

تحلیل اجزای محدود مکانیزم ایمنی در یک کنترل کننده مکانیکی

مهدی مساح^۱ کورش حسن پور^۲ مهرداد پورسینا^{۳*} مهدی سلمانی تهرانی^۴ مسیح سنبلستان^۵

* نویسنده مسئول: poursina@iaukhsh.ac.ir

چکیده

در این تحقیق رفتار دینامیکی مکانیزم ایمنی مربوط به یک کنترل کننده به کمک روش اجزاء محدود سه بعدی شبیه سازی شده و مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. این تحقیق بر روی کنترل کننده مربوط به پرتابه های با شتاب بالا تمرکز دارد. این کنترل کننده از نوع مکانیکی بوده و در نوک پرتابه قرار می گیرد. در این مکانیزم قطعات به دو دسته صلب و تغییر شکل پذیر تقسیم می شوند. قطعه تغییر شکل پذیر در نرم افزار آباکوس و قطعات صلب در نرم افزار آدامز شبیه سازی می شوند. هدف از انجام این تحقیق بررسی نحوه تغییر شکل پلاستیک قطعه تغییر شکل پذیر یعنی رینگ ایمنی و شبیه سازی عمل چرخیدن روتور یا انجام عمل مکانیزم ایمنی و مدت زمان مورد نیاز برای انجام آن می باشد. همچنین به دست آوردن زمان و سرعت زاویه مورد نیاز برای آغاز باز شدن رینگ ایمنی و بیرون آمدن پین ایمنی و سرعت زاویه متناظر با شروع چرخش روتور که سوراخ آن با محور سوزن یا سوراخ راهنما همراستا می شود، به عنوان پارامترهای مهم در مکانیزم ایمنی مطرح بوده و مورد بررسی قرار می گیرند.

واژه های کلیدی: مکانیزم ایمنی، کنترل کننده، اجزا محدود سه بعدی.

- ۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر
- ۲ - استادیار دانشکده مکانیک، دانشگاه اصفهان
- ۳ - استادیار دانشکده مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر
- ۴ - استادیار دانشکده مکانیک، دانشگاه شهرکرد
- ۵ - کارشناس ارشد دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان

۱- مقدمه

از بین قطعات مکانیزم ایمنی، رینگ ایمنی غیرصلب و بقیه صلب فرض می‌شوند. چون ممکن است پین ایمنی از سوراخ مربوطه در روتور بیرون بیاید، به وسیله رینگ ایمنی که دور محفظه روتور پیچیده شده، در جای خود مقید شده است تا در زمان حمل و نقل، افتادن روی زمین یا هرگونه حادثه ناگهانی قبل از پرتاب، از جای خود خارج نشود.

رینگ ایمنی، یک نوار فلزی نازک از جنس فولاد است. با پرتاب پرتابه، تمامی اجزاء و از جمله رینگ ایمنی شروع به دوران با شتاب زاویه‌ای بسیار زیاد می‌کند. در اثر دوران و سرعت‌های زاویه‌ای بالا و در اثر نیروهای گریز از مرکز حاصل از آنها، رینگ ایمنی تغییر شکل پلاستیک داده و باز می‌شود. با باز شدن رینگ، پین ایمنی از روتور جدا و روتور آزاد می‌شود و برای رسیدن به حالت تعادل خود، می‌چرخد و سوراخ آن با سوزن هم‌راستا می‌شود [۱۰].

بنابراین تا قبل از پرتاب، پین ایمنی نمی‌تواند از جای خود بیرون آمده و روتور را آزاد کند و به این صورت ایمنی تا قبل از پرتاب پرتابه تأمین می‌شود. در این تحقیق، باز شدن قطعه تغییرشکل پذیر یعنی رینگ ایمنی به روش اجزاء محدود سه بعدی در نرم‌افزار آباکوس^۱ و عمل چرخیدن روتور در نرم‌افزار آدامز^۲ شبیه‌سازی شده و مورد بررسی قرار می‌گیرند. در شبیه‌سازی آباکوس، لحظه شروع باز شدن رینگ ایمنی و نحوه تغییرشکل آن و همچنین سرعت زاویه‌ای مورد نیاز برای باز شدن آن و بیرون آمدن پین ایمنی از سوراخ روتور مورد بررسی قرار می‌گیرد. در شبیه‌سازی آدامز، مدت زمان و سرعت زاویه‌ای لازم برای چرخیدن روتور و هم‌راستا شدن سوراخ آن با محور سوزن، با توجه به شکل (۱)، یا به عبارت دیگر فعال شدن کنترل کننده مورد بررسی قرار می‌گیرد.

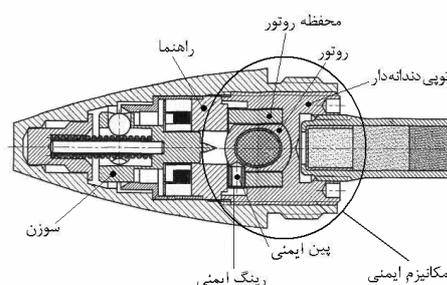
۲- فرایند شبیه‌سازی در نرم‌افزار

این تحقیق به روش المان محدود و با استفاده از نرم‌افزارهای آباکوس و آدامز انجام می‌شود. در میان

کنترل کننده‌های حرکت پرتابه‌ها از اهمیت خاصی برخوردار هستند. به علت تنوع اجسام پرتاب شونده، به طور طبیعی شکل، اندازه، و نحوه عملکرد این کنترل کننده‌ها نیز بسیار متنوع است [۲، ۱]. کنترل کننده به انواع وسایلی گفته می‌شود که برای رسیدن به اهداف؛ ایمن سازی، تنظیم زنجیره عملکرد و عملکرد نهایی بکار می‌روند [۳، ۴]. کنترل کننده‌ها در انواع پرتابه‌ها کاربرد دارند.

کنترل کننده حرکت پرتابه دارای مکانیزم‌های مختلفی می‌باشد که هر کدام وظیفه خاصی را بر عهده دارند. یکی از مکانیزم‌های مهم در این کنترل کننده‌ها، که به محض پرتاب پرتابه وارد عمل می‌شود، مکانیزم ایمنی است [۵]. این مکانیزم به نحوی طراحی و ساخته می‌شود که امکان عملکرد کنترل کننده تا قبل از پرتاب پرتابه وجود ندارد. در واقع مکانیزم ایمنی در کنترل کننده نقش ایمنی قبل از پرتاب را به عهده دارد [۶]. مکانیزم ایمنی به صورت طرح‌های مختلفی ارائه شده است، مثلاً مکانیزم زیگزاگ [۷] و مکانیزم شتاب جاذبه صفر [۸] دو نمونه از این طرح‌ها می‌باشند. مکانیزم ایمنی در این تحقیق از نوع مکانیزم‌های روتوردار است [۹].

کنترل کننده مورد نظر در این تحقیق، یک کنترل کننده مکانیکی است که در نوک پرتابه قرار می‌گیرد. همچنین این تحقیق بر روی کنترل کننده مربوط به پرتابه‌های با شتاب بالا تمرکز دارد. در شکل (۱) نمای برش خورده این کنترل کننده همراه با مکانیزم ایمنی آن مشاهده می‌شود. همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، یک نوع آغازگر حساس به ضربه در داخل روتور قرار دارد که در اثر ضربه سوزن عمل می‌کند، ولی تا قبل از پرتاب، مکانیزم ایمنی به گونه‌ای قرار داده شده که از این عمل جلوگیری می‌کند.



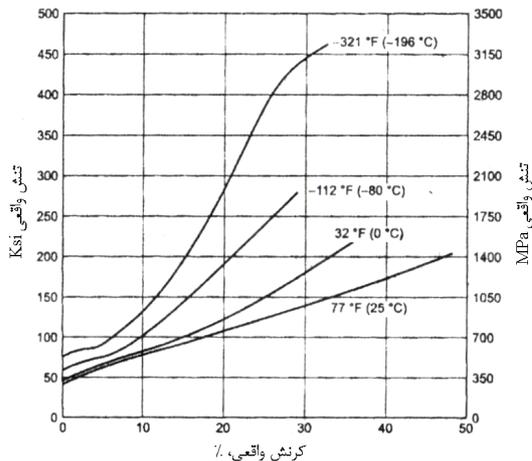
شکل (۱) نمای برش خورده کنترل کننده مربوط به این تحقیق

۱ - ABAQUS

۲ - ADAMS

جدول (۱) خواص فولاد [۱۱]

۲۰۰ GPa	مدول الاستیک
۳۰۰ MPa	تنش تسلیم
۷۸۵۰ kg/m ^۳	چگالی
۰/۳	ضریب پواسون



شکل (۳) منحنی تنش - کرنش واقعی فولاد [۱۱]

برای بیان نوع تماس ها و خواص آنها از روش سینماتیک و پنالتی استفاده شده است. شرایط تماس پنج جفت تماس و یک خودتماسی^۲ ایجاد شده، در جدول (۲) از شماره ۱ تا ۶ آورده شده است.

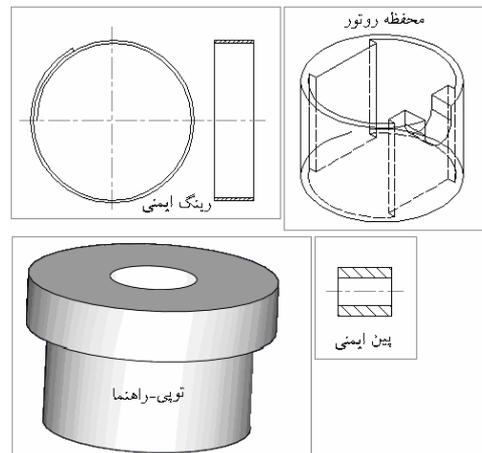
جدول (۲) شرایط تماسی و ضرایب اصطکاک [۱۲]

شماره	جفت تماس	ضریب اصطکاک
۱	تویی راهنما- رینگ ایمنی	۰/۴
۲	پین ایمنی - تویی راهنما	۰/۴
۳	پین ایمنی - رینگ ایمنی	۰/۲
۴	پین ایمنی - محفظه روتور	۰/۰۴
۵	رینگ ایمنی - محفظه روتور	۰/۰۴
۶	رینگ ایمنی (خود تماسی)	۰/۲
۷	پین ایمنی - تویی دندانه دار	۰/۴
۸	روتور - محفظه روتور	۰/۰۴
۹	روتور - راهنما	۰/۴
۱۰	روتور - تویی دندانه دار	۰/۴
۱۱	روتور - پین ایمنی	۰/۲

نرم افزارهایی که از روش اجزای محدود برای آنالیز مسائل مهندسی استفاده می نمایند، نرم افزار آباکوس به علت قابلیت های منحصر به فرد خود مثل سهولت در ایجاد تماس بین سطوح و امکان تحلیل مسائل به روش صریح برای تحلیل قطعه تغییر شکل پذیر استفاده می شود. تحلیل دینامیکی قطعات صلب در نرم افزار آباکوس پیچیده و دشوار می باشد. به همین منظور برای تحلیل دینامیکی قطعات صلب از نرم افزار آدامز استفاده می شود. آدامز یکی از قوی ترین، کاربردی ترین و معروف ترین نرم افزارهای تحلیل دینامیکی و طراحی مکانیزم ها می باشد.

۱-۲- فرایند شبیه سازی قطعه تغییر شکل پذیر با نرم افزار آباکوس

به علت هندسه غیر خطی و اثرات مادی غیر خطی، حل تحلیلی برای این قطعه وجود نداشته و ناگزیر به استفاده از روش اجزا محدود به کمک نرم افزار آباکوس می باشد. هندسه غیر خطی به علت شکل پیچیده این قطعه بوده و اثرات مادی غیر خطی به خاطر تغییر شکل پلاستیک در این قطعه می باشد. در شکل (۲) اجزاء مورد نیاز برای ایجاد مدل سه بعدی در نرم افزار آباکوس نمایش داده شده است.

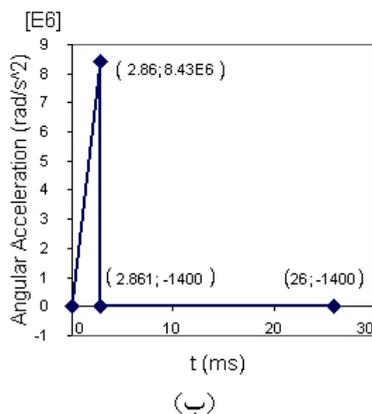
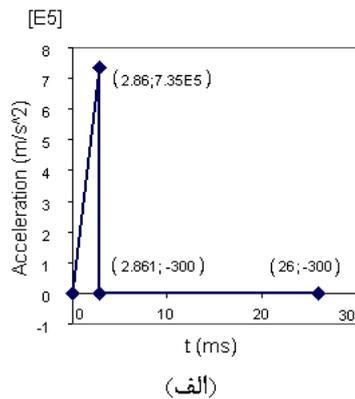


شکل (۲) اجزای مدل سازی سه بعدی در نرم افزار آباکوس

جنس رینگ ایمنی از فولاد^۱ بوده که خواص و منحنی تنش - کرنش آن به ترتیب در جدول (۱) و شکل (۳) مشاهده می شود.

^۲ - Self Contact

^۱ - X1۲CRNi1۸-۸



شکل (۵) تغییرات شتاب خطی و شتاب زاویه‌ای نسبت به زمان

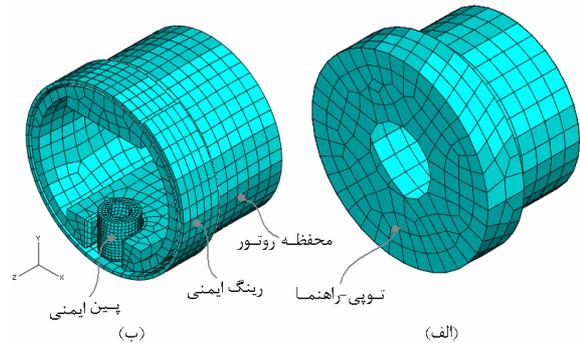
(الف) شتاب خطی ب) شتاب زاویه‌ای

این شبیه‌سازی برای مدت زمان $\Delta t_{tot} = 26 \text{ (ms)}$ انجام شده که مدت زمان مرحله اول $\Delta t_1 = 2,786 \text{ (ms)}$ می‌باشد. روش حل در این شبیه‌سازی، آباکوس-صریح^۵ می‌باشد. این روش برای حل مسائل اجزاء محدود دینامیکی و تحلیل شبه‌استاتیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. حل گر مورد استفاده در این روش برای مدل کردن وقایع دینامیکی گذرا از قبیل مسائل ضربه، سقوط آزاد، برخورد و نیز برای مسائل غیرخطی زیادی از قبیل شکل دهی که شرایط تماس پیچیده در آن وارد می‌شود، مفید است [۱۳].

۲-۲- فرایند شبیه‌سازی قطعات صلب با نرم‌افزار آدامز

معادلات دینامیکی مربوط به مکانیزم ایمنی پیچیده و غیرخطی بوده و حل این معادلات مشکل می‌باشد. به همین دلیل

نوع المان استفاده شده در این شبیه‌سازی برای قطعه تغییر شکل پذیر، المان پوسته‌ای پیوستار^۱ می‌باشد. بقیه قطعات در این شبیه‌سازی از نوع صلب گسسته^۲ در نظر گرفته شده و برای آنها المان صلب چهاروجهی^۳ استفاده شده است. در شکل (۴) مدل سه‌بعدی با مش‌بندی نمایش داده شده است.



شکل (۴) مدل مش‌بندی شده

(الف) مونتاژ مدل ب) قطعه توپی-راهنما نامرئی شده

در این شبیه‌سازی، شرایط مرزی از نوع سینماتیکی می‌باشد که به صورت شتاب زاویه‌ای و شتاب خطی به مجموعه قطعات توپی-راهنما و محفظه روتور در دو مرحله^۴ وارد می‌شود. در مرحله اول که مربوط به ایجاد شتاب لازم برای طی تمام مسیر حرکت در پرتابه است، شتاب خطی و زاویه‌ای توپی دندانه‌دار با نرخ بسیار زیادی به صورت خطی افزایش می‌یابد و در مرحله دوم به سبب نیروی مقاومت هوا، شتاب خطی و زاویه‌ای پرتابه کاهش یافته و ثابت خواهد بود.

شتاب خطی و شتاب زاویه‌ای در مرحله اول از مقدار صفر به ترتیب به مقادیر $0,735 \times 10^6 \text{ (m/s}^2\text{)}$ و $8,431 \times 10^6 \text{ (rad/s}^2\text{)}$ می‌رسد. مقدار شتاب خطی و شتاب زاویه‌ای کاهش یافته نیز در مرحله دوم به ترتیب برابر $300 \text{ (m/s}^2\text{)}$ ، $-1400 \text{ (rad/s}^2\text{)}$ می‌باشد. در شکل (۵) توابع شتابها آمده است.

۱ - SCAR

۲ - Discrete rigid

۳ - R2D4

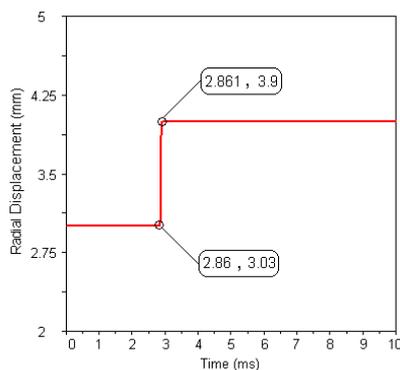
۴ - Step

۵ - ABAQUS/Explicit

جدول (۴) قیود مورد نیاز

نوع قید	جفت قطعه
Fix	محفظه روتور- توپی دندانه دار
Fix	راهنما- توپی دندانه دار

توابع حرکت در نرم افزار آدامز روی نقطه حرکت عمومی^۱ قرار داده می شود. دو عدد از این نقاط در این شبیه سازی تعریف می شود. یکی از این نقاط روی مرکز جرم پین ایمنی قرار داده می شود. تابع حرکت آن به گونه ای تعریف می شود که در زمان مورد نظر پین از سوراخ روتور بیرون آمده و روتور آزاد می شود. این تابع حرکت از نتایج شبیه سازی بخش (۲-۱) بوده و در شکل (۷) آمده است.



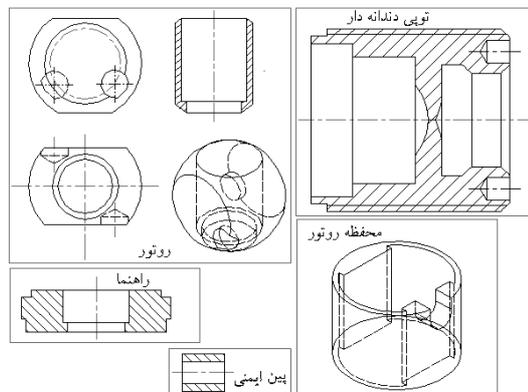
شکل (۷) تابع حرکت مرکز جرم پین ایمنی

نقطه دوم در مرکز جرم توپی دندانه دار قرار داده می شود. در نقطه دوم تابع حرکت کل مکانیزم به صورت شتاب خطی و شتاب زاویه ای اعمال می گردد. توابع شتاب خطی و زاویه ای به صورت شکل (۵) در بخش ۲-۱ است.

۳- نتایج و بحث

در این بخش نتایج مربوط به نحوه تغییر شکل پلاستیک رینگ ایمنی، سرعت زاویه مورد نیاز برای آغاز آن، عمل چرخیدن روتور و سرعت زاویه لحظه چرخیدن روتور مورد بررسی قرار می گیرند.

برای تحلیل قطعات صلب، استفاده از شبیه سازی به کمک نرم افزار آدامز اجتناب ناپذیر است. در شکل (۶) اجزای مورد نیاز برای ایجاد مدل سه بعدی در نرم افزار آدامز نمایش داده شده است.



شکل (۶) اجزاء مدل سازی سه بعدی در نرم افزار آدامز

نرم افزار آدامز در مقایسه با نرم افزارهای دیگر امکانات بسیار محدودی برای ایجاد مدل هندسی قطعات در اختیار می گذارد. از طرف دیگر انتقال مدل از نرم افزارهای دیگر امکان برهم زدن مرکز جرم و از دست دادن ممان های اینرسی جرمی را به وجود می آورد. بنابراین بهتر است قطعات در خود نرم افزار آدامز ایجاد شوند. قطعات این مکانیزم در خود نرم افزار، ایجاد و سپس روی هم مونتاژ شده اند. جنس و چگالی قطعات در جدول (۳) گزارش شده است.

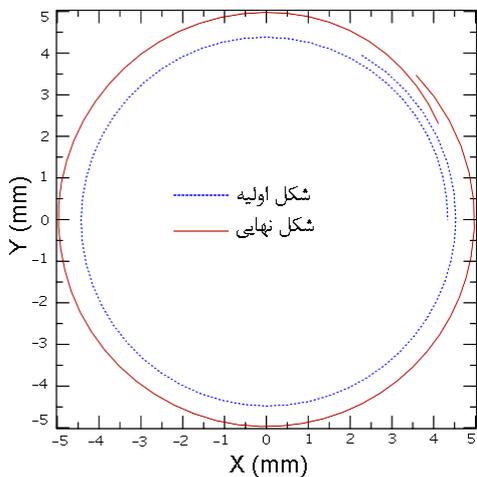
جدول (۳) جنس و چگالی قطعات

قطعه	جنس	چگالی kg/m^3
راهنما	آلیاژ آلومینیوم-F44	۲۷۴۰
توپی دندانه دار	آلیاژ آلومینیوم-F44	۲۷۴۰
پین ایمنی	فولاد	۷۸۰۰
روتور	فولاد	۷۸۰۰
محفظه روتور	PVC	۱۳۸۰

برای بیان نوع تماس ها و خواص آنها از روش پنهالتی استفاده می شود. شرایط تماس پنج جفت تماس ایجاد شده، در جدول (۲) از شماره ۷ تا ۱۱ مشاهده می شود. قیود مورد نیاز بین قطعات در جدول (۴) آمده است.

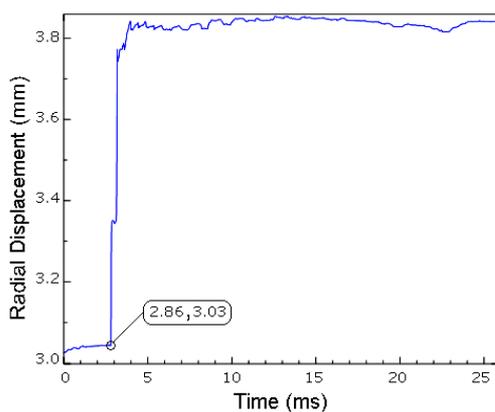
۱ - General Point Motion(GPM)

محیط خارجی رینگ ایمنی در حالت شروع و پایان شبیه سازی با هم مقایسه شده است. در این شکل می توان به خوبی نحوه و میزان باز شدن رینگ ایمنی را مشاهده کرد. زمان بیرون آمدن پین ایمنی نیز بسیار مهم است که این زمان برابر $\Delta t = 2.86 \text{ ms}$ است که پایان مرحله اول است.



شکل (۹) محیط خارجی رینگ ایمنی

در شکل (۱۰) می توان افزایش ناگهانی جابه جایی شعاعی مرکز جرم پین ایمنی را در این زمان مشاهده کرد که نشانه بیرون آمدن پین ایمنی است. لازم به ذکر است که با وجود باز شدن رینگ ایمنی، پین به علت اصطکاک زیاد ناشی از سرعت زاویه ای از محل خود خارج نمی شود و این امر در پایان مرحله اول انجام می شود.

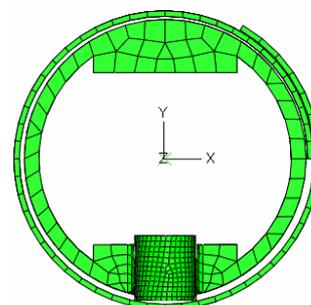


شکل (۱۰) جابه جایی شعاعی مرکز جرم پین ایمنی نسبت به زمان

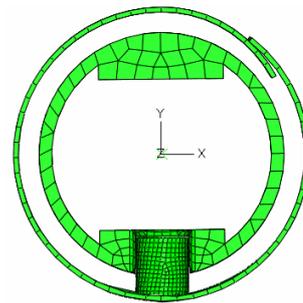
در شکل (۱۱) کانتور توزیع تنش برای رینگ ایمنی نمایش داده شده است. با توجه به مقادیر تنش مشخص است که رینگ ایمنی دچار تغییر شکل پلاستیک شده است.

۳-۱- نحوه تغییر شکل پلاستیک رینگ ایمنی

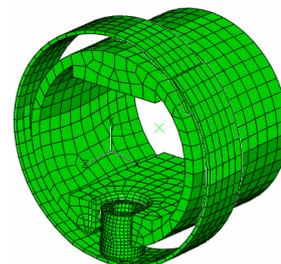
در شکل (۸) چگونگی تغییر شکل پلاستیک رینگ ایمنی و وضعیت پین ایمنی در ابتدا و انتهای شبیه سازی در نرم افزار آباکوس نمایش داده شده است. بیرون آمدن پین ایمنی از سوراخ روتور، شکل (۱)، به عنوان پارامتر مهمی در مکانیزم ایمنی و کنترل کننده مطرح است زیرا باعث فعال کردن کنترل کننده پس از پرتاب می شود، که این امر در شبیه سازی انجام شده و در شکل (۸) دیده می شود.



(الف)



(ب)



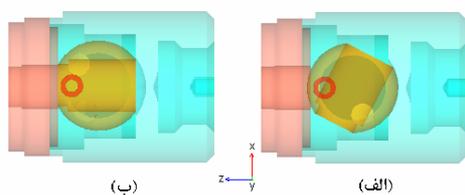
(ج)

شکل (۸) نحوه تغییر شکل رینگ ایمنی و وضعیت ابتدا و انتهای پین ایمنی

الف: در شروع ب: در پایان ج: نمای سه بعدی پایان شبیه سازی

لحظه باز شدن رینگ ایمنی در 0.00228 ثانیه پس از شروع شبیه سازی است و این رینگ در مدت زمان $\Delta t = 0.0171$ ثانیه به صورت کامل باز می شود. در شکل (۹)

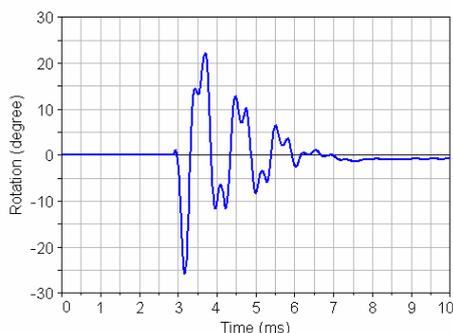
نهایی کنترل کننده مؤثر است. در شکل (۱۳) حالت قبل از پرتاب و حالت نهایی شبیه سازی مکانیزم نمایش داده شده است. با توجه به شکل (۱۳) مشاهده می شود که در مرحله اول پرتاب، روتور چرخیده و سوراخ آن با محور سوزن یا سوراخ راهنما هم راستا شده است. در این شکل محفظه روتور مخفی شده تا روتور به خوبی دیده شود. همچنین مدت زمان لازم برای چرخش روتور مهم است. این مدت زمان برابر $\Delta t = 6ms$ بعد از شروع پرتاب به دست آمده است. بعد از گذشت این زمان کنترل کننده از حالت ایمنی خارج شده و به عبارت دیگر فعال شده است.



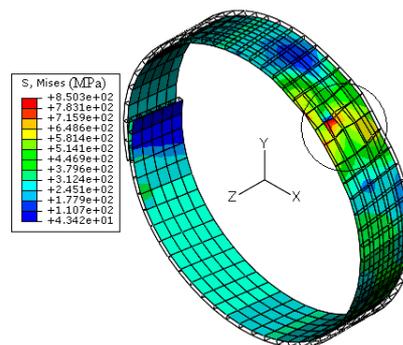
شکل (۱۳) وضعیت روتور

(الف) قبل از پرتاب (ب) حالت نهایی شبیه سازی

در شکل (۱۴) میزان چرخش روتور حول محور λ مرکز جرم روتور نشان داده شده است. بزرگترین زاویه چرخش بعد از شروع چرخش روتور حول محور λ ، برابر $\theta = 26^\circ$ است. روتور پس از چند نوسان سرانجام ثابت شده و سوراخ آن روبروی سوراخ راهنما یا محور سوزن قرار می گیرد. علت این نوسانات تغییر وضعیت روتور بعد از آزاد شدن آن می باشد. این نوسانات به علت وجود اصطکاک مستهلک شده و باعث ثبات در وضعیت روتور می شود.



شکل (۱۴) میزان چرخش روتور حول محور λ بر حسب زمان

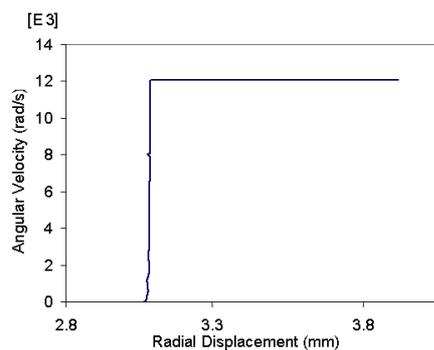


شکل (۱۱) کانتور توزیع تنش میز برای رینگ ایمنی

۲-۳- سرعت زاویه مورد نیاز

سرعت زاویه ای خاصی از مکانیزم که در آن رینگ ایمنی شروع به باز شدن یا تغییر شکل پلاستیک می کند، به عنوان پارامتر مهمی در مکانیزم ایمنی مطرح است. زیرا در صورت باز نشدن، کنترل کننده فعال نشده و عمل آن با شکست مواجه خواهد شد. این سرعت زاویه ای در شبیه سازی برابر $W_z = 7714/1 (rad/s)$ به دست آمده است. همچنین سرعت زاویه ای متناظر با بیرون آمدن پین $W_{z'} = 12020 (rad/s)$ است.

در شکل (۱۲) نمودار سرعت زاویه ای بر حسب جابه جایی شعاعی پین ایمنی آمده است. با توجه به این شکل مشخص است که جابه جایی شعاعی پین ایمنی در سرعت زاویه $W_{z'} = 12020 (rad/s)$ افزایش یافته یا به عبارت دیگر پین از محل خود بیرون آمده است.



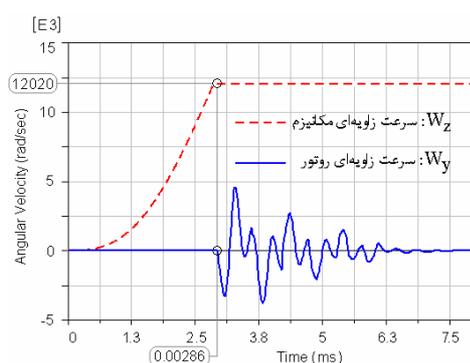
شکل (۱۲) سرعت زاویه ای نسبت به جابه جایی شعاعی پین ایمنی

۳-۳- عمل چرخیدن روتور و مدت زمان انجام آن

در مکانیزم ایمنی، چرخش روتور و هم راستا شدن سوراخ آن با محور سوزن بسیار مهم بوده و در عملکرد

۳-۴- بررسی سرعت زاویه لحظه چرخیدن روتور

سرعت زاویه‌ای که در آن روتور شروع به چرخش حول محور Y می‌کند، شکل (۱۳)، به عنوان پارامتر مهمی در مکانیزم ایمنی مطرح است. در شکل (۱۵) سرعت زاویه‌ای مکانیزم حول محور Z همراه با سرعت زاویه‌ای روتور حول محور Y بر حسب زمان نمایش داده شده است. منحنی با خط توپر تغییرات سرعت زاویه‌ای روتور حول محور Y بر حسب زمان می‌باشد که نوسانات آن نشان‌دهنده نامتعادل بودن روتور در ابتدا می‌باشد ولی پس از مدت زمان $\Delta t = 4/14 \text{ ms}$ از شروع چرخش روتور حول محور Z ، شکل (۱۳)، روتور به حالت تعادل رسیده و سوراخ آن با سوراخ راهنما هم‌راستا می‌شود. علت این نوسانات تغییر وضعیت روتور بعد از آزاد شدن آن است. این نوسانات به علت وجود اصطکاک مستهلک شده و باعث صفر شدن سرعت زاویه‌ای روتور حول محور Y می‌شود. منحنی با خط چین تغییرات سرعت زاویه‌ای مکانیزم حول محور Z ، شکل (۱۳)، بر حسب زمان است. روتور به محض آزاد شدن شروع به چرخش می‌کند. سرعت زاویه‌ای متناظر $\omega_s = 12020 \text{ (rad/s)}$ است.



شکل (۱۵). تغییرات سرعت زاویه‌ای بر حسب زمان

۴-۱- کیفیت پدیده

اطلاعات عملی مربوط به عملکرد مکانیزم ایمنی در حین حرکت در صنعت و برخی هندبوکها در دسترس است [۴] و [۱۰]. در این بخش درستی موارد رخ داده در خلال شبیه‌سازی‌ها برای هر مکانیزم از نظر کیفی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در شبیه‌سازی مکانیزم ایمنی، در اثر دوران و سرعت‌های زاویه‌ای بالا و در اثر نیروهای گریز از مرکز حاصل از آنها، رینگ ضامن تغییر شکل پلاستیک داده و باز شد. با باز شدن رینگ ایمنی، پین ایمنی از روتور جدا و روتور آزاد شده و برای رسیدن به حالت تعادل خود، چرخید و سوراخ آن با سوزن هم‌راستا شد که این موارد رخ داده شده در خلال شبیه‌سازی، مشابه با نتایج موجود از صنعت و هندبوک‌ها در مورد عملکرد این مکانیزم ایمنی است [۴] و [۱۰]. بنابراین با توجه به موارد گفته شده در این بخش، عملکرد مکانیزم ایمنی در شبیه‌سازی از نظر کیفی تأیید می‌شود.

۴-۲- کمیت‌ها

شتاب خطی شبیه‌سازی از مرتبه (m/s^2) 10^6 است. ایجاد این شتاب فوق‌العاده در فاصله زمانی بسیار کوتاه که از مرتبه (s) 10^{-3} است به توان بسیار زیادی نیاز دارد. از سوی دیگر، ادوات دستگاه آزمایش که شتاب خطی مذکور را تحمل نمایند، حتی با داشتن جرمهای کم، نیروهای بسیار زیادی را متحمل می‌شوند. به نظر می‌رسد ایجاد شتاب خطی لازم امکان‌پذیر نیست. همچنین سرعت زاویه اجزای مکانیزم از مرتبه (rpm) 10^4 می‌باشد. یاتاقان‌هایی که در دستگاه آزمایش، این سرعت زاویه‌ای را تحمل می‌کنند، باید یاتاقان‌های خاصی باشند. همچنین در اندازه‌گیری متغیرهای اجزای مکانیزم‌ها محدودیت‌هایی وجود دارد.

برای بررسی صحت کمی نتایج به دست آمده از این شبیه‌سازی باید آنها را با نتایج حاصل از تست تجربی مقایسه

۴- تطبیق شبیه‌سازی‌ها با نتایج واقعی

در این بخش تطبیق شبیه‌سازی‌ها با نتایج واقعی از نظر کیفی و کمی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

- Semi-Infinite Targets, *International Journal of Impact Engineering*, ۳۴, ۲۰۰۷, pp. ۱۰۰۹-۱۰۲۱.
- [۳] Budge A.M., *Aerodynamic Fuze Characteristics for Trajectory Control*, Massachusetts Institute of Technology, University of California, June ۱۹۹۸.
- [۴] AMCP-۷۰۶-۲۱۰, *Engineering Design Handbook, fuzes*, ۱۵ April ۱۹۹۴.
- [۵] Gazonas G.A., Segletes S.B., Boyle V.M., Stegall S.R., *Oblique Impact Modeling of Fuzes*, *International Journal of Impact Engineering*, ۲۰۰۲.
- [۶] Davis H.J., Kraft J.H., *Design Safety And Arming Device*, Harry Diamond Laboratory, Adelphi, MD, ۲۵ July ۱۹۷۴.
- [۷] Overman L., *Design of Zigzag Mechanism Draft*, Harry Diamond Laboratory, Adelphi, MD, ۲ February ۱۹۹۸.
- [۸] Silvers L.D., *Mechanical Zero G Device*, NOLTR ۶۴-۱۲۷, Naval Ordnance Laboratory, Silver, MD, ۳۱ December ۱۹۹۴.
- [۹] Anderson C.E., Sharron T.R., Walker J.D., Freitas C.J., *Simulation and Analysis of a ۲۳-mm HEI Projectile*, *International Journal of Impact Engineering*, ۲۲, ۱۹۹۹, pp. ۹۸۱-۹۹۷.
- [۱۰] MIL-HDBK-۷۵۷(AR), *Military Handbook, Fuzes*, ۱۳ November ۲۰۰۱.
- [۱۱] *Atlas of Stress-Strain Curves (۲nd Ed.)*, ASM International, November ۲۰۰۲.
- [۱۲] مسگر هروی، م.، تحلیل و طراحی مکانیزم‌ها با ADAMS، مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران، چاپ اول، ۱۳۸۶.
- [۱۳] *Abaqus Analysis Users Manual.version ۶.۷, Explicit Dynamic Analysis.*

کنیم. با توجه به محدودیت‌های ذکر شده در این بخش، اصولاً اندازه‌گیری میدانی حین عملکرد از مکانیزم‌های کنترل‌کننده مثل موقعیت، سرعت خطی و سرعت زاویه‌ای نسبی قطعات مکانیزم نسبت به بدنه کنترل‌کننده امکان‌پذیر نیست.

۵- نتیجه‌گیری

قطعه تغییرشکل‌پذیر مکانیزم ایمنی یک کنترل‌کننده مکانیکی به روش اجزاء محدود سه‌بعدی در نرم‌افزار آباکوس و قطعات صلب آن در نرم‌افزار آدامز شبیه‌سازی شدند و چگونگی عملکرد قطعات صلب و تغییرشکل‌پذیر این مکانیزم در حین حرکت با اطلاعات در دسترس از صنعت و هندبوک‌ها به صورت کیفی مقایسه شده و عملکرد مکانیزم ایمنی در شبیه‌سازی از نظر کیفی تأیید گردید. با توجه به موارد گفته شده این شبیه‌سازی‌ها می‌تواند به‌عنوان یک روش مناسب و ساده‌تر برای تحلیل قطعات صلب و تغییرشکل‌پذیر مکانیزم ایمنی مورد استفاده قرار بگیرد و تغییرات پارامترهای مختلف هندسی و مکانیکی روی آن بررسی شود.

لازم به ذکر است زمان و سرعت زاویه‌ای شروع باز شدن رینگ ایمنی و بیرون آمدن پین ایمنی، مدت زمان و میزان چرخش روتور و سرعت زاویه‌ای لازم جهت چرخش روتور یا هم‌راستا شدن سوراخ آن با محور سوزن و ثابت شدن وضعیت آن به عنوان پارامترهای مهم در مکانیزم ایمنی و در کنترل‌کننده مورد بررسی قرار گرفت.

مراجع

- [۱] Ben-Dor G., Dubinsky A., Elperin T., *Ballistic Impact: Recent Advances in Analytical Modeling of Plate Penetration Dynamics—a Review*, *Appl Mech Rev*, ۵۸, ۲۰۰۵, pp. ۳۵۵-۳۷۱.
- [۲] Galanov B.A., Kartuzov V.V., Lyanov S.M., *Numerical-Analytical Model of Penetration of Long Elastically Deformable Projectiles in to*