تحلیل مودال بوم لودر HWL65B به روش اجزای محدود

عبدالله گل‌محمدی[۱]، محمد کاظمی[۲]، علی اشتری[۳] و غلامحسن نجفی[٤]

۱و۳ به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، و استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی

۲و٤ به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد، و استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

mohammad.kazemi@yahoo.com

چکیده

بوم‌ها مهمترین قطعه در مکانیزم کارساز(عملگر) لودرها هستند که تحت بارهای بزرگی قرار دارد. بوم‌ها در واقع یک قطعه رابط بین باکت و شاسی لودر هستند، که مکانیزم Z-bar نیز بر روی آنها سوار می‌شود. این قطعه مهم با اینکه بسیار سخت و محکم است ولی گاهاً بر اثر ارتعاش دچار تغییر شکل ماندگار می‌شوند. به همین منظور تعیین فرکانس طبیعی قطعه جهت جلوگیری از پدیده تشدید بسیار مهم و ضروری است، در حقیقت شناسایی سرعت بحرانی حرکت بوم برای تعیین محدوده فرکانس تشدید ضروری است. در پژوهش حاضر به مدل‌سازی دقیق و المان بندی هندسه سه بعدی کامل مجموعه بوم لودر HWL65B به کمک فرایند مهندسی CAE بررسی می‌شود. در این پژوهش از نرم‌افزار Mechanical برای مدل‌سازی هندسی سه‌بعدی(3D)، از نرم‌افزار HyperMesh برای المان‌بندی و ساخت مدل سه بعدی اجزای محدود و از نرم‌افزار Abaqus برای تحلیل مودال، تعیین فرکانس‌های طبیعی و شکل مود بوم لودر استفاده شد.. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد فرکانس مود اول تا ششم تقریباً صفر بوده و حرکت قطعه صلب می‌باشد، و فرکانس طبیعی مود هفتم بوم (فرکانس تشدید) ۲۲/٤۸ هرتز است، بنابراین با توجه به سرعت پایین حرکت بوم احتمال پدیده تشدید در این قطعه بسیار پایین است.

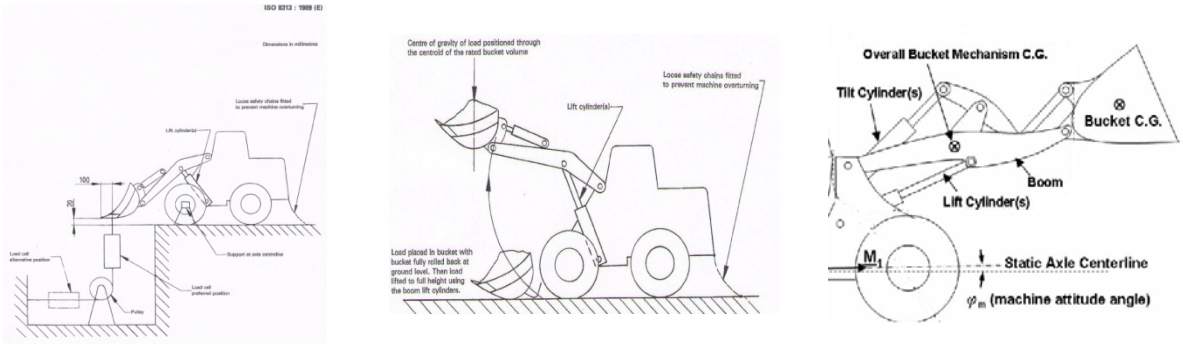
واژه‌های کلیدی: بوم لودر – آنالیز مدال- فرکانس طبیعی – شکل مود - اجزای محدود- Abaqus

۱- مقدمه

امروزه رضایت مشتری به یکی از مقوله‌های مهم در بین شرکت‌های سازنده ماشین‌آلات تبدیل شده است. لذا شناسایی، بررسی و بهینه‌سازی قسمت هایی که عموماً تحت خطر شکست، خستگی و ارتعاش هستند، اهمیت بسزایی دارد. بهینه‌سازی قطعات اصلی ماشین‌آلات علاوه بر کاهش جرم قطعات، موجب اصلاح شکل نقاط ضعیف و بالا رفتن ضریب ایمنی قطعات ماشین آلات می‌شود.

بطور کلی لودر شامل یک قسمت محرک و یک قسمت عملگر می‌باشد. بخش محرک شامل مولد و سیستم انتقال قدرت می‌باشد. بخش عملگر لودر شامل باکت، بوم، مکانیزم Z-bar و جک‌های هیدرولیکی است. بوم عضو رابط و منتقل کننده نیرو بین سیلندرهای هیدرولیکی و باکت است. جنس بوم از فولاد St-52 با وزن تقریبی ٦۱۰kg می‌باشد. از آنجا که این

قطعه تمامی نیروهای موثر بین ماشین و خاک را تحمل می کند، طراحی دقیق و مطمئن آن حائز اهمیت است. نیروهای وارده به بوم شامل نیروهای وارده از طرف باکت، سیلندرهای هیدرولیکی و نیروهای وارده از سوی شاسی لودر می‌باشند. در این نوع لودرها سیلندرهای هیدرولیکی به دو دسته تقسیم می‌شوند و وظایف متفاوتی را بر عهده دارند شکل(۱-الف). دسته اول که سیلندرهای بالابر نام دارند، وظیفه کنترل موقعیت بوم را بر عهده دارند. دسته دوم سیلندرهای تمایل هستند و موقعیت باکت را بر روی بوم کنترل می‌کنند(Rusinski و همکاران ۲۰۰۸).



الف ب ج

شکل ۱ – الف)سیلندرها و نحوه ارتباط آنها با بوم، ب و ج) بیشترین نیروی بالابری و برش

مطالعه ارتعاشات به حرکت نوسانی اجسام و نیروهای وابسته به آنها مربوط می‌شود، یعنی ارتعاشات یک پدیده دینامیکی است. تمام اجسامی که دارای جرم و خاصیت الاستیسیته (یعنی حرکت نسبی بین ذرات) باشند، قادر به ارتعاش ازاد هستند؛ بنابراین اغلب ماشین‌ها و سازه‌های مهندسی تا اندازه‌ای تحت تاثیر ارتعاش می‌باشند. اگرچه در بیشتر مواقع ارتعاشات زائیده ناخواسته یک عملکرد مفید هستند؛ ولی بعضی ارتعاشات نیز عمداً ایجاد می‌شوند. هدف طراح، کنترل ارتعاشات ناخواسته و اعمال ارتعاشات خواسته، در هنگام ضرورت است. ارتعاشات ناخواسته در سیستم‌های مکانیکی ممکن است موجب اختلال در عملکرد آن‌ها و نهایتاً موجب شکست در اثر خستگی شود(نیکخواه بهرامی ۱۳۸۱).

ارتعاشات به دو دسته عمومی، ارتعاشات آزاد و ارتعاشات اجباری تقسیم بندی می‌شوند. ارتعاشات آزاد وقتی انجام می‌گیرد که سیستم در اثر اعمال نیروهای ذاتی و لاینفک خود تحت یک تحریک اولیه نوسان کند و نیروهای خارجی حضور نداشته باشند. سیستم تحت ارتعاش آزاد، با یک یا چند فرکانس طبیعی خود مرتعش می‌شود، که از ویژگی‌های سیستم‌های دینامیکی هستند و به وسیله توزیع جرم و سختی آن تعیین می‌گردند. ارتعاشی که تحت اثر نیروهای خارجی انجام می‌پذیرد، ارتعاش اجباری نامیده می‌شود. وقتی که نیروی محرک نوسانی است، سیستم بلاجبار با فرکانس نیروی محرک مرتعش می‌گردد. اگر فرکانس نیروی محرک بر یکی از فرکانس‌های طبیعی سیستم منطبق شود، حالت تشدید (رزونانس) اتفاق می‌افتد و نوسانی با دامنه بزرگ خطرناک ممکن است نتیجه گردد. شکست سازهایی مانند پل‌ها، ساختمان‌ها یا بال هواپیما، یک اتفاق وحشتناک ناشی از پدیده تشدید است، بنابراین محاسبه فرکانس‌های طبیعی در مطالعه ارتعاشات از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد(نیکخواه بهرامی ۱۳۸۱).

یکی از مسایل مهمی که در بوم لودر به چشم می‌خورد، لرزش‌ها و ارتعاشات آن است. در مرحله طراحی سازه ها و قطعات صنعتی که تحت تاثیر نوسانات به واسطه بارها و محرک های ارتعاشی می‌باشند، انجام آنالیز مودال کاملا ضروری است.

زیرا باید قطعه طوری طراحی شود که تا حد امکان از محدوده فرکانس تشدید آن دور باشد، زیرا نوسانات در محدوده فرکانس طبیعی سازه، موجب افزایش دامنه نوسان و در نتیجه خطر از هم پاشیدگی قطعه را بسیار زیاد می کند. از آنالیز مودال جهت تعیین مقدار فرکانس های طبیعی و شکل مود آن، در فرکانس های مزبور استفاده می گردد. مقدار فرکانس طبیعی هر سازه بستگی به شکل آن سازه ، جنس و تکیه گاه های آن سازه دارد.

روش اجزای محدود (Finite Element Method -FEM) و تحلیل غیر خطی مسائل توزیع تنش یک روش بسیار سودمند و مفید می‌باشد، که امروزه از گستره بسیار زیادی برخوردار است. مدل‌سازی و تحلیل مسایل به کمک روش اجزای محدود نیازمند استفاده از نرم افزارهای تخصصی قدرتمند است. امروزه پیشرفت و کاربرد رایانه در مهندسی (CAE)، امکان استفاده از این ابزار را در تحلیل‌های بسیار پیچیده و محاسبات طاقت فرسا به وجود آورده، که موجب کاهش وقت و هزینه شده است(کاظمی وهمکاران ۱۳۸۸).

در این تحقیق بوم لودر در وضعیت برش خاک مورد تحلیل قرار گرفته است. بیشترین مقدار نیروی افقی برابر با بیشترین نیروی پیشروی لودر در نظر گرفته می‌شود. همچنین شناسایی منابع ارتعاش، ساخت مدل سه‌بعدی اجزای محدود و تعیین فرکانس بحرانی از اهداف این تحقیق است.

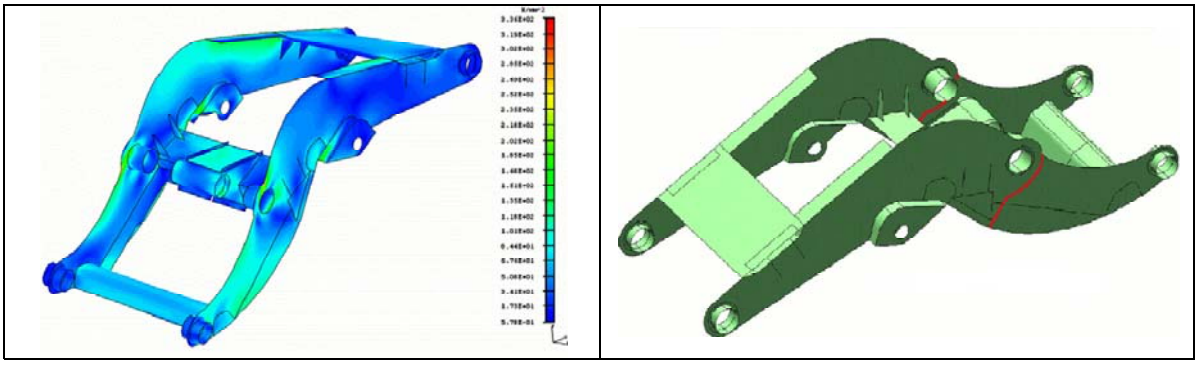
در حقیقت پژوهش حاضر عبارت است از مدل‌سازی هندسی به کمک نرم‌افزار Mechanical، ساخت، پیش پردازش مکانیکی، اصلاح سطوح، المان‌بندی مدل و اعمال شرایط مرزی توسط نرم‌افزار Altair Hyper Work 9.0 و تحلیل مودال و تعیین فرکانس‌های طبیعی بوم لودر به روش اجزای محدود توسط نرم‌افزار Abaqus 6.8.1. همچنین شکل ۱۰ مود ارتعاشی اول بوم لودر نیز مشخص شده است.

۲- پیشینه تحقیق

به‌رغم تولید انبوه این ماشین در جهان و استفاده گسترده از آن در زمینه های مختلف، طی بررسی های انجام شده، پژوهش در این زمینه بسیار اندک می باشد. به همین دلیل در اینجا مروری بر مطالعات انجام شده در مورد قطعاتی که از لحاظ شرایط کاری یا بارگذاری تا حدودی شبیه به بوم لودر می‌باشند، ارائه گردیده است. شایان به ذکر است که تمامی پژوهش‌های صورت گرفته به روش مدل‌سازی و تحلیل تنش توسط نرم افزار های تحلیلی اجزاء محدود بوده است، که این مطلب دلیلی بر سودمند بودن تحلیل با استفاده از روش اجزاء محدود می باشد. در زمینه تحلیل مودال بوم بطور مشخص پژوهشی گزارش نشده، به همین منظور ابتدا چند نمونه تحقیق که بروی بوم انجام شده مرور و در پایان تحلیل مودال قطعات مشابه آورده شده است.

Rusinski و همکاران به تحلیل عددی و تجربی شکست بوم در یک نوع لودر مورد استفاده در معادن زیرزمینی با استفاده از روش اجزاء محدود پرداختند. همچنین برای ارزیابی ماده مورد استفاده در بوم از روش فراکتوگرافیک[1] و میکروسکپی، تحلیل شیمیائی و تست سختی استفاده کردند. ایشان با مقایسه داده های بدست آمده از شبیه سازی عددی با نتایج حاصل از ارزیابی ماده مورد استفاده، تفاوتی معنی داری را گزارش نکردند. همچنین دریافتند که به علت وجود تمرکز تنش در محل شکست و ساختار نامناسب مواد در محل مذکور، ایجاد شکست اجتناب ناپذیر بوده است.

[1] Fractographic



شکل ۲- مدلسازی و تحلیل تنش بوم یک نوع لودر(Worley, 2008).

شریفیان(۱۳۸۱) تیرک(Stake) بیل مکانیکی HEC190 را در حالت استاتیکی در یک وضعیت بحرانی مورد بررسی قرار داد. وی از سه روش تحلیل به روش اجزاء محدود، انجام محاسبات دستی و اندازه‌گیری تنش با نصب کرنش‌سنج استفاده نموده است. مقایسه داده‌های بدست آمده نشان داده است که نتایج روش اجزاء محدود و محاسبات دستی تفاوتی معنی داری ندارد. اما به علت فراهم نشدن شرایط ایده‌آل آزمایشگاهی جهت داده‌برداری در اندازه گیری تنش‌ها به کمک کرنش‌سنج، اختلاف ها معنی دار است(شریفیان، ۱۳۸۱).

Mahanty و همکاران (۲۰۰۱)، تحلیل تنش اکسل جلو یک تراکتور کشاورزی را به منظور کاهش وزن و بهینه‌سازی مراحل ساخت آن با استفاده از روش اجزاء محدود انجام دادند. ایشان ابتدا اکسل را مدل‌سازی کردند، سپس با اعمال نیروهای وارده و شرایط مرزی در نرم افزار ANSYS، تحلیل تنش و کرنش را انجام دادند. به منظور بهینه سازی مدل موجود، طرح جدیدی با ٤٠٪ کاهش وزن نسبت به طرح اولیه پیشنهاد کردند(Mahanty, *et al*., 20001).

خانعلی و همکاران تنش در اکسل جلو کمباین غلات جاندیر ۹۵۵ را در حالت استاتیکی به روش اجزاء محدود جهت نصب بر روی کمباین بهینه شده تحلیل کرده است. ایشان در تحقیق خود مقدار ضریب اطمینان را برای اکسل ۱/۳۸ بدست آوردند. تحلیل مودال به کمک نرم افزار Ansys و بدست اوردن فرکانس‌های طبیعی اکسل جهت بهینه‌سازی از جمله کارهایی بود که در این تحقیق انجام شد. با توجه به کم بودن ضریب اطمینان، مدل بهینه‌ای ارائه نمودند و این مدل را تحت تحلیل قرار داده و مقدار ضریب اطمینان را برای حالت استاتیکی برابر با ٤/۲۷ بدست آوردند(خانعلی و همکاران ۱۳۸۵).

۳- روش پژوهش

لودر HWL65 یکی از تولیدات شرکت هپکو می‌باشد. طراحی این لودر در سال ۸۲ انجام و ساخت اولین نمونه آن در سال ۸۳ به اتمام رسیده است. در سال ۸٤ تعداد پنج نمونه آزمایشی از آن ساخته شد. از اوایل سال ۸٦ تولید انبوه این لودر آغاز شده است(بی‌نام، ۱۳۸۸). در سال۸۸ بهینه سازی بعضی از مکانیزم‌های این محصول خصوصاً مکانیزم عملگر، با هدف افزایش عملکرد و راندمان کاری در دستور کار قرار گرفت و سری B ازاین لودر در دست طراحی قرار گرفت. در لودر HWL65 دو عدد سیلندر بالابر و یک عدد سیلندر تمایل وجود دارد. جدول (۱) برخی از مشخصه‌های این لودر را نشان می‌دهد(بی نام ۱۳۸۸).

جدول ۱ : مشخصه های فنی لودر HWL65

وزن کاری	۹.۷٦ ton	**ظرفیت باکت**	۱.۵ m^3
توان خالص موتور	۸٦ kw	**دور مشخصه موتور**	۲۳۰۰ rpm
دبی پمپ اصلی در دور مشخصه	۱۱۰ lit/min	**حداکثر فشار کاری**	۲٤۰ bar
نیروی برش خاک	۱۰۰ KN	**بارکله کردن استاتیکی**	٦۰۰۰ Kg

در این تحقیق بوم در موقعیت برش خاک و تحت بیشترین بارهای وارده مورد تحلیل قرار گرفت. بیشترین مقدار مولفه عمودی نیروهای خارجی وارد بر نوک باکت برابر نیروی برش خاک در نظر گرفته شد. مولفه افقی نیروهای خارجی وارد بر باکت نیز برابر با بیشترین مقدار نیروی پیشروی ایجاد شده توسط لودر در موقعیت برش خاک در نظر گرفته شد. توان مصرفی سیستم هیدرولیک از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$F \qquad (۱)$$

برای انجام آنالیز مودال لازم است که ابتدا مدل اجزا محدود بوم ایجاد شود (بخش ۳-۱) و پس از اعمال شرایط مرزی، آنالیز مودال انجام گیرد. شرایط مرزی اعمال شده در آنالیز مودال نیز همانند شرایط مرزی اعمال شده مانند آنالیز استاتیکی می باشد. پس از تعریف شرایط مرزی، حل مودال بوم در با تعیین تعداد فرکانس‌های طبیعی با توسعه کد نرم‌افزاری Abaqus انجام می گیرد. در قسمت پس پردازش ، فرکانس های طبیعی اول سازه قابل مشاهده می باشد. در این قسمت شکل مودهای متناظر با مقادیر فرکانس های طبیعی سیستم مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

از این آنالیز به منظور تعیین فرکانس‌های طبیعی سیستم و شکل مودهای آن استفاده می‌شود. معادله حاکم آن در حالت ارتعاش ازاد به شکل رابطه (۳) است(نیکخواه بهرامی ۱۳۸۱).

$$[\qquad (۲)$$

که در رابطه بالا [K] ماتریس سختی و [M] ماتریس جرم می‌باشد. ماتریس جرم به یکی از دو حالت زیر می‌تواند اعمال شود.

جرم متمرکز(Lumped mass) : در این روش جرم المان‌ها بصورت متمرکز بروی گره ها اعمال می‌شود. به همین دلیل ماتریس جرم ایجاد شده، حالت قطری دارد و به صورت ناسازگار می‌باشد(نیکخواه بهرامی ۱۳۸۱).

$$m_{ij} = 0 \quad i$$

جرم سازگار (Coupled mass) : در این روش ماتریس جرم از رابطه زیر محاسه می‌شود.

$$[\qquad (۳)$$

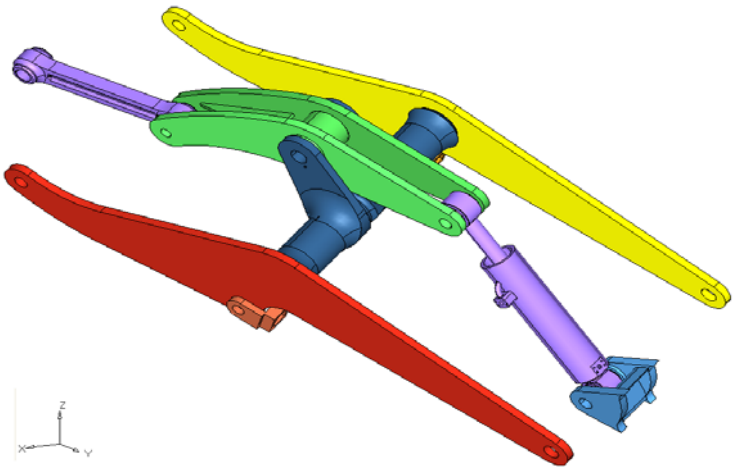
که در آن dV حجم المان، ρ چگالی جرمی و N^T ماتریس توابع شکل می‌باشد. ماتریس N همانند توابع شکل مورد استفاده برای تشکیل ماتریس سختی می‌باشد. به همین دلیل به ماتریس جرم ایجاد شده از این طریق، ماتریس جرم سازگار می‌گویند. ماتریس جرم سازگار بصورت غیر قطری می‌باشد($m_{ij} = 0$) (نیکخواه بهرامی ۱۳۸۱).

جابجایی هم بصورت معادله سینوسی $\{u\} = \{\phi\}\sin(n\omega t)$ مدل شده و در رابطه (۲) قرار داده می‌شود. همچنین برای تعیین زمان رخداد پدیده تشدید باید سرعت بحرانی بالا و پایین شدن بوم حساب شود(نیکخواه بهرامی ۱۳۸۱).

در صورتی که المان‌بندی به درستی انجام پذیرفته باشد و گره‌های آزاد وجود نداشته باشد باید فرکانس ٦ مولد اول صفر شوند که ۳ مود از آن مربوط به حرکت صلب در ۳ جهت اصلی مختصات و ۳ مود مربوط به دوران حول این ۳ محور است. مودهای ششم به بعد مربوط به تغییر شکل‌ها و خمش و پیچش و یا ترکیب از آنها می‌باشد، که در قسمت نتایج ارایه می‌شود.

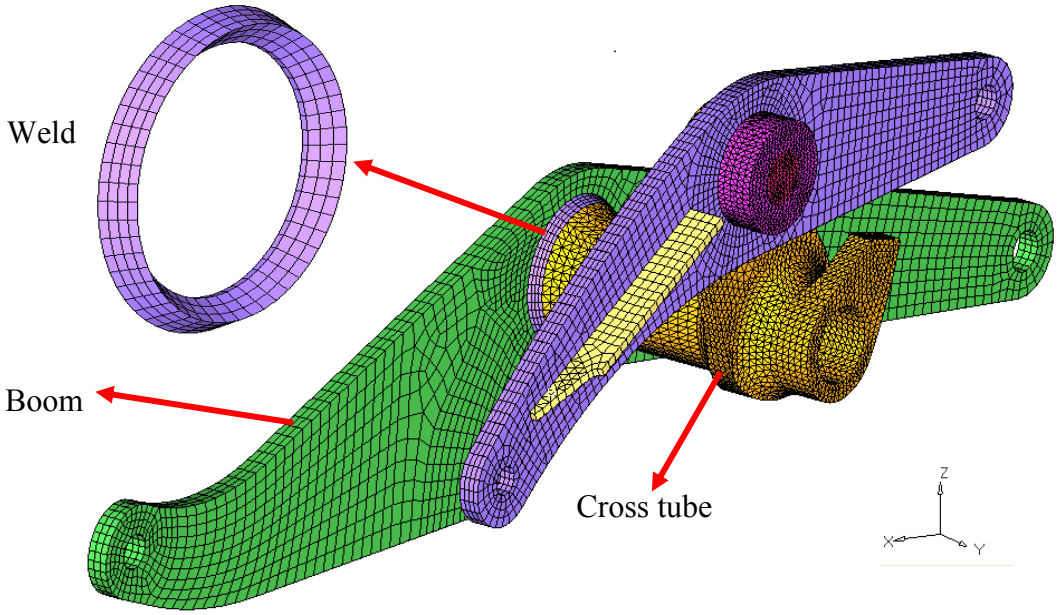
۳-۱ مدل‌سازی هندسی و اجزای محدود

مدل‌سازی قطعات در نرم‌افزار Mechanical انجام می‌گیرد. در این تحقیق مدل هندسی کل مجموعه اهرم‌های بوم و جک‌ها ساخته شده است(شکل ٤).



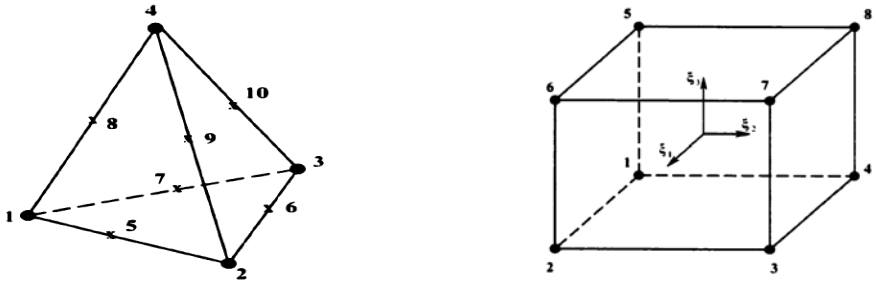
شکل٤- مدل سه بعدی هندسی مجموعه اهرم‌بندی و جک بوم لودر HWL65B

قطعاتی که موجب واگرایی تحلیل می‌شوند حذف می‌شود. به علت تقارن محوری این مجموعه در صفحه ZX فقط نیمی از مجموعه برای المان‌بندی آماده می‌شود. در ادامه کار، مدل هندسی سه بعدی تهیه شده به نرم‌افزاری که توانایی المان‌بندی قطعه را داشته باشد مانند Ansys یا HyperMesh بصورت فایل با پسوند IGES.* وارد می شود. در این پژوهش نرم‌افزار Altiar Hyper Work 9.0 به دلیل توانایی‌های بالا در تغییر دستی مش‌بندی و ریز کردن المان‌ها در محل‌های مورد نیاز، مورد استفاده قرار گرفته است. عملیات صورت گرفته در این نرم افزار در محیط HyperMesh که شامل، المان‌بندی دو بعدی و اصلاح سطوح مدل در صورت وجود شکاف یا اشکالات دیگر در المان‌ها باشد، انجام گرفت. نرم‌افزار HyperMesh این قابلیت را دارد که المان‌های نامناسب را شناسایی و معرفی کند. ایراد عمده یک المان بزرگ بودن نسبت ظاهر (Aspect Ratio) آن است. در صورت بزرگ بودن نسبت ظاهری یک المان، این امکان وجود دارد که نتیجه تحلیل به یک جواب مشخص همگرا نشود. حداکثر نسبت ظاهر مجاز در این تحلیل ۵ در نظر گرفته شده است. پس از اصلاح المان‌های معیوب و کنترل مجدد (Check Element) آنها عملیات حجم‌سازی از سطوح موجود (تولید المان‌های سه بعدی) صورت می‌گیرد. شکل (۵) مدل سه بعدی المان محدود بوم را نشان می‌دهد(کاظمی و همکاران ۱۳۸۸).



شکل۵- مدل سه بعدی هندسی مجموعه اهرم‌بندی و جک بوم لودر HWL65.

تعداد و نوع المان‌ها، تعداد گره‌ها متناسب با شرایط مسئله، هندسه شکل طوری انتخاب می‌شوند که مسئله در کوتاهترین زمان حل شده و تنش در نقاطی با هندسه پیچیده تر و با تمرکز تنش با المان‌های کوچکتر محاسبه شود. به منظور کاهش حجم محاسبات و تقارن محوری نصف مجموعه شبکه‌بندی شده است، بوم و اهرم حرکت دهنده باکت با المان‌های شش وجهی(Hexa) و محور اتصال دهدنده با المان‌های چهار وجهی(Tetra) المان‌بندی شد. جدول (۲) تعداد و نوع المان‌ها را نشان می‌دهد. شبیه‌سازی المان محدود جوش یکی از ویژگی‌های این تحلیل می‌باشد، که توسط نرم‌افزار HyperMesh مدل‌سازی شد (شکل۷).



ب) Tetrahedral Element الف) Hexahedral Element

شکل ٦- نمای هندسه المان‌ها – الف) المان شش وجهی، ب)المان چهار وجهی(کاظمی وهمکاران ۱۳۸۸).

جدول ۲- تعداد و نوع المان‌ها و تعداد نودها در هریک از اجزای مجموعه

Characteristics		Boom	Cross tube	Weld
Num. Node		31047	62442	3744
Num. Elem.		6177	38172	676
Elem. Type	HyperMesh	Tetra	Hex20	Tetra10
	Abaqus	C3D20	C3D10	C3D20

۳-۲ تعیین شرایط مرزی، بارگذاری و تحلیل اجزای محدود

در ابتدا خواص مهندسی مواد تشکیل دهنده مجموعه شامل مدول الاستیسیته (E)، چگالی (ρ) و ضریب انبساط (α) برای جنس فولاد و جوش مشخص می‌شود. محل شرایط مرزی با استفاده از نرم‌افزار HyperMesh در واقع تعیین محل‌های اعمال نیرو، ممان، سرعت چرخشی و فشار تماسی می‌باشد. با توجه به اینکه از نرم‌افزار اجزای محدود Abaqus برای تحلیل استفاده می‌شود شرایط مرزی متناسب با این نرم‌افزار مدل‌سازی می‌گردد.

مهترین نکته در آنالیز مودال بسیار تاثیر گذار است تعیین درست خواص مواد(بخصوص چگالی) و اندازه المان‌ها می‌باشد. بهمین منظور شناسایی المان های خراب یکی از مهترین مراحل تحلیل می‌باشد. تمام المان‌ها به لحاظ معیارهای کیفیت (Warpag، Aspect Ratio، MaxAngle، Jacobian و ...) کنترل می‌شوند. به جرات می‌توان گفت که تحلیل مودال اولین گام در تحلیل‌های اجزای محدود است، در حقیقت برای کنترل المان‌بندی لازم است آنالیز مودال انجام گیرد(کاظمی و همکاران ۱۳۸۸).

اندازه و هندسه شکل یکی از پارامترهای تاثیر گذار بر فرکانس‌های طبیعی و شکل مود در آنالیز مودال می‌باشد، ژس لازم است که کل هندسه مجموعه بوم تحلیل گردد. به همین منظور با توجه به تقارن بوم (شکل ٤ و ٥) لازم است که با استفاده از دستوراتی (reflect) المان‌های قرینه را ایجاد کرده و کل شکل هندسع سه بعدی مجموعه بوم را ایجاد و دوباره به لحاظ کیفیت المان بررسی شود. همچنین در هنگام قرینه‌سازی لازم است که یکپارچه سازی (Merge) المان‌ها در محل تقارن انام گیرد تا شکل یکپارچه شود. پس از المان‌بندی، تعیین شرایط مرزی و تعریف خواص مواد، مدل ساخته شده را بصورت یک فایل متنی (dat file) که قابلیت وارد شدن به یک نرم افزار تحلیل‌گر را دارد توسط HyperMesh ساخته می‌شود. در مرحله نهایی تحلیل، که حل مسئله المان محدود مدل مش‌بندی شده می‌باشد، از نرم‌افزار Abaqus استفاده می‌شود. در این نرم افزار مدل ساخته شده بصورت یک فایل متنی برنامه نویسی شده (inp file) به نرم‌افزار معرفی می‌شود.

برای تحلیل مودال بوم کد مربوطه (inp file) توسعه داده می‌شود، که قسمتی از که مربوط به تعیین مرحله (Spet) تحلیل است در شکل (۷) نشان داده شده است. در واقع تحلیل مودال نوعی تحلیل دینامیک تحت ارتعاش آزاد است، که در این تحلیل ۱۰ مود اول بررسی می‌شود.

اما کد تحلیل شامل مشخصات مختصاتی، نوع و شکل المان‌ها و نودها، کلیه خواص مربوط به مواد هریک از اجزای مدل، نوع و تعداد مراحل تحلیل، کلیه بارهای وارده، شرایط مرزی و تکیه‌گاه‌ها و نتایج خروجی مورد نظر به زبان برنامه نویسی خود نرم افزار Abaqus است. سپس این کد در مسیر Abaqus Command فراخوانی شده پس از تکمیل شدن تحلیل، می‌توان در محیط CAE نرم افزار نتایج خروجی بصورت کانتورهای رنگی، بردار، نمودار و یا فایل‌های متنی ها مشاهده کرد(کاظمی وهمکاران ۱۳۸۸).

```
**_____Step-1
**_____
*Step, name=Step-1, perturbation
*Frequency, eigensolver=Lanczos, acoustic coupling=on, normalization=displacement, number interval=1, bias=1.
10, , , , ,
**
** OUTPUT REQUESTS
**
*Restart, write, frequency=0
**
** FIELD OUTPUT: F-Output-1
**
*Output, field, variable=PRESELECT
*End Step
```

شکل ۷- کد Abaqus مربوط به تحلیل مودال بوم لودر

٤- نتایج

نتایج تحلیل مودال مجموعه کامل بوم لودر در حالت آزاد در جدول (۳) نشان داده شده است.. مشاهده می‌شود که ٦ مود اولیه صفر هستند که مربوط به حرکت صلب و دوران حول سه محور مختصات هستند. مودهای ششم به بعد دارای فرکانس‌های بالاتری هستند که به خمش، پیچش و سایر حالات و ترکیب‌های آنها مربوط است. فرکانس هفتم مربوط به احتما رخداد پدیده تشدید در بوم لودر است که با توجه آن می‌توان سرعت بحرانی حرکت بالا و پایین بوم را محاسبه کرد تا تلاش شود هیچگاه سرعت طبیعی بوم به این فرکانس نزدیک نشود. با توجه به اندازه بزگ بوم و نیروهای وارده اولین هشدار برای تغییر شکل بوم در فرکانش هفتم مربوط به خمش بوم است. کاملا مشخص است که اندازه بزرگ بوم تاثیر زیادی در کاهش فرکانس طبیعی بحرانی دارد.

جدول ۳ : مودهای و فرکانس‌های طبیعی مجموعه بوم

شماره مود	شکل مود	فرکانس (هرتز)
١	حرکت صلب در راستای طولی	۰/۰۰۰
٢	حرکت صلب در راستای عرضی	۰/۰۰۰٢٤
٣	حرکت صلب در راستای عمودی	۰/۰۰۰٢٨
٤	حرکت صلب دورانی حول طولی	۰/۰۰۰٣١
٥	حرکت صلب دورانی حول عرضی	۰/۰۰۰٣٦
٦	حرکت صلب دورانی حول عمودی	۰/۰۰۰٤٢
٧	**خمش بوم در ناحیه اتصال به لودر**	**٢٢/٤٨**
٨	خمش بوم در ناحیه اتصال یه باکت	٢٧/٨٥
٩	خمش کلی بوم در صفحه ZY و کج شدگی	٢٩/٦٩
١٠	خمش کلی بوم در صفحه ZY و بهمرا پیچش	٣٨/٠٢

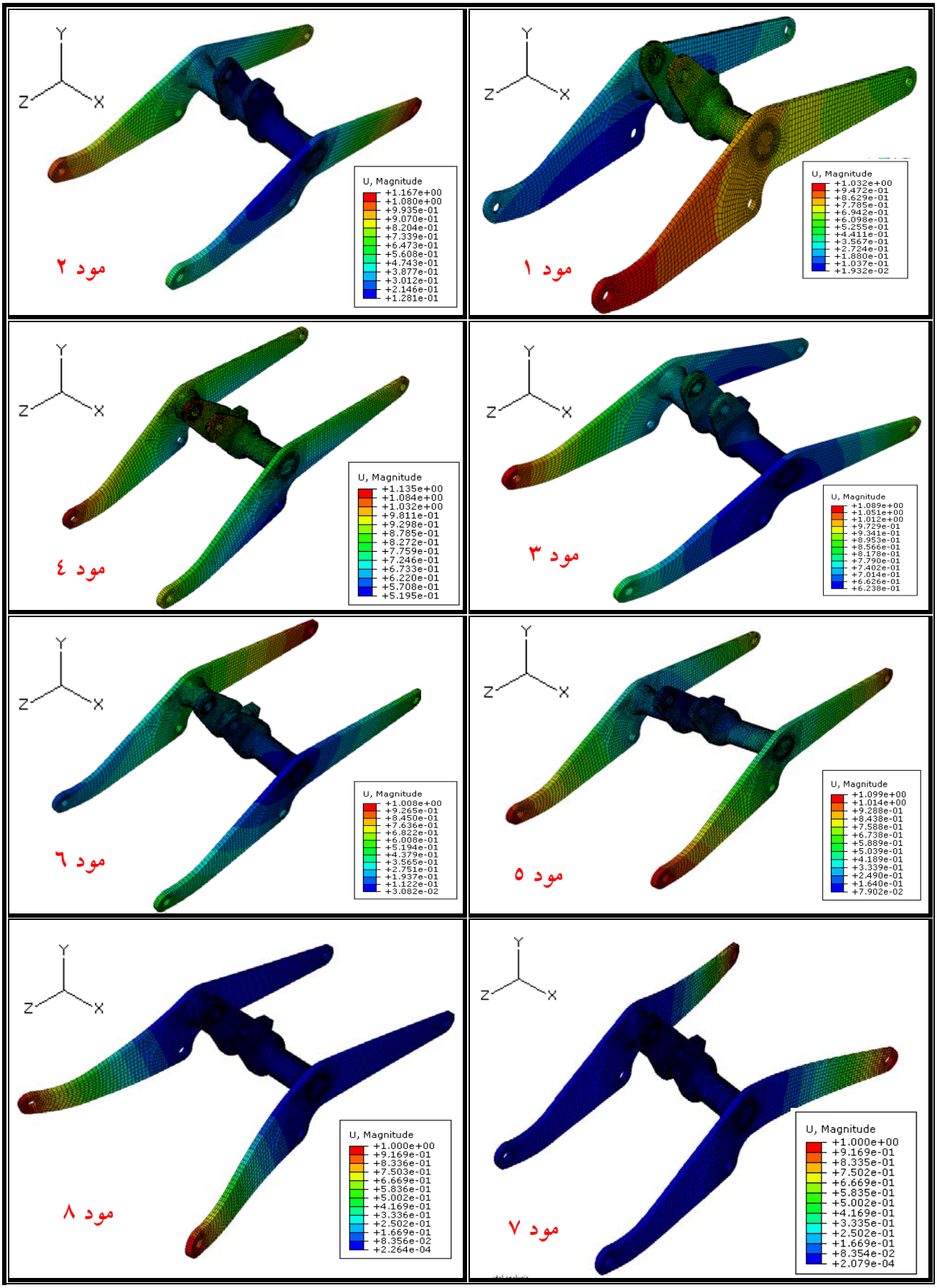
در شکل (٦) شکل‌های مود اول تا دهم نشان داده شده است. جابجایی و نوع تغییر شکل بوم در فرکانس‌های هفتم تا دهم نشان داده شده است.

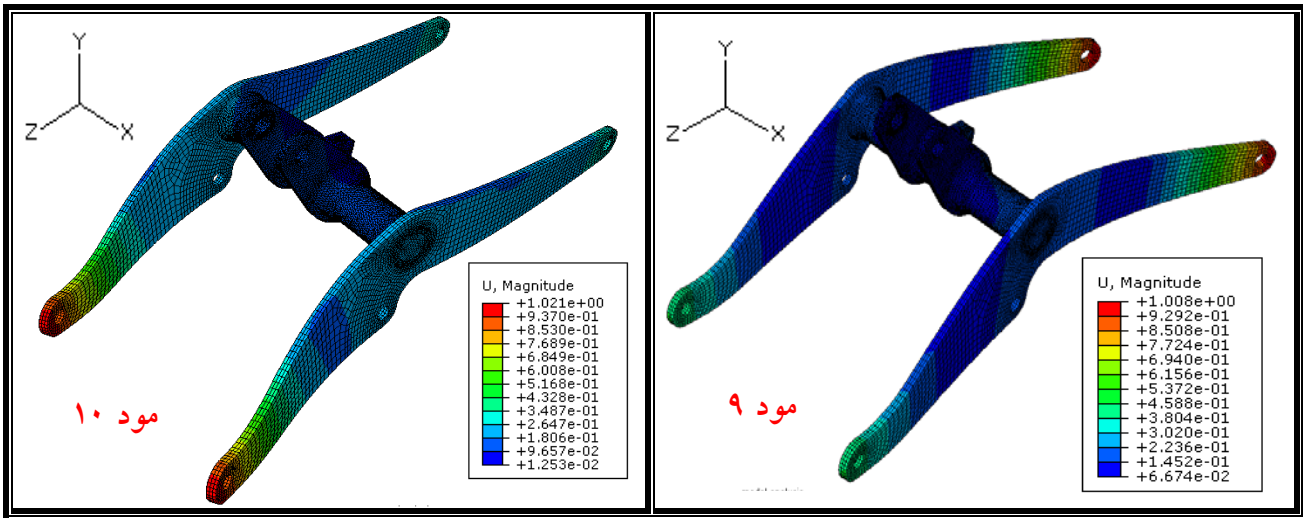
٥- نتیجه‌گیری

در این تحقیق مدل سه بعدی هندسی بدون ساده‌سازی المان‌بندی شده است. نتایج این تحقیق پژوهش نشان می‌دهد فرکانس طبیعی بحرانی در مود فتم به میزان ٢٢/٤٨ هرتز در بوم رخ می‌دهد که موجب خمش آن می‌شود.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله مراتب تشکر خود را از مدیریت شرکت هپکو جهت همکاری در این تحقیق اعلام می‌دارند.


مود ١
U, Magnitude
+1.032e+00
+9.472e-01
+8.629e-01
+7.785e-01
+6.942e-01
+6.098e-01
+5.255e-01
+4.411e-01
+3.567e-01
+2.724e-01
+1.880e-01
+1.037e-01
+1.932e-02
مود ٢
U, Magnitude
+1.167e+00
+1.080e+00
+9.935e-01
+9.070e-01
+8.204e-01
+7.339e-01
+6.473e-01
+5.608e-01
+4.743e-01
+3.877e-01
+3.012e-01
+2.146e-01
+1.281e-01
مود ٣
U, Magnitude
+1.089e+00
+1.051e+00
+1.012e+00
+9.729e-01
+9.341e-01
+8.953e-01
+8.566e-01
+8.178e-01
+7.790e-01
+7.402e-01
+7.014e-01
+6.626e-01
+6.238e-01
مود ٤
U, Magnitude
+1.135e+00
+1.084e+00
+1.032e+00
+9.811e-01
+9.298e-01
+8.785e-01
+8.272e-01
+7.759e-01
+7.246e-01
+6.733e-01
+6.220e-01
+5.708e-01
+5.195e-01
مود ٥
U, Magnitude
+1.099e+00
+1.014e+00
+9.288e-01
+8.438e-01
+7.588e-01
+6.738e-01
+5.889e-01
+5.039e-01
+4.189e-01
+3.339e-01
+2.490e-01
+1.640e-01
+7.902e-02
مود ٦
U, Magnitude
+1.008e+00
+9.265e-01
+8.450e-01
+7.636e-01
+6.822e-01
+6.008e-01
+5.194e-01
+4.379e-01
+3.565e-01
+2.751e-01
+1.937e-01
+1.122e-01
+3.082e-02
مود ٧
U, Magnitude
+1.000e+00
+9.169e-01
+8.335e-01
+7.502e-01
+6.669e-01
+5.835e-01
+5.002e-01
+4.169e-01
+3.335e-01
+2.502e-01
+1.669e-01
+8.354e-02
+2.079e-04
مود ٨
U, Magnitude
+1.000e+00
+9.169e-01
+8.336e-01
+7.503e-01
+6.669e-01
+5.836e-01
+5.002e-01
+4.169e-01
+3.336e-01
+2.502e-01
+1.669e-01
+8.356e-02
+2.264e-04



شکل ٦ : شکل مودهای اول تا دهم آنالیز مودال بوم

مراجع

۱- بی‌نام.، کاتالوگ‌های فنی و تبلیغاتی شرکت تولید تجهیزات سنگین (شرکت هپکو)www.hepcoir.com ، ۱۳۸۷.

۲- خانعلی، م.، جعفری، ع.، مبلی، ح.، رجبی‌پور، ع. بررسی استحکام مکانیکی پوسته اکسل جلو کمباین JD۹۵۵ جهت نصب بر روی کمباین بهینه با استفاده از روش اجزاء محدود. مجموعه مقالات چهارمین کنگره ماشین‌های کشاورزی. تبریز، ۱۳۸۵.

۳- شریفیان، ر. تحلیل تنش استاتیکی استیک بیل مکانیکی HEC190. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، ۱۳۸۱.

٤- کاظمی، م.، توکلی هشجین، ت.، علیزاده‌نیا، س. و آهنکری، ح.، تحلیل تحلیل تنش در گژن پین موتورهای احتراق داخلی به روش اجزای محدود با کمک نرم افزار Abaqus. مجموعه مقالات کنفرانس دانشجویی مهندسی مکانیک. مشهد ۱۳۸۸.

۵- نیکخواه بهرامی، م .تئوری ارتعاشات و کاربرد آن در مهندسی، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ.پنجم، پاییز ۱۳۸۱.

6- Bosnjak, S., Zrnic, N., Simonovic, A., Momcilovic, D. Failure analysis of the end eye connection of the bucket wheel excavator portal tie-rod support. Engineering Failure Analysis 16: 740–750. 2009.

7- Filla, R. 2005. Operator and machine models for dynamic simulation of construction machinery. Licentiate Thesis, Department of Mechanical Engineering, Linkopings University.

8- Mahanty, K. D., Manohar, V., Khomane, B, S., and Nayak, S. Analysis and Weight Reduction of a Tractor's Front Axle.Tata consultancy services, India, swarup udgata, international auto limited, India. 2001.

9- Rusinski, E., Moczko, P., Czmochowski, J. Numerical and experimental analysis of a mine's loader boom crack. Automation in Construction 17: 271–277. 2008.

10- Worley, M.D., Saponara, V.L. A simplified dynamic model for front-end loader design. Mechanical Engineering Science, 2231-2235pp. 2008.

Modal analysis of Loader Boom HWL65B by finite element method

Abstract

Loader booms are most important part in the mechanism loaders, which are located under large loads. In fact booms connected frame of linkage to loader bucket, which are set up the Z-bar mechanism. This important piece is very hard, but sometimes plastic deformation occurred in them because vibration. To determine the natural frequency of segment to prevent resonance phenomenon is essential and very important, In fact identify critical velocity for determined resonance frequency range were indeed. This study done accurately modeling and 3D-full model of loader boom (HWL65B) meshing assisted engineering process (CAE). In this research for 3D modeling use Mechanical software, for meshing and create 3D finite element model using HyperMesh software, and modal analysis by Abaqus to determine the natural frequencies and mode shape loader boom. The results show that the 1-6 mode frequency equal near to zero and move of assembly is rigid, and natural frequencies of seventh mode (resonance frequency) was 22.48 Hz, Therefore consider the slow motion of loader boom, occur resonance phenomenon in this piece were very low Possibility.

Keywords: Loader Boom– Modal Analysis – Natural Frequency – Mode Shape – Finite Element– Abaqus®