بسم الله الرحمن الرحیم

۱۳۵٤
ج.ع سهمای دارد
او اضافه
طاهری ۱۲/۱۵

سازمان اطلاعات و امنیت کشور
مرکز اسناد

٤/٢٧٨

از اطلاعات و مدارک ایران
تهیه شده از آرک

دانشگاه تربیت مدرس

پایان نامه کارشناسی ارشد

۱۳۸۱ /۳/ ۱۰

عنوان:

شبیه سازی عددی دینامیک حباب حاصل از انفجار زیر آب

۴۱۲۷۵

ارائه شده به:
دانشکده فنی مهندسی
بخش مکانیک - گروه تبدیل انرژی

توسط:
پیمان طاهری بناب

استاد راهنما:
دکتر کیومرث مظاهری

زمستان ۸۰

۴۱۲۷۵

دانشگاه تربیت مدرس

تاییدیه هیات داوران

آقای پیمان طاهری بناب پایان‌نامه ۶ واحدی خود را با عنوان **شبیه‌سازی عددی دینامیک حباب حاصل از انفجار زیرآب** در تاریخ ۸۰/۱۲/۵ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهائی این پایان‌نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی **مکانیک** باگرایش **تبدیل انرژی** پیشنهاد می‌کنند.

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	امضاء
۱ـ استاد راهنما :	آقای دکتر مظاهری	
۲ـ استاد مشاور :	—	
۳ـ استادان ممتحن :	آقای دکتر معرفت	
	آقای دکتر انصاری	
	آقای دکتر فرشچی	
۴ـ مدیر گروه :	آقای مهندس قائم‌مقامی	
(یا نمایندهٔ گروه تخصصی)		

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه / رساله مورد تأیید است.

امضای استاد راهنما:

بسمه‌تعالی

آیین‌نامهٔ چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس، مبیّن بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

مادّهٔ ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

مادّهٔ ۲ در صفحهٔ سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد/رسالهٔ دکتری نگارنده در رشتهٔ مکانیک *است که در سال* ۱۳۸۰ *در دانشکدهٔ* فنی و مهندسی *دانشگاه تربیت مدرّس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر* کیومرث مظاهری*، مشاورهٔ سرکار خانم/جناب آقای دکتر* ——— *و مشاورهٔ سرکار خانم/جناب آقای دکتر* ——— *از آن دفاع شده است.»*

مادّهٔ ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهداکند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

مادّهٔ ۴ در صورت عدم رعایت مادّهٔ ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ‌شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرّس، تأدیه کند.

مادّهٔ ۵ دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در مادّهٔ ۴ را از محلّ توقیف کتابهای عرضه‌شدهٔ نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

مادّهٔ ۶ اینجانب پیمان طاهری ناب دانشجوی رشته مکانیک مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام‌خانوادگی: پیمان طاهری ناب

تاریخ و امضا: ۱۵/۱۱/۸۰

تقدیم به پدر و مادر عزیزیم

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از استاد ارجمندم، جناب آقای دکتر کیومرث مظاهری که با صرف حوصله و دقت فراوان، مرا در انجام این تحقیق یاری نمودند، تشکر و قدردانی می گردد.

چکیده:

تفاوت عمده انفجار زیر آب با انفجارهای معمولی (انفجار در هوا) در دینامیک هسته گازی حاصل از انفجار است. تفاوت چگالی بین آب و محصولات انفجار، باعث تولید میدان فشار خاصی در آب می گردد که شامل موج ضربه ای (شاک) اصلی و پالسهای ثانویه است.

در این تحقیق، دینامیک حباب حاصل از انفجار ماده منفجره کروی شکل در زیر آب مورد بررسی قرار گرفته است. مدلسازی انفجار زیر آب با استفاده از حل معادلات اولر یکبعدی و معادلات حالت آب و محصولات انفجار انجام شده و از روش گودونفی مرتبه سوم (PPM) برای حل معادلات فوق الذکر استفاده شده است. الگوریتم روش PPM با توجه به معادله حالت گازهای واقعی تنظیم گردیده و معادلات در مختصات لاگرانژی حل شده اند. برای آب و محصولات انفجار بترتیب معادلات حالت Mie-Gruneisen و JWL (Jones-Wilkins-Lee) مورد استفاده قرار گرفته اند. شرایط اولیه حباب با استفاده از حل تشابهی تیلور بدست آمده است.

نحوه تولید امواج انبساطی و شاک در حباب و توزیع خواص در آن مورد بررسی قرار گرفته است، همچنین رفتار آب و چگونگی انتشار شاک اولیه و پالسهای ثانویه نمایش داده شده است. نتایج بدست آمده تطابق خوبی با نتایج سایر محققین دارند.

کلید واژه:

انفجار زیر آب – دینامیک حباب – شاک – مسئله ریمن - روش گودونف

فهرست

عنوان	صفحه
فصل اول : پیشگفتار	۱
فصل دوم : تاریخچه تحقیق	۶
فصل سوم : معادلات حاکم و فرضیات	۱۷
۳-۱- معرفی معادلات حاکم و شبکه بندی محاسباتی	۱۸
۳-۲- فرم ریاضیاتی معادلات	۲۰
۳-۳- حل تشابهی تیلور در مختصات کروی	۲۲
۳-۴- مدل سوزش حجمی C-J	۲۳
۳-۵- فرضیات و ساده سازی معادلات	۲۴
فصل چهارم : روش عددی	۲۶
۴-۱- روش PPM لاگرانژی برای گاز ایده ال	۲۷
۴-۲- حل مسئله ریمن برای گاز واقعی	۳۴
فصل پنجم : نتایج	۳۸
۵-۱- اثبات صحت عملکرد کد	۳۹
۵-۲- مدلهای استفاده شده برای انفجار زیر آب	۴۲
۵-۳- شرایط اولیه و شرایط مرزی	۴۲
۵-۴- نتایج مدلسازی انفجار زیر آب	۴۵
فصل ششم : جمعبندی و پیشنهادات	۵۷
۶-۱- جمعبندی	۵۸
۶-۲- پیشنهادات	۵۹
ضمائم :	۶۱
ضمیمه الف : انواع روشهای گودونفی	۶۲
ضمیمه ب : جزئیات روش گودونفی مرتبه سوم	۶۸
ضمیمه ج : میرا کردن نوسانات پس از شاک	۷۷

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

منابع ۸۱
واژه نامه انگلیسی به فارسی ۸۴
واژه نامه فارسی به انگلیسی ۸۶

فهرست علائم

A	ضریب معادله JWL
a	ضریب معادله Gruneisen
B	ضریب معادله JWL
C	سرعت لاگرانژی صوت
c	سرعت صوت
D	سرعت موج احتراق
$\rho\ (gr./cm^3)$	چگالی
$E\ (Mbar\ cc/gr.)$	انرژی کل
$e\ (Mbar\ cc/gr.)$	انرژی داخلی
f	ضریب هموار سازی
g	نیروی جاذبه
$m\ (gr.)$	جرم
$p\ (Mbar)$	فشار
R_1	ضریب معادله JWL
R_2	ضریب معادله JWL
$r\ (cm)$	شعاع
S_1	ضریب معادله Gruneisen
S_2	ضریب معادله Gruneisen
S_3	ضریب معادله Gruneisen
$t\ (micro\,\text{sec.})$	زمان
$u\ (cm/micro\text{sec.})$	سرعت
W	سرعت لاگرانژی شاک
α	متغیر تعیین کننده هندسه
β	متغیر تشابهی تیلور
γ	ثابت گاز
γ_0	ضریب معادله Gruneisen
Γ	ثابت گاز
$\tau\ (cm^3/gr.)$	حجم مخصوص
μ	ضریب معادله Gruneisen
ω	ضریب معادله JWL

زیر نویسها

شماره سلول	j
شماره مرز	$j+1/2$
منسوب به سمت چپ سلول	L
منسوب به سمت راست سلول	R
مقدار اولیه	o

بالانویسها

پس از شاک	$*$
متوسط زمانی	$-$
مرحله زمانی	n

فصل اول

پیشگفتار

انفجار زیر آب که با علامت اختصاری UNDEX [1] نشان داده می شود، موضوعی است که از حـدود یک قرن پیش مورد توجه محققان بوده است. در آن زمـان (تقریبـا تـا اواخـر دهـه ۵۰ میـلادی) روشـهای تحلیلی برای حل مسائل علمی و مهندسی مـورد اسـتفاده قـرار مـی گرفتنـد و بدلیـل عـدم دسترسـی بـه کامپیوترهای سریع و کارآمد، روشهای عددی چندان کـاربردی نداشـتند، از ایـن رو زمـان ارائـه تئوریـهای راهگشا و حل مسائل بنیادی در علوم مختلف به این دوران باز می گردند.

در اواسط قرن بیستم با گسترش علوم مهندسی و نیازهایی که صنایع ایجاد مـی کردنـد، روشـهای تحلیلی و مسائل کلاسیک دیگر پاسخگوی ظرفیت و شتاب صنعـت و علـوم مهندسـی نبودنـد و تحقیقـات تجربی (آزمایشگاهی) و روشهای عددی بیشتر مورد توجه قرار گرفتند. همراه با توسعه علـوم انفورمـاتیک و ظهور کامپیوترهای سریع و ارزان، روشهای عددی سهم عمده ای از فعالیتهای پژوهشی را بر عـهده گرفتنـد و امروزه کاربرد روز افزون آنها در کلیه زمینه ها مشهود است.

اشاره به این نکته ضروری است که روشهای تحلیلـی، تـأثیر انکـار نـاپذیـری در توسـعه و توجیـه روشهای عددی داشته و دارند، بعبارت دیگر سرچشمه اصلیِ روشهای عددیِ جدید بـه همـان تئـوری هـا و روشهای تحلیلی قدیمی باز می گردد.

روشهای تجربی (آزمایشگاهی) نیز به نوبه خود نقش منحصر به فردی در تحقیقات به عهده دارنـد و نتایج حاصل از آنها معیار بسیار مناسبی برای سنجش دقت روشهای تقریبیِ عـددی اسـت. در پـاره ای از زمینه ها، روشهای آزمایشگاهی حرف اول را می زننـد، بعنـوان مثـال بدسـت آوردن معـادلات حـالتِ مـواد مختلف، بدون استفاده از روشهای آزمایشگاهی غیر ممکن است. عمـده تریـن مشـکل روشـهای تحقیقـاتیِ تجربی، بالا بودن هزینه و محدودیت توانایی و دقت لوازم اندازه گیری است.

سیر تکاملی روشهای تحقیق که در بالا به آن اشاره شد، در مورد انفجار زیر آب نـیز صـادق اسـت. تحقیقات پیگیر و جهت دار در مورد UNDEX حدود ۶۰ سال پیش و به هنگـام شـروع جنـگ جـهانی دوم آغاز شد. ارزش استراتژیکی نبردهای دریایی در جنگ جهانی دوم، مهمترین عامل توجه بـه انفجـار زیـر آب

---

[1] Underwater Explosion

بوده است و حتی امروزه نیز مجهزترین مراکز تحقیقاتی و برجسته ترین کارشناسان UNDEX ، غالباً زیر پوشش ارتشها هستند. کشورهای انگلیس و آمریکا، بخصوص آمریکا بیشترین سهم تحقیقاتی در مورد UNDEX را بر عهده دارند.

چون آزمایشهای UNDEX ، آزمایشهایی پرهزینه و خطرناک هستند، معمولاً در مراکز خاصی قابل اجرا هستند. از قدیمی ترین و معتبرترین مراکز آزمایشگاهیِ UNDEX می توان "مرکز پژوهش انفجار زیر آب"[۲]، "دفتر تحقیقات نیروی دریایی آمریکا"[۳] و "مرکز تسلیحاتی نیروی دریایی آمریکا"[۴] را نام برد. این مراکز در دهه های ۴۰ و ۵۰ میلادی تأسیس شدند و اهداف اولیه از تأسیس آنها، افزایش مقاومت ناوها و زیردریایی ها و افزایش تأثیرگذاری جنگ افزارها بود. امروزه این مراکز به حوضچه ها و تجهیزات مخصوص مجهز هستند که کاملترینِ آنها در منطقه مریلند واقع در ایالت ویرجینیا است.

هزینه بالای آزمایشها از یک طرف و ناتوانی ادوات اندازه گیری از طرف دیگر، باعث می شدند تا نتوان رفتار حباب حاصل از انفجار ماده منفجره را بخوبی بررسی کرد. بعنوان مثال، اندازه گیری فشار و دما در مناطق نزدیک به حباب و یا داخل حباب، بدلیل وجود فشار فوق العاده زیاد (در حدود ۵۰۰ کیلوبار) غیر ممکن است و هیچ فشارسنج یا دماسنجی تحمل چنین فشاری را ندارد. همچنین بدست آوردن خواص سیال با استفاده از روشهای عکسبرداری و طیف سنجی، بدلیل مشکلات ناشی ار عکسبرداری در زیر آب، با توجه به هزینه ها بازده مناسبی ندارند [۳۰]. با توجه به مشکلات فوق، محققین به شبیه سازی UNDEX با استفاده از روشهای عددی روی آوردند. شبیه سازی انفجار زیر آب در واقع حل معادلات حاکم بر UNDEX با استفاده ار روشهای عددی سازگار با این معادلات است. اولین شبیه سازی های موفق در اواخر دهه ۵۰ و اوایل دهه ۶۰ میلادی در "آزمایشگاه توپخانه نیروی دریایی"[۵] آمریکا و سپس در "آزمایشگاه لس آلاموس"[۶] و "آزمایشگاه ملی لارنس لیورمور"[۷] انجام شدند، هر چند روشهایی که آن زمان برای شبیه سازی بکار رفتند

---

[2]Underwater Explosion Research Department (UERD)

[3]Office of Naval Research

[4]Naval Surface Weapons Center (NSWC)

[5]Naval Ordnance Laboratory

[6]Los Alamose Scientific Laboratory

[7]Lawrence Livermore National Laboratory

بدلیل ضعف کامپیوترها و عدم دسترسی به روشهای جدید CFD ساده و کم دقت بودند، امـا نتـایج حاصلـه بسیار کارگشا و از نظر اقتصادی بسیار با صرفه تر از روشهای آزمایشگاهی بودند.

امروزه انفجار زیر آب کاربردهای صنعتی متعددی پیدا کرده است کـه همگـی جـزو دسـتاوردهای جدید صنـعت و فـناوری هستند و تنها چندین کشور صنعتی تکنولوژی مربوط بـه آنـرا در اختیـار دارنـد. شکل دهی انفجاری صفحات فلزی یکی از روشهای نوین تولید قطعات است. ایـن کـار، هـم در داخـل آب و هم در خارج از آب قابل انجام است. شکل دهی صفحات فلزی بـا اسـتفاده از انفجـار زیـر آب، بیشـتر بـرای ساخت قطعات بزرگ که از صفحات قطور ساخته می شوند، بکار می رود. ساخت قطعات بـا اسـتفاده از ایـن روش برای تولید در تیراژهای پایین مقرون به صرفه و مناسب اسـت و از هزینـه هـای سـنگین مربـوط بـه قالبسازی جلوگیری می کند. چون قدرت موج انفجار در آب بیشتر از هواست [۴]، برای شکل دهی قطعـات بزرگ و قطور از انفجار در زیر آب استفاده می شود و تکنیکهای مختلفی مثل استفاده از انفجارهای پیاپی یا انفجارهای همزمان مورد استفاده قرار می گیرند.

یکی دیگر از کاربردهای صنعتی UNDEX، جوشکاری انفجاری در زیر آب اسـت. ایـن روش بـرای ساخت قطعات خاص و تعمیر سازه های دریایی مانند سکوهای نفتی، بکار می رود. در این نوع جوشکاری از مواد منفجره و الکترودهای مخصوص استفاده می گردد، گرما و فشار ایجاد شده توسـط انفجـار، بـاعث ذوب شدن الکترود و آغاز عملیات جوشکاری می گردد. در سالهای اخیر انفجار زیر آب در متـالورژی پـودری نـیز مورد توجه قرار گرفته است [۱۵].

هدف از انجام این تحقیق، بررسی رفتـار گازهـای حـاصل از انفجـار در داخـل آب و همچنیـن آب پیرامون آن با استفاده از یک کد هیدرودینامیکی است. کدهای هیدرودینـامیکی اصطلاحـاً بـه برنامـه هـای کامپیوتری گفته میشوند که بمنظور بررسی حرکت امواج در مواد مختلف و تأثیر این امواج بـر روی خـواص مواد بکار میروند [۱]. وظیفـه کـد هیدرودینـامیکی، حـل معـادلات حـاکم بـر مسـئله بـا اسـتفاده از روش محاسباتی مورد نظر است. در طول چند دهه اخیر الگوریتم ها و روشهای محاسباتی، بدلیل بـازدهی بـالایی که در روشهای عددی نشان داده اند، مورد توجه خاصِ ریاضیدانان قـرار گرفتـه و گسـترش یافتـه انـد و بـا کمک کامپیوتر، زمینه وسیعی برای فعالیت مهندسان در علوم شبیه سازی فراهم آورده اند.