دانشکده مهندسی مکانیک

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد

گرایش طراحی کاربردی

بررسی عددی رفتار سازه جدارنازک استوانه‌ای تحت بارگذاری انفجاری داخلی

نگارش:

محمد وهاب موسوی

اساتید راهنما:

دکتر سید محمدرضا خلیلی **دکتر جمال زمانی**

پاییز ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحیم

تاسیس ۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاییدیه هیأت داوران

هیأت داوران پس از مطالعه پایان‌نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان‌نامه تهیه شده تحت عنوان:

بررسی عددی رفتار سازه جدارنازک استوانه‌ای تحت بارگذاری انفجاری داخلی

توسط **محمد وهاب موسوی** صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه **کارشناسی ارشد** رشته **مهندسی مکانیک – گرایش طراحی کاربردی** در تاریخ **۹۲/۸/۱۳** مورد تأیید قرار دادند.

۱- استاد راهنما دکتر سید محمدرضا خلیلی — امضاء

۲- استاد راهنما دکتر جمال زمانی — امضاء

۳- استاد ممتحن دکتر علی اصغر جعفری — امضاء

٤- استاد ممتحن دکتر مجید قریشی — امضاء

۵- نماینده تحصیلات تکمیلی دکتر علی اصغر جعفری — امضاء

تاسیس ۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

اظهارنامه دانشجو

اینجانب **محمد وهاب موسوی** دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد رشته **مهندسی مکانیک** گرایش **طراحی کاربردی** دانشکده **مهندسی مکانیک** دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان‌نامه با عنوان:

بررسی عددی رفتار سازه جدارنازک استوانه‌ای تحت بارگذاری انفجاری داخلی

با راهنمایی اساتید محترم **آقایان دکتر سید محمدرضا خلیلی** و **دکتر جمال زمانی** توسط شخص اینجانب انجام شده است. صحت و اصالت مطالب نگارش شده در این پایان‌نامه مورد تأیید می‌باشد. در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. به علاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو

حق طبع، نشر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان‌نامه متعلق به نویسنده و استادان راهنمای آن می‌باشد. هرگونه تصویربرداری از کل یا بخشی از پایان‌نامه تنها با موافقت نویسنده یا استادان راهنما یا کتاب‌خانه دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

۳- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

تقدیم به

مادر فداکارم

و

روح متعالی پدرم

از زحمات و راهنمایی‌های مشفقانه اساتید بزرگوار آقایان دکتر جمال زمانی و دکتر سید محمدرضا خلیلی که در تمامی مراحل انجام این پژوهش یار و پشتیبان بنده بودند تشکر و قدردانی می‌شود.

چکیده

این پژوهش شامل دو بخش است. در بخش نخست پاسخ پلاستیک پوسته‌های استوانه‌ای بسته تحت انفجار داخلی توسط شبیه‌سازی عددی بررسی شده است. این پوسته‌ها از آلومینیوم T۵-۶۰۶۳ اکسترود شده ساخته شده و نسبت قطر به طول آن‌ها ۱/۵ است. دو انتهای پوسته‌ها نیز با ورق‌های صلب مسدود شده است. شبیه‌سازی عددی به روش لاگرانژی-اویلری کوپل شده انجام شد. ایجاد انعکاس ماخ بر روی ورق‌های انتهایی مشاهده و مشخص شد که فشار ایجاد شده در ناحیه‌ای که ماخ استم به آن برخورد کرده است، بسیار بیشتر از دیگر نقاط است. این موضوع موجب ایجاد پارگی در تکیه گاه‌ها پیش از انجام فرایند تغییرشکل پلاستیک می‌گردد. مقایسه بیشینه تغییر شکل شعاعی به‌دست آمده از این تحقیق با نتایج آزمایش‌ها نشان داد همگرایی میان نتایج بیش از ۹۳٪ است. همچنین شبیه‌سازی به روش مذکور بهترین روش بررسی مسائل انفجار داخلی است. علاوه بر آن حالات واماندگی نیز شبیه سازی شد و توافق خوبی با آزمایش‌ها مشاهده شد. در بخش دوم انبساط، گسیختگی و رفتار پس از گسیختگی پوسته استوانه‌ای در حالت پر از ماده منفجره C4 با استفاده از روش هیدرودینامیک ذرات هموار شبیه‌سازی شد. شبیه‌سازی‌ها برای دو حالت چاشنی در مرکز و چاشنی در ابتدای پوسته انجام شد. پروفیل تغییر شکل انبساطی در این دو حالت با هم مقایسه شد. همچنین به وسیله روش هیدرودینامیک ذرات هموار، شبیه‌سازی فرایند تشکیل ترکش انجام شد. با استفاده از این روش الگوی توزیع فضایی ترکش‌ها، جرم، اندازه و نیز سرعت حد آن‌ها قابل حصول است. در حالی‌که در روش‌های معمول مانند روش حذف المان به دلیل نقض قانون بقای جرم در دامنه مسئله، این موارد به درستی شبیه‌سازی نمی‌شود.

واژه‌های کلیدی: انفجار داخلی، پوسته استوانه‌ای، انعکاس ماخ، روش لاگرانژی-اویلری کوپل‌شده، روش هیدرودینامیک ذرات هموار.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جداول..... ذ

فهرست شکل‌ها..... ر

فهرست علایم و اختصارات..... س

فصل ۱ – مقدمه ۱

۱–۱– پیشگفتار..... ۲

۱–۲– هدف از انجام پژوهش..... ۴

۱–۳– استراتژی انجام پژوهش..... ۵

۱–۴– مباحث طرح شده در فصل‌ها..... ۶

۱–۵– نوآوری‌های پژوهش..... ۷

فصل ۲ – مقدمه‌ای بر مکانیک انفجار ۹

۲–۱– مقدمه..... ۱۰

۲–۲– فرایند تشکیل موج انفجار..... ۱۰

۲–۳– عوامل مؤثر بر انرژی منتقل شده..... ۱۳

۲–۴– بارگذاری انفجاری در سازه‌های بسته..... ۱۴

۲-۴-۲- انعکاس موج شوک حاصل از انفجار ۱۵

۲-۴-۳- معیارهای تشکیل انعکاس ماخ ۱۶

۲–۵– برهمکنش امواج انفجار با فلز..... ۱۹

۲-۵-۱- امپدانس ۱۹

۲-۵-۲- معادلات گارنی ۲۰

فصل ۳ – مروری بر تحقیقات انجام شده ۲۲

۳–۱– مقدمه..... ۲۳

۳–۲– بررسی پاسخ پلاستیک پوسته‌های استوانه‌ای تحت بارگذاری داخلی ایمپالسی..... ۲۳

۳-۲-۱- روش‌های تحلیلی ۲۴
۳-۲-۲- روش‌های تجربی و عددی ۳۱
۳-۳- بررسی شکست و گسیختگی پوسته استوانه‌ای تحت انفجار داخلی ۳۳
۳-۳-۱- روش‌های تحلیلی ۳۳
۳-۳-۲- روش‌های تجربی ۳۴
۳-۳-۳- روش‌های عددی ۳۵
فصل ۴ -بررسی روش‌های عددی در شبیه‌سازی انفجار ۳۸
۴-۱- مقدمه ۳۹
۴-۲- هیدروکدها ۳۹
۴-۲-۱- حل‌های پیش رونده در گام‌های زمانی ۴۱
۴-۳- گسسته‌سازی ۴۲
۴-۳-۱- روش‌های گسسته‌سازی فضایی ۴۳
۴-۴- معرفی نرم افزارهای دارای قابلیت شبیه‌سازی انفجار ۵۲
۴-۴-۱- نرم افزار Abaqus ۵۳
۴-۴-۲- نرم افزار Autodyn ۵۴
۴-۴-۳- نرم‌افزار Ls-Dyna ۵۴
۴-۵- انتخاب نرم‌افزار مناسب برای این پژوهش ۵۵
۴-۵-۱- بررسی دقت نرم‌افزارهای Autodyn و Ls-Dyna در شبیه‌سازی انفجار در هوا ۵۵
۴-۶- بررسی روش‌های عددی شبیه‌سازی شکست ۶۰
لیست مقالات ارسال شده ۶۳
منابع و مراجع ۶۴

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱ : مقایسه بیش فشار محاسبه شده توسط نرم افزارهای Autodyn و Ls-Dyna.....۵۹

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱ : تشکیل موج شوک در هوا در یک انفجار بزرگ ۱۲

شکل ۲-۲ : شماتیک نحوه انتشار موج انفجار و انبساط ماده منفجره را در هوا ۱۳

شکل ۲-۳ : پروفیل معمول فشار موج انفجار ۱۴

شکل ۲-۴ : دو فاز بارگذاری در انفجار داخلی ۱۵

شکل ۲-۵ : شماتیک انعکاس موج شوک الف) انعکاس منظم ب) انعکاس ماخ ۱۶

شکل ۲-۶ : برخورد موج شوک کروی با سطح تخت در دو زمان متفاوت [۵] ۱۷

شکل ۲-۷ : نمودار زاویه انتقال بر حسب عدد ماخ ۱۸

شکل ۳-۱ : یک المان از یک استوانه جدار نازک با بارگذاری متقارن محوری [] ۲۹

شکل ۳-۲ : منحنی تسلیم دقیق (خطوط پررنگ) و تقریبی (خط‌چین‌ها) [۳۲] ۳۰

شکل ۳-۳ : پروفیل فشار اعمال شده به پوسته ۳۰

شکل ۴-۱ : روند محاسبات در هیدروکدها [۵۱] ۴۲

شکل ۴-۲ : گسسته‌سازی لاگرانژی ۴۴

شکل ۴-۳ : گسسته‌سازی اویلری ۴۵

شکل ۴-۴ : گسسته‌سازی به روش ALE ۴۶

شکل ۴-۵ : تقریب ذرات در دامنه حل [۵۶] ۵۰

شکل ۴-۶ : مدل المان محدود در نرم‌افزار Ls-Dyna ۵۷

شکل ۴-۷ : توزیع متقارن پروفیل فشار در مدل ۵۷

شکل ۴-۸ نمودار فشار در فاصله ۱۵۲/۴ سانتی متری ۵۸

شکل ۴-۹ : مدل المان محدود اویلری یک بعدی ۵۸

شکل ۴-۱۰ : نمودار فشار در فاصله ۱۵۲/۴ سانتی متری ۵۹

شکل ۴-۱۱ : مقایسه نتایج شبیه‌سازی به روش SPH و آزمایش در فرایند از هم پاشیدگی ضربه‌زننده در ضربه سرعت بالا [۵۱] ۶۲

فهرست علایم و اختصارات

عنوان	علامت اختصاری	عنوان	علامت اختصاری
زاویه انتقال	α_m	پالس فشاری حاصل از انفجار	P_r
پارامتر آسیب	D	جرم بر واحد سطح	μ
قطر استوانه	d	تغییرمکان در راستای x	u
انرژی ماده منفجره	e	تغییرمکان در راستای y	v
مدول یانگ	E	تغییرمکان در راستای z	w
کرنش شکست	ε_f	امپدانس	K
کرنش پلاستیک	ε_p	چگالی ماده منفجره	ρ_d
نرخ کرنش پلاستیک	$\dot{\varepsilon}_p$	چگالی اولیه	ρ_0
نرخ کرنش مرجع	$\dot{\varepsilon}_0$	سرعت دتونیشن	V_d
نرخ رهایش انرژی	G_{IC}	جرم کل فلز	M
نسبت ظرفیت حرارتی	K	جرم کل ماده منفجره	C
چقرمگی شکست	K_{IC}	سرعت گارنی	V_G
طول استوانه	l	ثابت سرعت گارنی	$\sqrt{2E}$
عدد ماخ	M	شعاع ماده منفجره استوانه‌ای	R_c
فشار	P	طول ماده منفجره استوانه‌ای	L_c
فشار اتمسفر	P_a	فشار محیط	p_{atm}
فاصله از مرکز ماده منفجره	R	نسبت حجم اولیه به حجم	η
تنش سه محوری	σ^*	ضریب کارسختی	β
حجم	V	زمان رسیدن جبهه شوک	t_a
وزن معادل TNT برای ماده منفجره	W	دوره‌ی فاز مثبت	t_d
فاصله مقیاس شده	Z	ثابت کاهش زمانی	a
نیروی برشی	Q_x	سرعت شوک	Us
نیروی عمودی طولی	N_x	سرعت ذرات	Up
نیروی عمودی محیطی	N_θ	نسبت چگالی به چگالی اولیه	φ
ممان خمشی طولی	M_x	مدول برشی	G
ممان خمشی محیطی	M_θ	تنش جریان	σ
شعاع پوسته	R		
توان کارسختی	n		

فصل اول

مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

پیش‌بینی رفتار سازه‌های ساخته شده از ورق‌ها و پوسته‌ها تحت بارگذاری حاصل از موج انفجار، دارای اهمیت و کاربردهای فراوانی در صنایع نظامی و غیرنظامی است. از آن جمله می‌توان به کاربرد آن در صنایع هوافضا، صنایع شیمیایی، شکل‌دهی انفجاری، طراحی سازه‌های محافظ در برابر انفجار و طراحی راکتورهای هسته‌ای در برابر بارگذاری ایمپالسی اشاره نمود. برای مثال درک درست از مکانیزم بارگذاری در مخازن محدود کننده انفجار[۱] نکته‌ی کلیدی در طراحی این مخازن است. همچنین در شکل‌دهی انفجاری، به خصوص شکل‌دهی انفجاری آزاد یا بدون قالب، مکانیزم بارگذاری انفجاری و کنترل توزیع پروفیل فشار بر سطوح داخلی پوسته در موفقیت فرایند شکل دهی تعیین کننده است. در صنایع شیمیایی نیز واماندگی[۲] و پارگی[۳] در مخازن حاوی مواد شیمیایی بر اثر انفجار تصادفی باعث ایجاد خسارات جبران ناپذیری می‌شود.

بررسی رفتار سازه‌ها در برابر بارهای انفجاری از ابتدای کاربرد مواد منفجره قوی مورد توجه پژوهشگران و مهندسین قرار گرفته است. در خلال جنگ جهانی دوم این پژوهش‌ها سرعت بیشتری گرفت. با استفاده روز افزون از ورق‌ها و پوسته‌ها در صنایع مختلف بررسی رفتار الاستیک-پلاستیک و حالت‌های واماندگی آن‌ها در برابر بارهای انفجاری یکنواخت و موضعی توسط روش‌های تئوری، تجربی و عددی سرفصل بسیاری از تحقیقات در دهه‌های گذشته بوده است.

---

۱ - Explosive containment vessel

۲ - Failure

۳ - Rupture

مکانیک انفجار را با توجه به پدیده‌های درگیر با آن می‌توان از جمله زمینه‌های تحقیقاتی چالش برانگیز دانست. در این پدیده فرایندهای دینامیکی مختلفی از ابتدای ایجاد موج دتونیشن در ماده منفجره تا تشکیل موج شوک انفجار و برهم‌کنش سیال و سازه وجود دارد. با توجه به مفهوم زمان دوام، بارگذاری انفجاری بر روی سازه‌ها در حدود چند میکروثانیه تا چند میلی‌ثانیه انجام می‌شود. بنابراین در این نوع بارگذاری مفهوم نرخ کرنش[۱] اهمیت می‌یابد. به همین دلیل در بررسی رفتار سازه‌ها استفاده از مدل‌های مادی که این وابستگی را مدل نمایند ضروری است. همچنین مباحث مرتبط با تئوری انتشار موج نیز در این مسائل حائز اهمیت است.

استفاده از روش‌های تحلیلی برای بررسی مسائل شامل بارگذاری انفجاری به خصوص انفجار داخلی به دلیل پیچیدگی فرایند انعکاس و تداخل امواج انفجاری و نیز عدم امکان استخراج رابطه‌ای دقیق برای پروفیل فشار بسیار مشکل است. درحالیکه در مسائل انفجار خارجی توزیع پروفیل فشار بر روی سطوح ساده‌تر بوده و بحث انعکاس و تداخل امواج مطرح نمی‌باشد. انجام آزمایش‌های تجربی در این زمینه نیز به دلیل نیاز به تجهیزات پیشرفته و گران‌قیمت برای ثبت مشخصات دینامیکی موج انفجار مانند سرعت و فشار دینامیک و نیز خطرات استفاده از ماده منفجره با محدودیت مواجه است. برای مثال برای به دست آوردن توزیع پروفیل فشار در قسمت‌های مختلف سازه تحت انفجار داخلی نیاز به آرایه‌ای از سنسورهای پیزوالکتریک می‌باشد. استفاده از این سنسورها علاوه بر قیمت بسیار بالا، در سازه‌های کوچک مشکل است. همچنین بررسی رفتار پوسته‌های استوانه‌ای پر از ماده منفجره که منجر به گسیختگی آن و تشکیل ترکش می‌گردد نیز بسیار مشکل است. چرا که محاسبات مربوط به

---

[۱] - Strain rate

شکست‌های متعدد و برهمکنش محصولات حاصل از انفجار با ترکش‌ها پیچیده است. بنابراین استفاده از شبیه‌سازی‌های واقع‌گرایانه[۱] که حداکثر پدیده‌های درگیر را مدلسازی نماید، بهترین راه مطالعه و تحلیل این نوع مسائل می‌باشد.

در سال‌های اخیر با توسعه روش‌های عددی و پیشرفت قدرت محاسباتی کامپیوترها، استفاده از هیدروکدها به عنوان ابزاری قدرتمند برای طراحی سازه‌ها در برابر بارگذاری دینامیکی منجر به ایجاد موج شوک، مانند ضربه سرعت بالا و انفجار مورد توجه قرار گرفته است. از این روش‌ها می‌توان برای بهینه‌سازی طراحی و درک بهتر از فیزیک فرایند استفاده نمود. هیدروکدها قابلیت شبیه‌سازی انتشار و انعکاس موج شوک حاصل از انفجار و پاسخ سازه به آن را دارند و در مقایسه با روش‌های تحلیلی انعطاف پذیری بیشتری دارند.

۱-۲- هدف از انجام پژوهش

روش‌های المان محدود معمول توانایی محاسبات پیچیده مربوط به موضوعات ذکر شده در قسمت قبل را ندارند به همین دلیل در این پژوهش سعی شده است که با استفاده از روش‌های عددی پیشرفته و ترکیب آن‌ها به روش‌هایی کارا برای شبیه‌سازی واقع‌گرایانه فرایند دست یافت. در این پژوهش رفتار پوسته استوانه‌ای با نسبت قطر به ارتفاع ۱/۵ تحت انفجار داخلی در دو حالت با محیط واسط هوا و پر از ماده منفجره مورد بررسی قرار می‌گیرد. از اهداف عمده این پژوهش می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

---

[۱] - Realistic simulation

۱- شبیه‌سازی انفجار داخلی با در نظر گرفتن انعکاس موج شوک و بررسی پاسخ پلاستیک پوسته استوانه‌ای بسته به آن و صحه‌گذاری نتایج به دست آمده با آزمایش‌های انجام شده در آزمایشگاه مکانیک انفجار دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- مشخص شدن میزان دقت روش‌های عددی در شبیه‌سازی انفجار داخلی با توجه به معلوم بودن نتایج تجربی به منظور استفاده از شبیه‌سازی در طراحی‌های آتی

۳- آشنایی محسوس‌تر با رفتار موج انفجار در درون سازه و پدیده انعکاس ماخ

۴- شبیه‌سازی انبساط، گسیختگی و رفتار پس از گسیختگی این پوسته‌ها در حالتی که پر از مواد منفجره هستند و مقایسه نتایج به دست آمده با آزمایش‌های انجام شده و روابط تحلیلی موجود

۵- ارائه روشی عددی برای بررسی دقیق‌تر پدیده ایجاد ترکش[۱]

۱-۳- استراتژی انجام پژوهش

برای نیل به اهداف طرح شده در بخش قبل روند انجام پژوهش به صورت زیر طراحی گردید:

۱- شناسایی توانایی کلیه نرم‌افزارهای مرتبط با تحلیل عددی انفجار و مقایسه نقاط قوت و ضعف آن‌ها

۲- انتخاب روش‌های عددی مناسب برای مسائل ذکر شده در بخش ۱-۲-

۳- تعیین نقاط عطف پژوهش مانند انعکاس ماخ، تشکیل ترکش و ... که به صورت نوآوری‌های آن قابل بحث و بررسی است.

---

[۱] - Fragmentation

در این راستا پس از بررسی بعد از مطالعه مباحث پایه‌ای و تئوری مرتبط، بررسی توانمندی‌های نرم‌افزارهای Abaqus، Ls-Dyna و Autodyn و فعالیت‌های تجربی انجام شده در آزمایشگاه مکانیک انفجار دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی در دستور کار قرار گرفت. در نهایت نرم‌افزار Autodyn برای انجام شبیه‌سازی‌های مدنظر این پژوهش مناسب تشخیص داده شد.

۱-٤- مباحث طرح شده در فصل‌ها

برای نیل به اهداف این پژوهش، آشنایی با مکانیک انفجار ضروری است. برای همین در فصل دوم مبانی مکانیک انفجار، تئوری‌های پرکاربرد آن، انفجار در سازه‌های بسته، پدیده انعکاس موج شوک و برهمکنش مستقیم امواج انفجار با فلز معرفی شده است. در فصل سوم تحقیقات انجام شده در زمینه پاسخ دینامیک پوسته‌های استوانه‌ای، واماندگی و ایجاد شکست و تشکیل ترکش در آن‌ها تحت بارگذاری انفجاری مرور شده و مورد نقد و بررسی قرار گرفته است. این فصل دو بخش دارد. در بخش اول آن پاسخ پلاستیک پوسته‌ها و مخازن استوانه‌ای تحت بارگذاری ایمپالسی داخلی تا مرز شکست و در بخش دوم فرایند شکست دینامیک و تشکیل ترکش در استوانه‌های تحت انفجار داخلی بررسی شده است. در فصل چهارم هیدروکدها و مبانی آن‌ها بررسی شده است. سپس روش‌های مختلف گسسته‌سازی فضایی مسائل عددی و نرم‌افزارهایی که توانایی شبیه‌سازی عددی مسائل شامل برهمکنش سیال و سازه را دارند معرفی شده‌اند. پس از آن دقت نرم‌افزارهای Autodyn و Ls-Dyna در شبیه‌سازی انفجار در هوا سنجیده شده و نرم‌افزار مناسب برای ادامه کار برگزیده شده است. در فصل پنجم توضیحاتی در خصوص نحوه شبیه‌سازی عددی و روش‌های عددی استفاده شده، ارائه شده است. بخش اول این فصل مربوط به بررسی پاسخ پلاستیک پوسته استوانه‌ای بسته آلومینیومی و مدلسازی واماندگی آن است. بخش دوم آن مربوط به شبیه‌سازی پوسته پر از ماده منفجره است. در

فصل ششم نتایج شبیه‌سازی‌ها ارائه و تحلیل شده است. فصل هفتم به نتیجه‌گیری اختصاص یافته و در انتها پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی ارائه شده است.

۱-۵- نوآوری‌های پژوهش

این پژوهش موفق گردید به مباحث جدیدی در سطح کشور دست پیدا کند که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- بررسی وتجزیه و تحلیل تشکیل انعکاس ماخ در پوسته‌های استوانه‌ای بسته تحت انفجار داخلی

۲- معرفی روش المان محدود اویلری-لاگرانژی کوپل شده به عنوان روشی کارا در تحلیل مسائل انفجار داخلی و شبیه‌سازی انعکاس و تداخل امواج حاصل از انفجار. لازم به ذکر است همگرایی روش ذکر شده با نتایج تجربی بیش از ۹۳٪ است در حالی جدیدترین روش تئوری ارائه شده ۸۴٪ همگرایی دارد.

۳- شناسایی علت ایجاد شکست در تکیه گاه‌ها

۴- مدلسازی گسیختگی و رفتار پس از گسیختگی پوسته‌های پر از ماده منفجره و برآورد الگوی توزیع فضایی ترکش‌ها و جرم و سرعت آن‌ها.

همچنین از نوآوری‌های استفاده شده در حل مسائل می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- استفاده از روش نگاشت دوباره برای مدلسازی مراحل اولیه انفجار. این روش موجب افزایش دقت و کاهش زمان محاسبات می‌شود.

۲- استفاده همزمان از قوانین مکانیک آسیب و مکانیک شکست برای مدلسازی حالت واماندگی.

۳- استفاده از روش هیدرودینامیک ذرات هموار برای بررسی انبساط و گسیختگی پوسته پر از ماده منفجره و مدلسازی ماده منفجره با استفاده از این روش