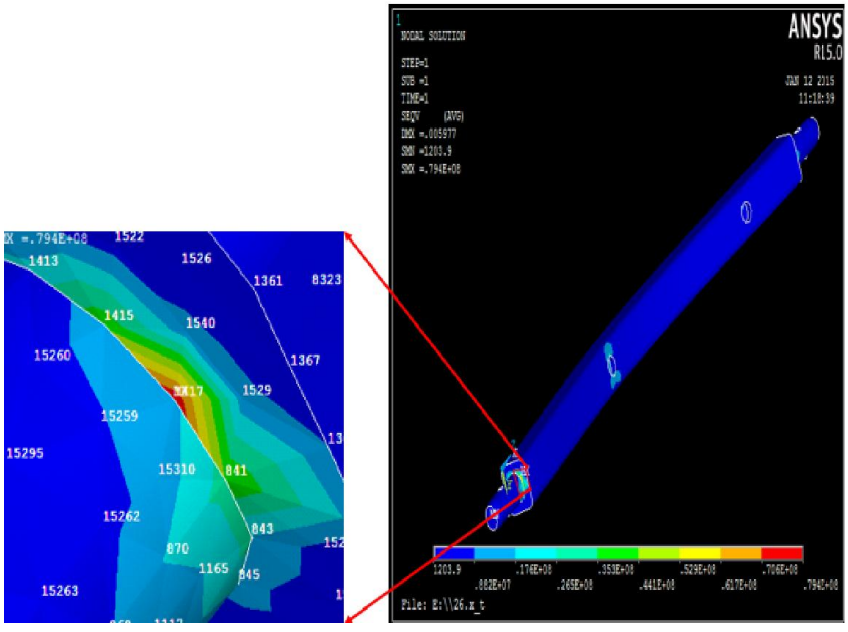
داده شده است برابر ۷۹/۴ مگاپاسکال بوده و در گره ۱۷ این اتفاق رخ داده است. همچنین کمترین تنش وارده به هر دو پین ۱۷/۹ مگاپاسکال می‌باشد. بیشترین نیروی لازم برای گسیختگی میله عرضی در حالت استاتیکی ۶۸/۴ کیلو نیوتن می باشد.



شکل ۴. بیش‌ترین مقدار جابجایی میله عرضی.



شکل ۵. تنش در پین سمت راست میله عرضی.



شکل ۶. تنش در پین سمت چپ میله عرضی.

با توجه به دو شکل (۵) و (۶)، بیش‌ترین تنش در سرتاسر میله عرضی بر اساس معیار وان–مسیز، در نقطه اتصال پین سمت چپ رخ داده و لذا احتمال شکست پین سمت چپ بیشتر می‌باشد. این امر به این دلیل می‌باشد که فاصله پین سمت چپ از تکیه‌گاه بیشتر و لذا نیروی بیشتر بر آن اعمال شده و همچنین سطح مقطع قطعه در محل اتصال پین به میله عرضی تغییر یافته و نسبت به میله عرضی کوچک‌تر می‌گردد. در ضمن این اتصال به صورت زاویه ۹۰ درجه بوده و هیچ‌گونه پخی در آن محل در نظر گرفته نشده است. لذا احتمال شکست پین در این نقطه 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 بدست آمد که به ترتیب برای برابر ۳/۸۰ و ۲/۴۹ بود. این نشان می‌دهد که احتمال شکست پین سمت چپ بیشتر از پین سمت راست می‌باشد.

نتیجه‌گیری

المان محدود یک نرم‌افزار موثر برای تجزیه و تحلیل استاتیکی سازه‌ها می‌باشد. با بررسی نیروی استاتیکی وارده به میله عرضی گاوآهن برگرداندار بیش‌ترین تنش بر اساس معیار وان–مسیز در نقاط اتصال دو پین به میله عرضی اتفاق می‌افتد که به ترتیب برای پین سمت راست و چپ ۵۲/۹ و ۷۹/۴ مگاپاسکال بدست آمد. بدین ترتیب تنش در پین سمت چپ بیشتر از پین سمت راست بوده به دلیل اینکه تکیه‌گاه سمت چپ نسبت به پین فاصله بیشتر داشته و لذا

گشتاور بیشتر و نیروی بیشتر بر آن وارد می‌شود. . نتایج این تحقیق با یافته های تحقیق کرمی و همکاران (۱۳۸۷) مطابقت دارد. ضریب اطمینان بدست آمده از تحلیل استاتیکی برای نقطه اتصال پین سمت راست بیشتر از پین سمت چپ بوده و این ضریب اطمینان به ترتیب برای پین سمت راست و چپ ۳/۸۰ و ۲/۴۹ می‌باشد. با توجه به این نتایج، احتمال شکست پین سمت چپ به دلیل ضریب اطمینان کمتر بیشتر می‌باشد. هر چند که ضریب اطمینان در پین سمت چپ نیز بیشتر از یک است، اما اعمال بارهای ایستایی نامتعادل و یا بارهای ناگهانی منجر به شکست این ناحیه می‌شود. لذا پیشنهاد می‌شود برای جلوگیری از شکستن پین‌ها در محل اتصال آن‌ها با میله عرضی استحکام این نواحی را بیشتر نمود و یا با افزایش سطح مقطع در این ناحیه‌ها ضریب اطمینان را به مقداری بیشتر از ۳ (همانند پین سمت راست) افزایش داد. از آن جا که نقطه اتصال این پین‌ها به صورت زاویه ۹۰ درجه کامل بوده می‌توان با ایجاد پخ‌هایی در نواحی اطراف نقطه تنش این نقاط را کاهش داد. همچنین پیشنهاد می‌شود که جهت دستیابی به نتیجه‌ای بهتر تحلیل تنش در بارهای ضربه‌ای نیز برای میله عرضی گاوآهن انجام شود.

منابع

۱.بشارتی گیوی، م. ۱۳۸۵. مهندسی تولید و فناوری. جلد اول. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه تهران.

۲.رفیعی، م. ۱۳۸۳. شبیه‌سازی و آنالیز مکانیکی دندانه‌های هرس‌های رفت و برگشتی با کمک نرم‌افزار اجزاء محدود. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.

۳.رائو، اس. اس. ۱۹۷۷. روش اجزاء محدود در مهندسی، ترجمه: دکتر غلامحسین مجذوبی و مهندس فرزاد فریبا. انتشارات دانشگاه بوعلی سینا همدان. چاپ اول، پاییز ۱۳۷۶.

۴.معاونی، س. ۲۰۰۲. راهنمایی سریع ویژوال انسیس. ترجمه: مهدی محبی و روزبه پناهی. انتشارات ناقوس، تهران. چاپ اول، بهار ۱۳۸۱.

۵.خلیلوندی بهروز یار، س. نوید، ح. بررسی رفتار ساقه چیزل هنگام کار در عمق زیاد با روش اجزاء محدود. ششمین همایش یافته‌های کشاورزی، دانشگاه کردستان. ۱۳۹۲، صفحات: ۳۵۰-۳۵۳.

۶.کرمی، م. حسن بیگی، س. جعفری، ع. بررسی استحکام مکانیکی ساقه و شاسی گاوآهن برگرداندار دو طرفه مستطیلی به روش شبه سازی اجزاء محدود. پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. دانشگاه فردوسی مشهد. ۱۳۸۷.

۷.واحدیان، ا. ۱۳۸۵. مقاومت مصالح. (تألیف بی یر، ف. جانسون، ر). ویرایش سوم. نشر علوم دانشگاهی. صفحه ۵۳۰.

8.G. Zhijun, Z. Zhili, Y. Zhang and L. Zhongli, 2009. "Bionic optimization research of soil cultivating component design", Sci china sar E- Tech Sci Apr Vol. 52, pp. 955-965.

9.S. R. Ashrafizadeh, and R. L. Kushwaha, 2003. "Soil failure model in front of a tillage tool action- areview", presentation at the CSAE/SCGR 2003 Meeting Montreal. Quebec, July 6-9.

10.K. T. Gursel, A. kilic and A. Degrimencioglu, 2005. "strength analysis of three-bottom moldboard plough sing finite element method", izmir- Turkey.

11.Kushwaha, R, L. J, shon. 1995. Finite analysis of dynamic interaction between soil and tillage tools. Transaction of the ASAE.Vol 37(5): 1315-1319.

12.Fielke, J, M, T. 1999. Finite element modeling of the cutting edge of tillage implements with soil. Journal of Agricultural Engineering Research. Vol 47: 91-101.

13.Shigley, JE, Mischke, CR. Mechanical engineering design. Mcgrew-Hill publisher. 1989.

Static stress analysis of the cross bar's pin in moldboard plough by finite element method

Abstract

Considering the failure of cross bar's pins in moldboard plough, the stress analysis of that by finite element method was conducted in this study. After drawing the three-dimensional model in SolidWorks Software and transfer it to ANSYS Software, applying the constraints and boundary conditions, the model was loaded. The draft force of Massey Ferguson 399 was considered for calculating the maximum load on the plough. The maximum static stress based on Von–Mises occurred at the junction between the left and right pins in nodes No. 17 and 390 with 79.4 and 52.9 MPa, respectively. The obtained safety factor for the left and right pins was 2.49 and 3.80, respectively. This shows the higher probability of failure at the left pin junction.

Keyword: Finite element analysis, Stress, Moldboard plough, Cross bar.