



www.ElitesJournal.ir

مجله نخبگان علوم و مهندسی

Journal of Science and Engineering Elites

ISSN 2538-581X

جلد ۲- شماره ۱- سال ۱۳۹۶



نفوذ پرتابه مدل سازی عددی صلب سرعت بالا در صفحه FML با رویه آلومینیومی و هسته کامپوزیتی با استفاده از نرم افزار آباکوس

سیاوش احمدی^{۱*}، مهران فخرایی لاهیجی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان

۲- استادیار گروه مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان

*Siavash83@yahoo.com

ارسال: اسفند ۱۳۹۵ پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۶

خلاصه

در ابتدای امر فلزاتی مانند آلومینیوم و فولاد زمینه اصلی تحقیقات اصلی دانشمندان فعال در حوزه برخورد را شامل می شد چراکه این دسته از مواد استفاده گسترده ای را در صنایع نظامی دارا می باشد اما در سال های اخیر با ظهور دسته جدیدی از مواد در دنیای صنعت علاوه بر فلزاتی مانند آلومینیوم این دسته از مواد زمینه اصلی تحقیقات دانشمندان را شامل می شود چرا اینکه کامپوزیت ها موادی هستند که دارای نسبت وزن به استحکام بالایی هستند. اما بزرگترین نقطه ضعف کامپوزیت ها آسیب پذیری آن ها در مقابل ضربه است چراکه این مواد به راحتی در برابر ضربه خاصیت خود را از دست می دهد و دچار شکست می شوند. یکی از راهکارهایی که دانشمندان برای برطرف کردن این نقیصه بزرگ ابداع کردند استفاده کامپوزیت ها به همراه فلزات سبکی مانند آلومینیوم است و در این قسمت پل های ساندویچی پا در عرصه صنعت به خصوص صنایع هوایی و دریایی نهاد لازم به ذکر است پنلهای ساندویچی عمدتاً از هسته کامپوزیتی تشکیل شده است. مدلسازی های انجام شده قبلی اثر برخورد پرتابه به صفحه آلومینیوم می باشد. مدلسازی تشریح شده در پروژه حال حاضر استفاده از دو نوع پرتابه ogival و orbicular بر صفحه FML میباشد و همچنین اثرات تغییر سرعت و جرم بر سرعت خروجی و انرژی جنبشی و انرژی درونی مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت تغییرات بدست آمده در قالب نمودار برای درک بیشتر ترسیم می گردد

کلمات کلیدی: کامپوزیت، فایبر، مدل عددی، اجزای محدود.

۱. مقدمه

یکی از شاخه های علوم مهندسی بررسی برخورد دو جسم در یکدیگر است که معمولاً در علوم نظامی مهمترین کاربرد آن برخورد پرتابه ها مانند گلوله های مختلف به سمت اهداف مورد نظر مانند ادوات زرهی می باشد. برای اولین بار توسط تیلور، در سال ۱۹۴۸ مدلی تحلیلی برای بررسی فرآیند نفوذ عمودی پرتابه های تخت با فرض غیر قابل تغییر شکل بودن آن در هدف های نازک ارائه شد که در آن با استفاده از معادله تعادل انرژی، سرعت پرتابه قبل و بعد از برخورد به هدف تعیین شد [۱].

امروزه تحقیقات زیادی در این مورد صورت می گیرد که از مباحث عمده آنها بررسی پدیده ضربه، بررسی پدیده انفجار، بررسی مکانیک نفوذ و تداخل، بررسی معیارهای شکست و تسلیم پرتابه و هدف و چگونگی مقاوم سازی آنها و بررسی حداقل شرایط لازم مانند حداقل سرعت اولیه پرتابه برای تسلیم هدف در مراجع [۲-۵] می توان برخی مطالعات صورت گرفته در مورد پدیده نفوذ پرتابه در یک ورق را مشاهده کرد. در این مقاله از مدل آسیب جانسون کوک استفاده شده است که این مدل از جمله پر کاربردترین مدل‌هایی است که در اغلب نرم افزارها برای شبیه سازی پدیده هایی با نرخ کرنش بالا به کار گرفته می شود که توسط جانسون و کوک در سال ۱۹۸۳ ارائه شده است [۶]. مرور برخی مدل‌های مادی دیگر را می توان در مقالات ارائه شده توسط لیانگ و خان [۷] و میز و همکارانش [۸] ملاحظه کرد. خدا رحیمی و همکارانش در سال ۲۰۰۶، روش تحلیلی ارائه نمودند که در آن فرآیند نفوذ پرتابه در یک هدف نیمه بینهایت، به صورت گام به گام، با استفاده از انتشار امواج تنش پلاستیک مورد بررسی قرار گرفت. در این روش با فرض صلب بودن هدف میزان تغییر شکل پرتابه را محاسبه نموده و سپس در گام نفوذ، پرتابه به صورت صلب فرض گردیده و میزان نفوذ پرتابه به دست آمده است. این مراحل به صورت متوالی تا زمانی که پرتابه متوقف گردد، محاسبه شده است [۹]. گوپتا و همکارانش در سال ۲۰۰۷، تحقیقات تجربی و عددی ارائه نمودند که فرآیند نفوذ توسط پرتابه‌های مخروطی نوک تیز، سر تخت و نیم کروی در اثر برخورد به اهداف آلومینیومی با ضخامت متفاوت را مورد بررسی قرار دادند. سپس در بخش حل عددی فرآیند نفوذ که با کد المان محدود آباکوس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این کار، نتایج حاصل از تجزیه تحلیل عددی در مقایسه با تحقیقات تجربی همخوانی مناسبی دارند [۱۰].

در سال ۲۰۰۸ لوپز پونته و همکارانش طی یک روش عددی به بررسی لمینیت‌های کربن اپوکسی پرداختند. آزمایشگران از یک تفنگ گازی بمنظور بررسی پروسه ضربه استفاده کردند. سپس با استفاده از یک مدل عددی المان محدود تاثیر سرعت ضربه و زاویه برخورد در زوایای مختلف علی الخصوص در زوایای صفر و ۴۵ درجه مورد مطالعه قرار گرفت [۱۱].

لوپز-پونته و همکارانش در سال ۲۰۰۹ مدلی تحلیلی ارائه نمودند که در آن به پیش بینی سرعت باقیمانده در یک پرتابه فولادی استوانه ای پرداخته میشود. مدل فوق بر اساس بالانس انرژی طراحی شده که در آن انرژی جنبشی پرتابه توسط لمینیت جذب میشود. جذب انرژی جنبشی بصورت سه مکانیزم انتقال مومنتوم خطی، شکست فیبر، و خرد شدن لمینیت تحلیل میشود. مکانیزم خرد شدن با استفاده از پانچ های شبه استاتیکی ارزیابی میگردد و در نهایت آزمایشات ضربه با سرعت بالا بمنظور معتبر سازی فرضیه انجام میپذیرد [۱۲].

واراس و همکاران وی در سال ۲۰۱۲ به بررسی مدل عددی پرداختند که به پیش بینی رفتار یک لمینیت تحت ضربات با سرعت‌های بالا می پرداخت. با استفاده از کدهای 1FE به بررسی مکانیزمهای مختلف شکست پرداخته میشود و نهایتاً جهت معتبر سازی مدل، تست آزمایشگاهی در محدوده سرعتی بین ۱۰۰ تا ۴۰۰ متر انجام گرفته و سرعت پسماند پرتابه و ناحیه خسارت دیده در لمینیتها با نتایج عددی مقایسه میشود [۱۳].

در سال ۲۰۱۳ و طی مقاله ای بینگ وانگ و همکارانش جذب انرژی در یک لمینیت CFRP^۲ را که تحت ضربه با سرعت بالا قرار گرفت را با روشهای عددی و آزمایشگاهی بررسی نمودند. آزمایشات با یک تفنگ گازی دو مرحله ای که پروسه برخورد را هدایت میکرد انجام گرفت. راندمان جذب انرژی یا همان EAE^۳ در یک لمینیت CFRP با ضخامت های مختلف مورد بررسی قرار گرفته و در انتهای کار مقایسه CFRP با یک پلیت Stainless steel گرید ۳۰۴ انجام شد [۱۴].

1. Finite element
2. Carbon Fiber Reinforced Polymer
3. Energy absorption efficiency

در سال ۲۰۱۴ سانچز و همکارانش به بررسی ضربات سرعت بالا بر روی لمینت‌های شبه استاتیکی کربن-اپوکسی پرداختند. در محدوده سرعت‌های ۸۰ الی ۴۹۰ متر بر ثانیه تست آزمایشگاهی انجام گرفت. بدنبال آن دو پارامتر سرعت باقیمانده و ناحیه تخریب جهت برآورد تاثیر انرژی جنبشی پرتابه بر لمینت مورد بررسی قرار گرفت. پس از آن مدلی تحلیلی ایجاد شد که به تعیین مکانیزمها و پیش بینی سرعت پسماند یک پرتابه پرداخته میشود. در این تحقیق جذب انرژی توسط لمینت‌ها در طی پروسه برخورد مطالعه میشود [۱۵].

در سال ۲۰۱۵ مایکل پاسکوالی و همکارانش به این تحقیق پرداختند که با وجود اینکه کامپوزیت‌های تقویت شده دارای استحکام و سفتی خاصی هستند، توانائی کمی در جذب انرژی از خود نشان میدهند. زمانیکه چنین استراکچرهای تحت ضربه با سرعت بالا یا HVI قرار میگیرند تمایل به سوراخ شدن دارند تا اینکه شکستی کامل در استراکچر پدید آید. در این تحقیق فرمولی تحلیلی بمنظور سیمولیشن پاسخ هدف کامپوزیتی نازک، تحت تخریبهای متفاوت و مکانیزمهای جذب انرژی با سرعت‌های بالا ارائه میشود در حین ضربه، انرژی جنبشی پرتابه صفحه هدف جذب یا ناپدید میشود. همچنین به تشریح اثرات Shear Plugging بر پاسخ اهداف کامپوزیتی با سفتی بالا پرداخته. حدود بالستیک (منحنی پرتابه) سازت تخریب و ضربه در طی فرآیند بالانس انرژی نیز بدست می آید [۱۶].

در این مطالعه هدف، مقایسه میزان نفوذ و سرعت پرتابه سرعت بالا در یک کامپوزیت همراه با یک لایه FML با زوایای ۰ و ۹۰ درجه و دو لایه آلومینیوم و برخورد دو نوع پرتابه که جنس آنها فولاد می‌باشد و با شکل فیزیکی متفاوت بهره گرفته شد. با توجه به این که مدل سازی تجربی این مطالعه بسیار وقت گیر و هزینه بردار می‌باشد به همین علت از نرم افزار اجزای محدود آباکوس که توانایی بسیار بالایی در انواع تحلیل های غیر خطی را دارا می‌باشد، بهره گرفته شد. در این مطالعه پرتابه دارای سرعت ۴۰۰ و ۵۰۰ متر بر ثانیه به همراه جرم برابر می‌باشد. پس از تغییر سرعت و بررسی های خروجی آن سرعت را ثابت نگه داشته و برابر ۴۰۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته خواهد شد و جرم پرتابه را تغییر داده و برابر ۱۰ و ۲۰ گرم در نظر گرفته خواهد و سپس تمامی خروجی ها بررسی خواهند شد.

۲. تشریح کار عددی

از دو گلوله که جنس آنها فولاد می‌باشد و با شکل فیزیکی متفاوت بهره گرفته شد. همچنین هدف پرتابه فوق یک کامپوزیت سه لایه ای می‌باشد که دو لایه بالایی و پایینی آن از جنس آلومینیوم و لایه میانی از جنس EPOXY با زوایای صفر و ۹۰ درجه می‌باشد که خواص آلومینیوم و اپوکسی در جداول زیر ذکر شده است. در این مطالعه گلوله ها دارای سرعت ۴۰۰ و ۵۰۰ متر بر ثانیه به همراه جرم برابر می‌باشد. پس از تغییر سرعت و بررسی های خروجی آن سرعت را ثابت نگه داشته و برابر ۴۰۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته خواهد شد و جرم پرتابه را تغییر داده و برابر ۱۰ و ۲۰ گرم در نظر گرفته خواهد و سپس تمامی خروجی ها بررسی خواهند شد.

جدول ۱- خواص Johnson-cock برای آلومینیوم

D1	D2	D3	D4	D5	Multing temperature (°c)	Transition temperature (°c)	Reference strain (Mpa)
-۰.۷۷	۱.۴۵	-۰.۴۷	۰	۰	۸۹۳	۲۹۳	۱

جدول ۲- خواص الاستیک آلومینیوم

Young's modulus (Gpa)	Poisson's ratio	Density (Kg/M ³)
۶۸۹۴۸۰۰۰۰۰۰	۰.۳۳	۲۷۱۲.۶

جدول ۳- خواص پلاستیک Johnson-cock آلومینیوم

A	B	Melting temp (°c)	Transition temp (°c)
۳۲۴۱۰۰۰۰	۱۱۳۸۰۰۰۰	۸۹۳	۲۹۳

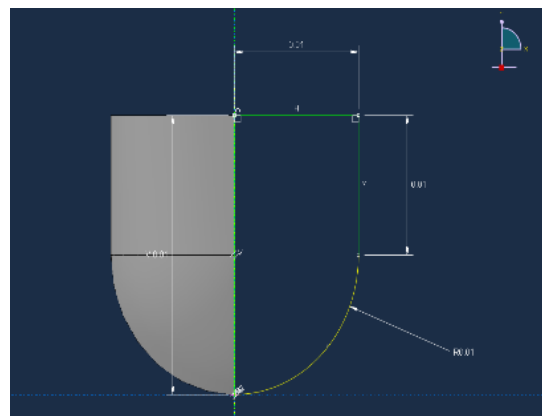
جدول ۴- خواص Hashing صفحه Epoxy

LTS(Gpa)	LCS(Gpa)	TTS(Gpa)	TCS(Gpa)	LSS(Gpa)	TSS(Gpa)
2/1	105	0/24	13/2	0/73	0/65

جدول ۵- جدول ثابت های مهندسی صفحه Epoxy

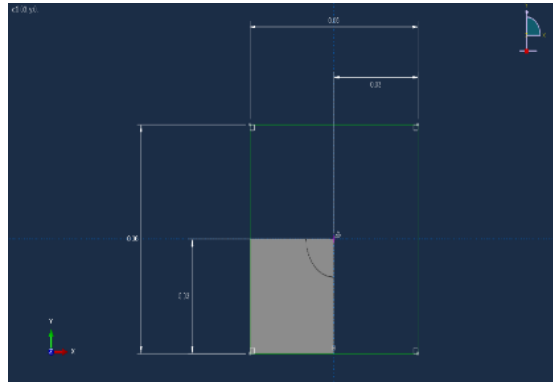
E1(Gpa)	E2(Gpa)	E3(Gpa)	Nu12	Nu13	Nu23	G12(Gpa)	G13(Gpa)	G23(Gpa)
1/32e11	1/03e11	1/03e11	0/25	0/25	0/38	6/5e9	6/5e9	3/2e9

هندسه پرتابه نوع اول (orbicular) به صورت شکل امی باشد و در هنگام حجم دادن فقط ۹۰ درجه از مدل در نظر گرفته شد.



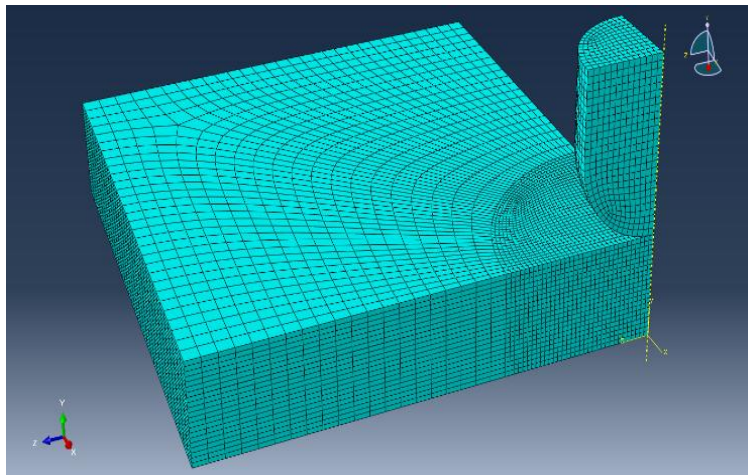
شکل ۱- هندسه پرتابه نوع اول (orbicular)

برای هندسه سه صفحه نیز دقیقاً از همین روش استفاده شده تا EPOXY و آلومینیوم مدل شوند.



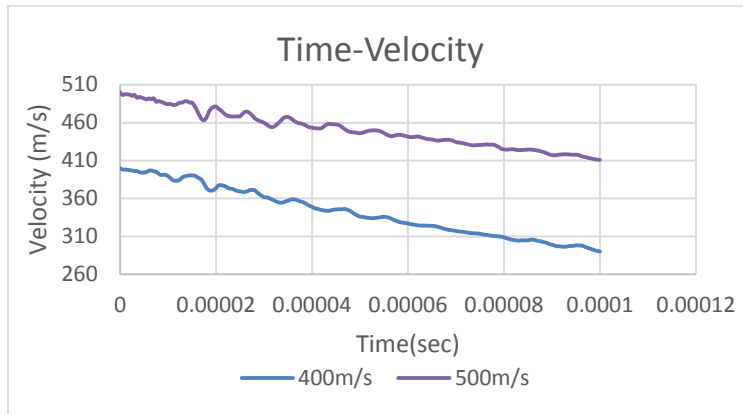
شکل ۲- هندسه صفحه

در بخش مونتاژ نیز مطابق شکل ابتدا آلومینیوم، سپس اپوکسی و مجدد آلومینیوم بر روی هم قرار گرفتند. پرتابه نیز در راستای انتهایی ورق ها جایی که صفحه تقارن موجود می باشد در نظر گرفته شد. برای کاهش زمان حل، سطح رویی پرتابه، مماس با ورق در نظر گرفته گرفته و مش بندی بصورت شکل زیر انجام شد.



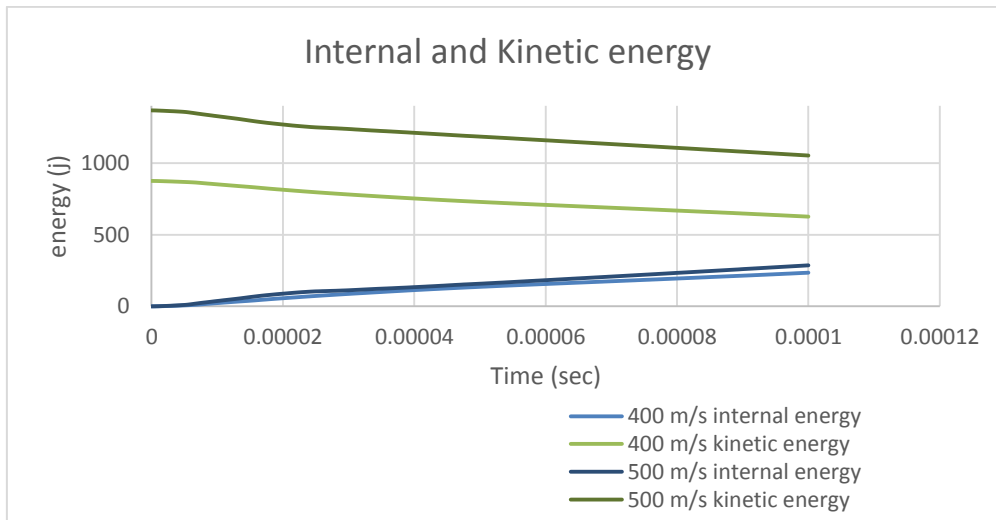
شکل ۳- پرتابه و صفحه FML پس از مش بندی

بررسی میزان سرعت ۴۰۰ و ۵۰۰ متر بر ثانیه پرتابه به همراه ۱۰ گرم وزن آن نشان می دهد که سرعت کل پرتابه پس از برخورد آن به صفحه با توجه به خاصیت الاستیک آن ها، در ابتدا پرتابه با مقاومت عکس محور حرکتی خود مواجه می شود به همین علت پس از برخورد به آن در بعضی از زمان ها دچار افزایش سرعت و در بعضی از زمانها دچار افت می شود. اما در مجموع سرعت پس از برخورد به صفحات در زمان 0.00001 به ۲۹۰ متر بر ثانیه می رسد و پرتابه همچنان در طول مسیر دچار افت سرعت خواهد شد. اما برای سرعت بیش از ۴۰۰ متر بر ثانیه، سرعت با افت کمتری مواجه می شود و دلیل آن نیز میزان انرژی جنبشی بیشتر و مقاومت صفحات می باشد. همین عامل باعث شده که شیب افت سرعت در حالت ۵۰۰ متر بر ثانیه کمتر از ۴۰۰ متر بر ثانیه باشد. از عوامل دیگر تغییرات سذعت در طول زمان، موج شوک ایجاد شده توسط گلوله بر روی صفحات می باشد. این موج شوک پس از اعمال به صفحات تبدیل به انرژی جنبشی شده و به خود گلوله باز می گردد به همین علت سرعت گلوله به صورت یکنواخت کاهش نداشته است.



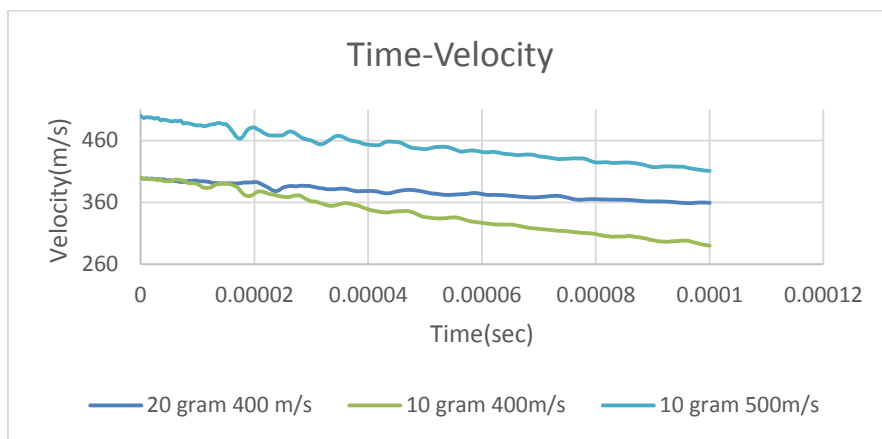
شکل ۴- نمودار انرژی جنبشی در سرعت های ۴۰۰ و ۵۰۰ متر بر ثانیه و جرم ۱۰ گرم

بررسی میزان انرژی جنبشی و درونی نشان می دهد که در لحظه برخورد، هرچه که میزان انرژی جنبشی پرتابه بیشتر باشد میزان انرژی درونی نیز افزایش می یابد. این عامل باعث می شود که عملکرد کامپوزیت ها در سرعت های بالاتر خودنمایی بیشتری نموده و تاثیرگذاری آن افزایش دهند. زیرا هرچه که میزان این سرعت بیشتر باشد، جدایش بین سطوح کامپوزیت و موج ایجاد شده می تواند انرژی درونی را افزایش دهد.



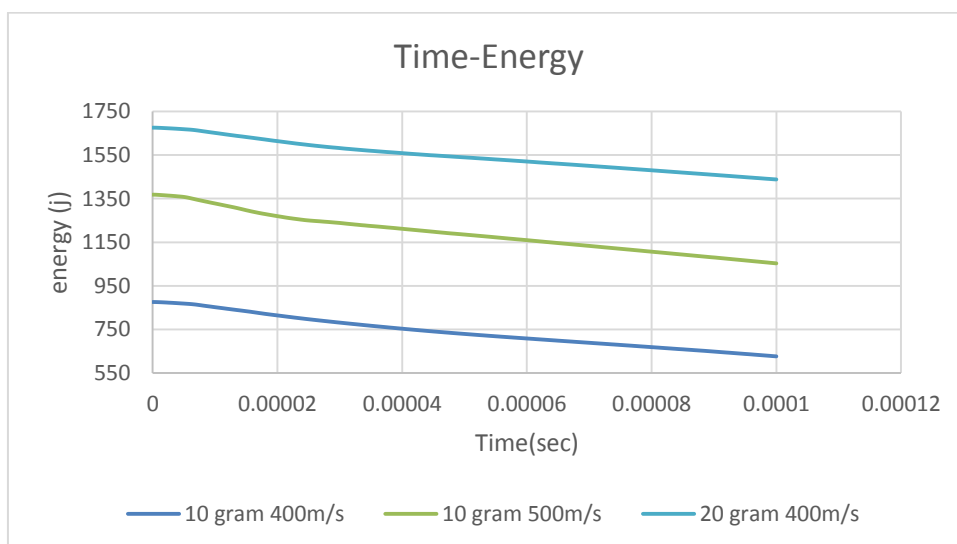
شکل ۵- نمودار انرژی درونی با سرعت ۴۰۰ و ۵۰۰ متر بر ثانیه و جرم ۱۰ گرم

بررسی بر روی میزان جرم پرتابه ها با سرعت ثابت نیز نشان می دهد که هر چه میزان جرم پرتابه ها افزایش یابد، میزان سرعت آن ها نیز دیرتر کاهش می یابد. به همین علت انرژی منتقل شده از پرتابه به هدف بیشتر می باشد. با توجه به این که هر چه افزایش جرم داشته باشیم میزان تغییرات سرعت در زمان نیز کاهش می یابد و از دلایل آن این است که موج شوک ایجاد شده بر روی هدف تاثیر کمتری بر روی پرتابه به صورت متقابل دارد. همین امر باعث می شود سرعت با شیب ملایم تری کاهش یابد اما به نسبت خرابی بیشتری را در مقایسه با سرعت ۴۰۰ متر بر ثانیه به وجود خواهد آورد.



شکل ۶- نمودار سرعت بر حسب زمان با سرعت ثابت و جرم متغیر

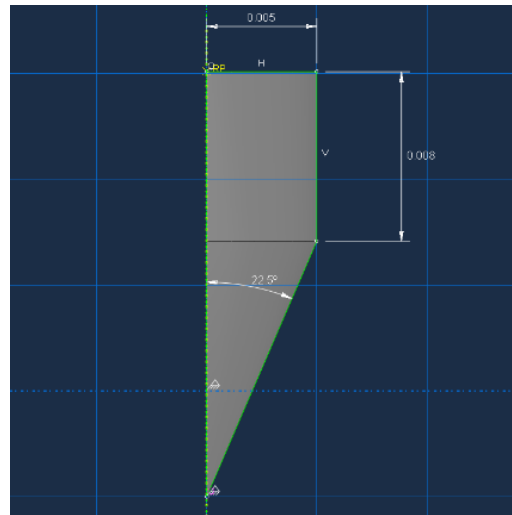
با توجه به افزایش جرم پرتابه، میزان انرژی جنبشی آن نیز افزایش خواهد یافت. ولی به نسبت سرعت ۵۰۰ متر بر ثانیه، میزان انرژی جنبشی با شیب کمتری کاهش می‌یابد. زمان برخورد با جرم بیشتر، الیاف و آلومینیوم از خود مقاومت کمتری به نسبت جرم کمتر نشان می‌دهد اما زمانی که به داخل کاملاً نفوذ کرد، میزان آن به طور یکنواختی کاهش می‌یابد.



شکل ۷- نمودار انرژی بر حسب زمان

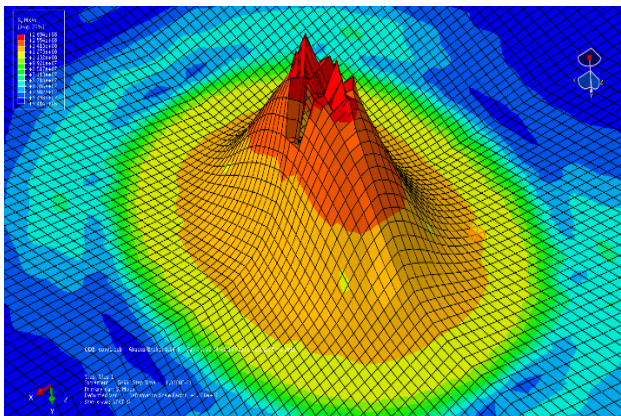
۱.۲. پرتابه نوع دوم

نوع بعدی پرتابه ای که در نظر گرفته شد مطابق شکل ۷ بر اساس مطالعه اقبال و همکاران می‌باشد. بر طبق این مطالعه پرتابه ای نوک تیز که شماتیک آن به صورت زیر می‌باشد در نظر گرفته شد. همچنین برای این پرتابه فاصله ای استاندارد نسبت به ورق اصلی در نظر گرفته شد.

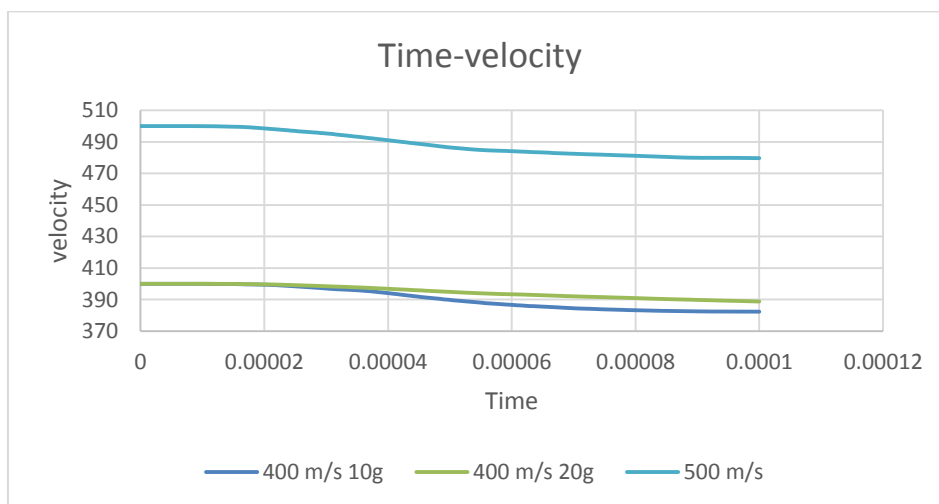


شکل ۷- پرتابه نوع دوم

برای این پرتابه نیز مانند پرتابه نوع قبل سرعت های ۴۰۰ و ۵۰۰ متر بر ثانیه همراه با وزن های ۱۰ و ۲۰ گرم بررسی شد. در این پرتابه با توجه به این که دارای نوک تیزی می باشد میزان تنش نقطه ای اعمالی آن به صورتی می باشد که می تواند در مدت زمان بسیار کوتاه، فلز آلومینیوم و لایه اپوکسی را به کرنش حداکثری در نتیجه به جدایش المانی و آسیب حداکثری برساند. مدل قبلی باعث کاهش سرعت می شدند در این مدل تاثیر کمتری دارند. شکل ۸ نشان دهنده میزان کانتورهای تنش پس از برخورد پرتابه نوع دوم به صفحه می باشد.

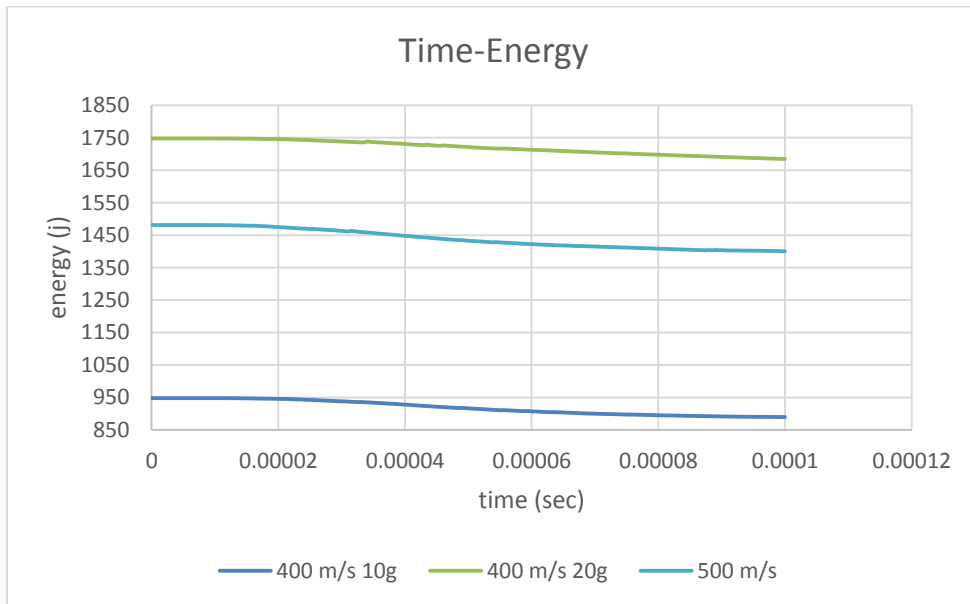


شکل ۸- کانتورهای تنش پس از برخورد پرتابه



شکل ۹- نمودار سرعت-زمان پرتابه دوم

با توجه به شرایطی که سرعت در انتهای زمان ۰.۰۰۰۱ دارد پیشینی می‌شود میزان انرژی جنبشی پرتابه نیز با سرعت ملایمی کاهش و میزان انرژی درونی پرتابه نیز با همان سرعت افزایش یابد. همین انتقال انرژی به نفوذ بیشتر پرتابه در داخل آلومینیوم کمک بیشتری می‌کند. با توجه به اینکه یکی از عوامل مقابله ورق آلومینیوم و اپوکسی در مقابل پرتابه به شکل نیم دایره، وجود فایبرهای طولی و عرضی برای اپوکسی می‌باشد که در کل مدل وجود داشتند. اما با توجه به این که این مدل دارای مقطع برخورد کمتری می‌باشد تاثیر این فایبرها بسیار کمتر می‌باشد به همین خاطر نفوذ بیشتری انجام می‌شود.



شکل ۱۰- نمودار انرژی برحسب زمان برای پرتابه دوم

۳. نتیجه‌گیری

از کلیه خروجی هایی که مطرح شد می‌توان به این نتیجه رسید که:

- تغییرات انرژی جنبشی و درونی در دو پرتابه، به مقطع برخورد کننده آن نیز بستگی دارد.
- در مدل با مقطع تیز میزان انرژی جنبشی و درونی وارده به مدل بیشتر از حالت مقطع دایره‌ای می‌باشد و از مهم ترین دلایل آن به حداکثر رسیدن کرنش در یک ناحیه بسیار کوچک می‌باشد.
- میزان نفوذ پرتابه در حالتی که پرتابه مقطع بسیار کوچکی دارد بیشتر است و از مهم ترین دلایل آن تاثیر کم اپوکسی در این نوع از پرتابه ها می‌باشد. در پرتابه هایی که مقطع آن بزرگتر می‌باشد اپوکسی مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهد.
- زمانی که پرتابه در حالتی که مقطع دایره ای دارد به کامپوزیت برخورد می‌کند، میزان انرژی جذب شده توسط اپوکسی بیشتر از پرتابه در حالت نوک تیز می‌باشد و از دلایل آن مقاطع پرتابه ها می‌باشد.
- وزن پرتابه فقط باعث افزایش انرژی جنبشی آن ها می‌شود و در میزان نفوذ به نسبت وزن کمتر آن ها تغییر محسوسی به وجود نمی‌آورد زیرا لایه رویی آلومینیوم در مرحله اول بیشترین انرژی را جذب می‌کند و تا زمانی که گلوله به راه خود ادامه می‌دهد میزان اصطکاک با همان شرایط سرعت، بیشتر تبدیل به حرارت یا انرژی درونی آن می‌شود ولی در سرعت های بالا تر میزان اصطکاک تاثیر گذاری کمتری دارند.

- برخورد پرتابه و عبور آن از لایه های ابتدایی باعث به وجود آمدن موج در تمامی لایه ها می شود. این موج باعث می شود که در فایرها خرابی و در آلومینیوم باعث تغییر شکل موقتی می شود زیرا چسب در نظر گرفته شده بین اپوکسی و آلومینیوم باعث می شود که هر تغییر اعمالی در سرعت بالا در لایه های پایینی آن نیز تاثیر مستقیم بگذارد.

۴. مراجع

1. G.I. Taylor. (1948). The used of flated-end projectile for determining dynamic yield stress., Proc. Roy. Soc. Lond. A., 194,289-299.
2. J.A.Rodriguez-Martinez, (2013), Experimental and numerical analysis of the martensitic transformation in AISI 304 steel sheets subjected to perforation by conical and hemispherical projectiles. International Journal of Solids and Structures, 2013, 50, 2,339-351.
3. Marian Klasztorny, (2012), Numerical Modelling and Design of ALFC Shield Loaded by 20 mm FSP Fragment. Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 19, No. 4.2012.
4. M.Grujicic, (2010), Computational investigation of impact energy absorption capability of polyurea coatings via deformation-induced glass transition. Materials Science and Engineering A 527 (2010) 7741–7751.
5. J.Dean, (2009), Energy absorption during projectile perforation of thin steel plates and the kinetic energy of ejected fragments. International Journal of Impact Engineering 36 (2009) 1250–1258
6. Johnson G. R., Cook W. H., (1983)“A Constitutive Model and Data for Metals Subjected to Large Strains, High Strain Rates and High Temperatures”, Seventh International Symposium on Ballistics, Hague.
7. Liang R. and Khan A. S., (1999)“A Critical Review of Experimental Results and Constitutive Models for BCC and FCC Metals over a Wide Range of Strain Rates and Temperatures” International Journal of Plasticity, Vol. 15, pp. 963-980.
8. Meyers M. A., Benson D. J., Vöhringer O., Kad B. K., Xue Q., Fu H. H., (2002)“Constitutive Description of Dynamic Deformation: Physically-Based Mechanisms”, Materials Science and Engineering A, Vol. 322, pp. 194-216.
9. H.khodarahimi, Ali fallahi G.H.liaghat.(2006).Incremental deformation and penetration analysis of deformable projectile into semi-infinite target.
10. N.k.gupta M.A.eqbal. (2007) Effect of projectile nose shape, impact velocity and target thickness on deformation behavior of aluminum plates.
11. J. Lo´pez-Puente, R. Zaera, C. Navarro. (2008) Exprimental and numerical analysis of normal and oblique ballestic impact on thin carbon/epoxy woven laminate
12. J. Lo´pez-Puente , Navarro. (2009). Analitical modeling of high velocity impact of cylindrical projectiles on carbon/epoxy laminates
13. D. Varas, J.A. Artero-Guerrero, J. Pernas-Sánchez, J. López-Puente, (2012) Analysis of high velocity impacts of steel cylinders on thin carbon/epoxy woven laminates. Department of Continuum Mechanics and Structural Analysis, University Carlos III of Madrid, Avda. De la Universidad, 30, 28911 Leganés, Madrid, Spain.
14. Bing Wang, Jian Xiong, Xiaojun Wang, LiMa, Guo-Qi Zhang, Lin-Zhi Wu, Ji-Cai Feng, (2013). Energy absorption efficiency of carbon fiber reinforced polymer laminates under high velocity impact, Center for Composite Materials, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, PR China
15. J. Pernas-Sánchez, J.A. Artero-Guerrero, D. Varas, J. López-Puente, (2014), Experimental analysis of normal and oblique high velocity impacts On carbon/epoxy tape laminates. Department of Continuum Mechanics and Structural Analysis, University Carlos III of Madrid, Avda

16. Michele Pasquali, Consuelo Terra, Paolo Gaudenzi, (2015). Analytical modelling of high-velocity impacts on thin woven fabric Composite targets, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, University of Rome