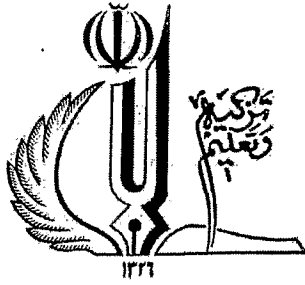


۱۱۲۲۸۱۱



دانشگاه شاهرود
دانشکده کشاورزی
گروه مهندسی آب

پایان نامه

جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته سازه های آبی

عنوان

شبیه سازی پدیده ضربه قوچ
با استفاده از مدل فیزیکی و مدل عددی CFD

استادان راهنما

دکتر امیر حسین ناظمی

دکتر علی حسین زاده دلیر

استاد مشاور

دکتر فرزین سلماسی

چاپ اطلاعات بدون مسئولیت
توسط مرکز

پژوهشگر

محمد رضا نیک پور

۱ - ۱۳۸۸ / ۶ / ۱

تیر ۱۳۸۸

۱۱۵۶۶۷

تقدیر و شکر

پاس خدایی را سزا است که بشر را به تاج شورو انسر خرد مقدار داد و بر تارک آفرینش خویش به روی حر موجودی درهای رحمت خود را گشود. می ستایم او را که مرابین منت خود نمود و یاریم کرد تا در مسیر زندگی مرحله ای دیگر را با موفقیت پشت سر گذارم. من نیز آنچه بر من است باید بگویم که این همه را پس از لطف و فضل الهی،

مدیون نفسهای گرم مادرم که فیض وجودش مشق عشق زندگی من

و فانوس نگاهش تنها چراغ تاریکی کوچهای بی انتها و دستان پر صلابت پدرم

که دعای خیرش بر پرواز من برای رسیدن به فردا است، می باشم.

در نهایت خضوع از زحمات استادان راهبهای خود آقای دکتر علی حسین زاده دلیر و دکتر امیر حسین ناظمی زاده که در مدت انجام این پژوهش صبورانه مرا راهنمایی نمودند و استاد مشاور دکتر آقایی دکتر فرزین سلای را ارج نهاده و از رهنمودها و محبتهای ایشان در تمامی این مدت شکر و سپاسگذاری می نمایم. همچنین از استاد دکتر آقایی دکتر اوود فرسادی زاده و سایر اساتید محترم گروه مهندسی آب تبریز نهایت شکر را دارم.

از همه دوستانم، آقایان: پیمان ورجاوند، پیام خسروی نیا، محمد مهدی معیری و تام عزیزان دیگر و همچنین بهکلاسی های عزیزم: خانم فریناز شجاع و خانم پریاشجاعی که در تمام طول تحصیل مرا مورد لطف و مهر خود قرار دادند قدر دانی می نمایم.

نام خانوادگی: نیک پور

نام: محمد رضا

عنوان پایان نامه: شبیه سازی پدیده ضربه قوچ با استفاده از مدل فیزیکی و مدل عددی *CFD*

استادان راهنما: دکتر علی حسین زاده دلیر، دکتر امیر حسین ناظمی

استاد مشاور: دکتر فرزین سلماسی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: مهندسی آب

گرایش: سازه‌های آبی

دانشگاه: تبریز دانشکده: کشاورزی

تاریخ فارغ التحصیلی: تیر ۸۸ تعداد صفحات: ۹۴

واژه‌های کلیدی: ضربه قوچ، لوله موج گیر، مدل آشفتگی، مدل حجم سیال، *Fluent*، *CFD*

چکیده:

ضربه قوچ یکی از پدیده‌های مخرب هیدرولیکی است که در جریان‌های تحت فشار سیستم‌هایی از قبیل ایستگاه‌های پمپاژ، خطوط انتقال آب و نفت، تأسیسات برق آبی و... بدلیل غیر قابل تراکم بودن سیال (آب یا نفت) به صورت امواج فشاری میرا ایجاد می‌شود. عواملی که موجب پدیدار شدن چنین تحولی می‌شود عبارتند از خاموش شدن ناگهانی پمپ، باز بسته شدن آنی شیر فلکه و به طور کلی هر عاملی که باعث تغییر میزان و جهت سرعت سیال در خط لوله می‌شود که منتج به اثرات سوء بر روی مجاری، لوله‌های انتقال مایع، پمپ‌ها و به طور کلی ماشین آلات مربوط به انتقال سیالات می‌گردد.

نظر به اهمیت بررسی دقیق این پدیده در شبکه‌های لوله کشی و خطوط انتقال مایعات، در تحقیق حاضر پدیده ضربه قوچ با استفاده از مدل فیزیکی و مدل عددی برای دو حالت با استفاده از لوله موج گیر و بدون آن مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های جمع آوری شده از مدل فیزیکی به ازای دبی‌های مختلف در بازه‌های زمانی دلخواه با نتایج حاصل از مدل عددی *CFD* مقایسه گردید. با توجه به کارایی نرم افزار *Fluent* در شبیه سازی قوانین مربوط به حرکت سیالات و اندرکنش آب و سازه، پس از تعیین بهترین شبکه و بهترین مدل آشفتگی، پدیده مذکور در حالت خاص قطع ناگهانی شیر فلکه با استفاده از مدل حجم سیال شبیه سازی گردید.

در نهایت با استفاده از پارامترهای آماری $RMSE$ ، R^2 و RE نتایج حاصل از مدل عددی با مدل فیزیکی مقایسه گردید. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد مدل عددی *CFD* در شبیه سازی پدیده ضربه قوچ از قابلیت بالایی برخوردار بوده و می‌توان از آن به عنوان یک مدل عددی مناسب جهت محاسبه مقادیر فشارهای حداکثر و حداقل بهره برد.

فصل اول: مقدمه و بررسی منابع

۲	۱-۱- مقدمه
۳	۱-۱-۱- ساختار پایاننامه
۳	۲-۱- پیشینه تحقیق
۱۱	۳-۱- اصول و مبانی نظری
۱۱	۱-۳-۱- نظریه رفتار صلب ستون آب
۱۲	۲-۳-۱- نظریه رفتار کشسانی
۱۲	۴-۱- موقعیت‌های مکانی و زمانی ضربه قوچ
۱۳	۱-۴-۱- باز و بسته کردن شیرهای کنترل جریان
۱۳	۲-۴-۱- از کار افتادن پمپ
۱۴	۳-۴-۱- پر کردن خطوط خالی
۱۴	۴-۴-۱- هواگیری خطوط لوله
۱۵	۵-۱- ادوات متداول کنترل ضربه قوچ
۱۶	۱-۵-۱- مخازن موج گیر
۱۶	۱-۱-۵-۱- مخزن موج گیر ساده
۱۷	۲-۱-۵-۱- مخزن موج گیر یکطرفه
۱۷	۳-۱-۵-۱- مخزن موج گیر هوادهی شده
۱۸	۴-۱-۵-۱- مخزن هوای تحت فشار
۱۸	۲-۵-۱- شیرهای ایمنی
۱۹	۳-۵-۱- شیرهای یکطرفه
۱۹	۴-۵-۱- شیرهای تنظیم فشار
۲۰	۶-۱- بررسی اصول و معادلات ضربه قوچ
۲۴	۷-۱- تحلیل موج در جریان‌های غیر دائمی
۲۵	۱-۷-۱- معادله حرکت در جریان غیر دائمی
۲۸	۲-۷-۱- معادله پیوستگی

فصل دوم: مواد و روشها

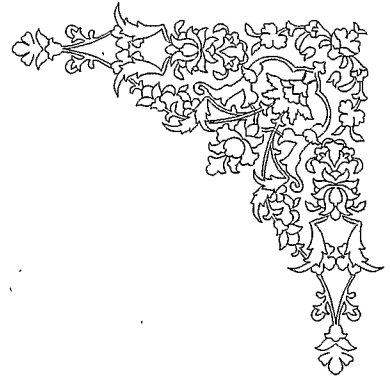
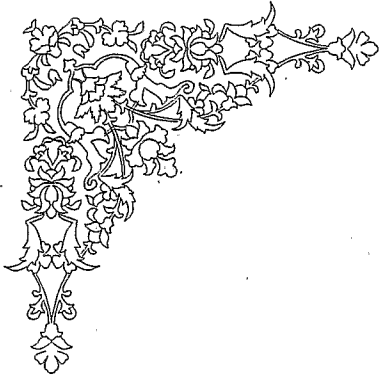
۳۴	۱-۲- مقدمه
۳۴	۲-۲- مدل فیزیکی
۳۶	۱-۲-۲- مدل فیزیکی با استفاده از لوله موج گیر
۳۷	۲-۲-۲- مدل فیزیکی بدون استفاده از لوله موج گیر
۳۸	۳-۲- مدل عددی
۴۰	۱-۳-۲- مراحل کاری <i>CFD</i>

۴۰	۱-۱-۳-۲- مدل سازی هندسی مسأله
۴۰	۲-۱-۳-۲- تولید شبکه مناسب برای حل
۴۱	۳-۱-۳-۲- انتخاب معادلات مناسب جهت حل
۴۱	۴-۱-۳-۲- تعریف شرایط مرزی
۴۱	۵-۱-۳-۲- گسسته سازی معادلات حاکم
۴۱	۶-۱-۳-۲- اجرای برنامه
۴۲	۷-۱-۳-۲- نتایج آماری و نموداری
۴۲	۲-۳-۲- معرفی و کاربرد نرم افزار <i>FLUENT</i>
۴۵	۳-۳-۲- مدل های شبیه سازی جریان چند فازی
۴۶	۱-۳-۳-۲- مدل حجم سیال
۴۶	۲-۳-۳-۲- محدودیت های مدل حجم سیال
۴۷	۳-۳-۳-۲- معادله پیوستگی در مدل نسبت حجمی
۴۸	۴-۳-۳-۲- معادله مومنتم در مدل نسبت حجمی
۴۹	۵-۳-۳-۲- معادله انرژی در مدل نسبت حجمی
۵۰	۶-۳-۳-۲- میانبایی در سطح مشترک سیال ها
۵۳	۴-۳-۲- مدل های آشفته گی موجود در <i>FLUENT</i>
۵۴	۱-۴-۳-۲- مدل $k-\epsilon$
۵۸	۵-۳-۲- مراحل انجام کار
	فصل سوم: نتایج و بحث
۶۴	۱-۳- مقدمه
۶۴	۲-۳- نتایج حاصل از مدل فیزیکی
۶۴	۱-۲-۳- مدل فیزیکی با استفاده از لوله موج گیر
۶۷	۲-۲-۳- مدل فیزیکی بدون استفاده از لوله موج گیر
۶۹	۳-۳- نتایج حاصل از مدل عددی
۶۹	۱-۳-۳- مدل عددی با استفاده از لوله موج گیر
۷۲	۲-۳-۳- مدل عددی بدون استفاده از لوله موج گیر
۷۴	۴-۳- تعیین شبکه بهینه
۷۶	۵-۳- تعیین مدل آشفته گی بهینه
۷۸	۶-۳- مقایسه نتایج مدل فیزیکی و عددی
۷۸	۱-۶-۳- مقایسه مقادیر H_{min} و H_{max} با استفاده از لوله موج گیر
۸۲	۲-۶-۳- مقایسه مقادیر H_{min} و H_{max} بدون استفاده از لوله موج گیر
۸۶	۷-۳- نتیجه گیری کلی

۸۶.....	۳-۸- پیشنهادات.....
۸۹.....	فهرست منابع.....
۹۴.....	ضمیمه.....

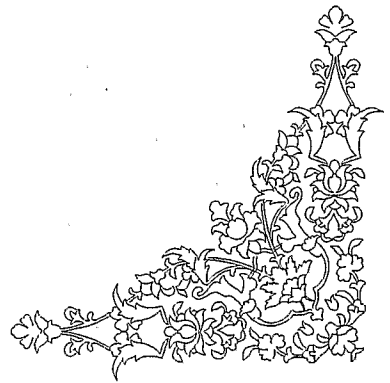
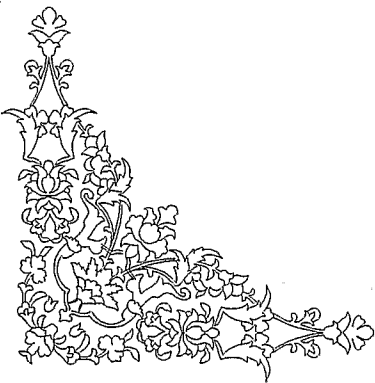
- شکل ۱-۱-۱- پر کردن خط رانش قائم پمپ (کوچک‌زاده و پرورش، ۱۳۸۴)..... ۱۵
- شکل ۱-۲-۱- مخزن موج گیر هوادهی شده (کوچک‌زاده و پرورش، ۱۳۸۴)..... ۱۸
- شکل ۱-۳-۱- بررسی شرایط تعادل دینامیکی در یک جریان ثقلی (نجمایی، ۱۳۷۴)..... ۲۱
- شکل ۱-۴-۱- نیروهای وارد بر یک جزء سیال در مسیر جریان (نجمایی، ۱۳۷۴)..... ۲۵
- شکل ۱-۵-۱- وضعیت حجم کنترل در لحظه t (آشفته و پزشکی‌نژاد، ۱۳۶۹)..... ۲۹
- شکل ۱-۶-۱- وضعیت حجم کنترل در لحظه $t+dt$ (آشفته و پزشکی‌نژاد، ۱۳۶۹)..... ۲۹
- شکل ۱-۲-۱- شمای کلی دستگاه آزمایش ضربه قوچ..... ۳۵
- شکل ۲-۲-۱- موقعیت قرارگیری شیر فلکه‌ها..... ۳۶
- شکل ۲-۳-۱- شبکه بندی قسمتی از مدل با استفاده از المانهای *Tri* (مثلثی)..... ۵۹
- شکل ۲-۴-۱- شبکه بندی قسمتی از مدل با استفاده از المانهای *Quad* (مربعی)..... ۵۹
- شکل ۲-۵-۱- شمای مورد استفاده در مدل عددی..... ۶۰
- شکل ۳-۱-۱- نمودار تغییرات فشار هیدرواستاتیک به ازای دبی $20\text{lit}/\text{min}$ با لوله موج گیر..... ۶۶
- شکل ۳-۲-۱- نمودار تغییرات فشار هیدرواستاتیک به ازای دبی $35\text{lit}/\text{min}$ با لوله موج گیر..... ۶۶
- شکل ۳-۳-۱- نمودار تغییرات فشار هیدرواستاتیک به ازای دبی $50\text{lit}/\text{min}$ با لوله موج گیر..... ۶۷
- شکل ۳-۴-۱- نمودار تغییرات فشار هیدرواستاتیک به ازای دبی $20\text{lit}/\text{min}$ بدون لوله موج گیر..... ۶۸
- شکل ۳-۵-۱- نمودار تغییرات فشار هیدرواستاتیک به ازای دبی $35\text{lit}/\text{min}$ بدون لوله موج گیر..... ۶۸
- شکل ۳-۶-۱- نمودار تغییرات فشار هیدرواستاتیک به ازای دبی $50\text{lit}/\text{min}$ بدون لوله موج گیر..... ۶۹
- شکل ۳-۷-۱- محیط شبکه بندی شده در حالت استفاده از لوله موج گیر..... ۷۰
- شکل ۳-۸-۱- نمودار تغییرات فشار هیدرواستاتیک به روش *CFD* در دبی $20\text{lit}/\text{min}$ با لوله موج گیر..... ۷۰
- شکل ۳-۹-۱- نمودار تغییرات فشار هیدرواستاتیک به روش *CFD* در دبی $35\text{lit}/\text{min}$ با لوله موج گیر..... ۷۱
- شکل ۳-۱۰-۱- نمودار تغییرات فشار هیدرواستاتیک به روش *CFD* در دبی $50\text{lit}/\text{min}$ با لوله موج گیر..... ۷۱
- شکل ۳-۱۱-۱- محیط شبکه بندی شده در حالت بدون استفاده از لوله موج گیر..... ۷۲
- شکل ۳-۱۲-۱- نمودار تغییرات فشار هیدرواستاتیک به روش *CFD* در دبی $20\text{lit}/\text{min}$ بدون لوله موج گیر..... ۷۳
- شکل ۳-۱۳-۱- نمودار تغییرات فشار هیدرواستاتیک به روش *CFD* در دبی $35\text{lit}/\text{min}$ بدون لوله موج گیر..... ۷۳
- شکل ۳-۱۴-۱- نمودار تغییرات فشار هیدرواستاتیک به روش *CFD* در دبی $50\text{lit}/\text{min}$ بدون لوله موج گیر..... ۷۴
- شکل ۳-۱۵-۱- نمودار مربوط به بهترین شبکه با استفاده از لوله موج گیر..... ۷۵
- شکل ۳-۱۶-۱- نمودار مربوط به بهترین شبکه بدون استفاده از لوله موج گیر..... ۷۶
- شکل ۳-۱۷-۱- نمودار مربوط به تعیین مدل آشفتگی با استفاده از لوله موج گیر..... ۷۷
- شکل ۳-۱۸-۱- نمودار مربوط به تعیین مدل آشفتگی بدون استفاده از لوله موج گیر..... ۷۸
- شکل ۳-۱۹-۱- نمودار نکویی برازش مقادیر H_{max} با استفاده از لوله موج گیر..... ۸۱
- شکل ۳-۲۰-۱- نمودار نکویی برازش مقادیر H_{min} با استفاده از لوله موج گیر..... ۸۱
- شکل ۳-۲۱-۱- نمودار نکویی برازش مقادیر H_{max} بدون استفاده از لوله موج گیر..... ۸۵
- شکل ۳-۲۲-۱- نمودار نکویی برازش مقادیر H_{min} بدون استفاده از لوله موج گیر..... ۸۵

۲۲	جدول ۱-۱- عوامل تعادل دینامیکی جریان در یک جزء محدود
۷۹	جدول ۱-۳- مقادیر H_{max} به ازای مدل فیزیکی و مدل عددی
۸۰	جدول ۲-۳- مقادیر H_{min} به ازای مدل فیزیکی و مدل عددی
۸۲	جدول ۳-۳- پارامترهای آماری بررسی کارآیی مدل عددی (با لوله موج گیر)
۸۳	جدول ۴-۳- مقادیر H_{max} به ازای مدل فیزیکی و مدل عددی
۸۴	جدول ۵-۳- مقادیر H_{min} به ازای مدل فیزیکی و مدل عددی
۸۶	جدول ۶-۳- پارامترهای آماری بررسی کارآیی مدل عددی (بدون لوله موج گیر)



فصل اول

مقدمه و بررسی منابع



۱-۱- مقدمه

ضربه قوچ یکی از پدیده‌های مخرب هیدرولیکی است که در جریان‌های تحت فشار سیستم‌هایی از قبیل ایستگاه‌های پمپاژ، خطوط انتقال آب و نفت، نیروگاه‌های برق آبی و... بدلیل غیر قابل تراکم بودن سیال (آب یا نفت) به صورت امواج فشاری میرا ایجاد می‌شود. از عواملی که باعث بروز این پدیده می‌شوند می‌توان به خاموش شدن ناگهانی پمپ، باز و بسته شدن آنی شیر فلکه و به طور کلی هر عاملی که باعث تغییر میزان و جهت سرعت سیال در خط لوله می‌شود، اشاره کرد. وقوع این پدیده باعث ایجاد فشارهای غیر عادی، بروز پدیده کاویتاسیون و در نهایت ترکیدن لوله‌ها و خرابی کل سیستم انتقال سیال می‌شود. بنابراین بررسی دقیق آن به عنوان یک امر لازم، جزء مراحل اولیه و اصلی طراحی بوده تا با شناخت کامل اثر آن، تأسیسات هیدرولیکی از خطرات این پدیده مصون بماند. در واقع سازوکار ضربه قوچ، حساسیت یک سیستم انتقال سیال را در مقابل هر نوع تغییر وضعیت دبی، سرعت و فشار جریان نشان می‌دهد و چون ضربه قوچ یک حالت آشفتگی زودگذر و موقتی است، لذا پس از آنکه این موج مستهلک گردید، جریان دوباره به حالت پایدار و دائمی دیگری که متفاوت از حالت پایدار اولیه است، می‌رسد.

عوامل مختلفی موجب پدیدار شدن چنین تحولی است که منتج به اثرات سوء بر روی مجاری، لوله‌ها و تونل‌های انتقال مایع و همچنین پمپ‌ها و به طور کلی ماشین‌های مربوط به انتقال سیالات می‌گردد. مطالعات بسیاری برای تحلیل این پدیده صورت گرفته است و با استفاده از اصول و قوانین هیدرولیکی مسائل مربوط به ضربه قوچ حل شده است. خصوصاً اینکه کاربرد کامپیوتر در حل مسائل پیچیده مربوط به ضربه‌های ناگهانی در لوله‌ها و مجاری موضوع را تسهیل نموده است.

نظر به اهمیت بررسی دقیق این پدیده در شبکه های لوله کشی و خطوط انتقال مایعات، در این تحقیق پدیده ضربه قوچ با استفاده از مدل فیزیکی و عددی *CFD* مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۱-۱-۱- ساختار پایان نامه

تحقیق حاضر مشتمل بر سه فصل می باشد. در فصل اول پیشینه تحقیق و مطالعات صورت گرفته در زمینه جریانهای غیرماندگار و پدیده ضربه قوچ به همراه اصول و مبانی نظری آن ارائه شده است. علیرغم تحقیقات وسیع صورت گرفته در زمینه وقوع پدیده ضربه قوچ و راههای کنترل آن، با استفاده از مدل عددی *CFD*^۱ هم می توان این پدیده را شبیه سازی کرد. با توجه به کارایی نرم افزار *Fluent* در شبیه سازی قوانین مربوط به حرکت سیالات و اندرکنش آب و سازه، در این تحقیق سعی خواهد شد تا پدیده مذکور در حالت خاص قطع ناگهانی شیر فلکه به روش حجم محدود شبیه سازی شود. لازم به ذکر است که برای شبیه سازی جریان آشفته در لوله مدل های آشفته *k-ε* و *RSM* مورد استفاده قرار می گیرد. در نهایت پارامتر بار آبی در نقاط مورد نظر با مدل فیزیکی مقایسه خواهد شد. فصل دوم شامل شرح مدل فیزیکی و دستگاه مورد استفاده در کار آزمایشگاهی تحقیق و همچنین نرم افزار *Fluent* می باشد. در فصل سوم بر اساس مقایسه خروجی های مدل فیزیکی و مدل عددی مورد استفاده در تحقیق به ارزیابی مدل عددی پرداخته و در نهایت نتایج حاصل از این تحقیق و همچنین پیشنهادات به منظور مطالعات بعدی ارائه شده است.

۱-۲- پیشینه تحقیق

مطالعه جریانهای غیر ماندگار با بررسی پدیده انتشار امواج صوتی در هوا و انتشار امواج در آبهای کم عمق و همچنین جریانهای خون در شریانها شروع شد. با این وجود هیچ یک از این مسائل

^۱ Computational Fluid Dynamic

تا زمانیکه تئوری الاستیسیته، حساب انتگرال و حل معادلات دیفرانسیل جزئی توسعه نیافته بود، قابل حل نبودند.

در گذشته جهت تحلیل جریانهای غیر ماندگار از روشهای ترسیمی استفاده می شد. ولی با ظهور کامپیوترهای دیجیتالی و توانایی و سرعت عمل زیاد آنها در حل معادلات دیفرانسیل، دستگاههای معادلات خطی و غیر خطی و روشهای عددی متعدد، این روشها کنار گذاشته شدند.

وود^۱ در سال ۱۹۷۰ و میچاود^۲ در سال ۱۹۷۸ را به عنوان اولین کسانی که ضربه قوچ را مورد بررسی قرار دادند، می توان نام برد. میچاود مسأله ضربه قوچ و طراحی استفاده از محفظه های هوایی تحت فشار و شیر اطمینان را مورد مطالعه قرار داد (حسنی، ۱۳۸۰).

ژوکوفسکی^۳ در سال ۱۸۹۸ معادله ای جهت حل ضربه قوچ بدست آورد و آن را معادله پایه ضربه قوچ نامید. وی همچنین تحقیقات فراوانی جهت کنترل ضربه قوچ با تانک موج گیر، مخزن هوا و شیرهای اطمینان انجام داد (مجبی پور، ۱۳۸۷).

برونون و گولیا (۱۹۹۱) با تعریف شتاب ناگهانی برای اصطکاک غیر ماندگار به یک سری معادلات کلی در جهت محاسبه اصطکاک غیر ماندگار در حالت میرایی رسیدند. مدل ارائه شده توسط برونون و گولیا (۱۹۹۱) از نتایج بهتری نسبت به مدل های قبلی برخوردار بود. آنها همچنین در کارهای تحقیقاتی خود با به کارگیری ضریب کوریولیس و تنش برشی غیرماندگار در معادله انرژی به یک معادله کلی برای ضربه قوچ رسیدند.

برای حل تحلیلی معادلات ضربه قوچ تک بعدی که یک معادله دیفرانسیل هذلولی است، روش خاصی وجود ندارد. بهترین روش برای حل اینگونه معادلات روشهای عددی می باشند. اولین بار

¹ Wood

² Michaud

³ Joukofski

روش مشخصه^۱ یا *MOC* توسط لیستر در سال ۱۹۶۰ برای حل معادلات دیفرانسیل هذلولی به کار برده شد که شرط رعایت عدد کورانت جهت پایداری عددی این روش امری اجتناب ناپذیر به شمار می‌آید. روش *MOC* برای تأمین شرط پایداری عدد کورانت^۲ با دو محدودیت روبه‌رو است (نجمایی، ۱۳۷۴):

- موقعیت نصب ابزارهای هیدرولیکی باید کاملاً با اجزای خطوط لوله در مدل واقعی تطابق داشته باشد.

- گام زمانی مورد نیاز برای همگرا شدن روش محاسباتی معمولاً کمتر از گام زمانی مورد نیاز برای ابزار اندازه‌گیری می‌باشد، لذا زمان مورد نیاز برای محاسبات بیشتر خواهد شد.

همچنین استریتر و وایلی (۱۹۹۳) برای تحلیل خطوط انتقال آب مجهز به مخزن موج گیر و لوله هوا از روش خطوط مشخصه استفاده نمودند. آنها همچنین با استفاده از آزمایشات خود نشان دادند که جریان‌های میرا در سیستم‌های انتقال آب می‌تواند منجر به بروز فشارهای بیش از حد یا فشارهای منفی شود که برای محافظت سیستم و جلوگیری از بروز خسارت نیازمند لوله‌های ضخیم و ابزارهای محافظتی مانند مخزن موج گیر یا لوله هوا^۳ می‌باشد.

استیفنسن و فیلو (۱۹۹۷) با بررسی تأثیر مشخصات هیدرولیکی و هندسی لوله بر فشار ناشی از ضربه قوچ روابطی را ارائه کردند. آنها با آزمایشات مکرر خود دریافتند که وقوع ضربه‌های پی در پی در یک سیستم انتقال آب می‌تواند فرسودگی خطوط لوله و ایجاد نشت از نقاط مختلف آن را به دنبال داشته باشد.

¹ Method Of Characteristic

² Courant Number

³ Stand Pipe

قیداو و کارنی (۱۹۹۸) به بررسی پدیده ضربه قوچ به روش سرعت-موج اصلاح شده^۱ و مقایسه آن با روش خطوط مشخصه پرداختند که در نهایت روش آنها نتیجه بهتری داد. آنها همچنین خطاهای ناشی از استفاده روشهای عددی یا درونیابی را برای تحلیل سیستمهای ساده خطوط انتقال آب مورد مطالعه و بررسی قرار دادند.

چون و هیو (۲۰۰۰) پس از انجام ۱۷ آزمایش بر روی دستگاه ضربه زنی به ازای دبیهای مختلف و جمع آوری پارامترهای مورد نیاز، مدل *CIWH* را که در محیط *Visual Basic* کد نویسی شده بود، مورد ارزیابی قرار داد.

برونان و کارنی (۲۰۰۰) با استفاده از مدل آزمایشگاهی شرایط به وجود آمدن جریانهای میرا و ضربه قوچ را فراهم کرده و با ثبت پروفیل سرعت در هنگام وقوع جریانهای میرا، اغتشاش جریان و تغییرات هد پیزومتریک را بررسی کردند. نمودارهای بدست آمده با نتایج حاصل از روابط عددی تطابق خوبی داشت.

لینگریدی و همکاران (۲۰۰۰) طرح بهینه سازی مخزن موج گیر را با یک سری محدودیتهای فشاری تحت عنوان بهینه سازی مقید حالت غیر ماندگار با روشهای عمومی بهینه سازی مثل الگوریتم ژنتیک ارائه دادند که شروع کار بهینه سازی مقید در جریان غیر ماندگار لولهها با روش فوق به شمار می آمد.

قیداو و منصور (۲۰۰۲) با حل تحلیلی پدیده ضربه قوچ رابطه ای برای محاسبه تنش برشی موثر وارد بر دیواره لولهها به دست آوردند. آنها همچنین به بررسی قابلیتهای مدل‌های آشفتگی تقارن محوری و شبه ماندگار در تحلیل پدیده ضربه قوچ اشاره کردند.

¹ *Modified Wave-Speed*

استیفنسن (۲۰۰۲) بر اساس نتایج بدست آمده از مدل فیزیکی، لوله‌های هوا دهنده را ایزاری مناسب جهت محافظت از خط لوله در مقابل پدیده ضربه قوچ معرفی کرد. او با استفاده از آزمایشات خود نشان داد که استفاده از لوله هوا می‌تواند خسارات ناشی از امواج به وجود آمده در سیستم خط انتقال در اثر قطع ناگهانی پمپ، حرکات سریع شیر فلکه و... را تا حدود زیادی کنترل نماید.

برگانت و تیجسلینگ (۲۰۰۳) با تحلیل سه بعدی جریان و اغتشاشات سیال و همچنین اثرات ناشی از تغییرات موضعی در شکل و سطح مقطع خطوط لوله به بررسی عوامل موثر بر کاهش امواج ضربه قوچ پرداختند. همچنین آنها دو پارامتر نشت و انسداد لوله را به عنوان دو شرط مرزی مهم در خطوط لوله مورد بررسی قرار دادند. در این کار تحقیقاتی همچنین پارامتر ضریب اصلاح مومتم در معادلات کلاسیک ضربه قوچ بررسی شد.

یانگ و ژانگ (۲۰۰۳) با حل همزمان معادلات مربوط به جریان‌های غیرماندگار، مدلی عددی جهت تحلیل ضربه قوچ ایجاد شده در سازه های انتقال سیال مجهز به گره‌ها و شیرهای کنترل ارائه دادند. لازم به ذکر است که مدل آنها با مقادیر آزمایشگاهی و روش خطوط مشخصه مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج رضایت بخشی به همراه داشت.

ژاو و قیداو (۲۰۰۳) مدلی دو بعدی جهت تحلیل جریان آشفته در لوله ها هنگام وقوع ضربه قوچ ارائه دادند. ژاو و قیداو (۲۰۰۴) معادلات حاکم بر پدیده ضربه قوچ را به روش حجم محدود با شمای صریح^۱ مرتبه اول و دوم گسسته سازی و تحلیل کردند.

برگانت و سیمپسون (۲۰۰۵) وجود هوا و گازهای محلول در سیستم انتقال آب و همچنین پدیده جدایی ستون آب در هنگام وقوع ضربه قوچ را از دیدگاهها و نظریه‌های مختلف بررسی کردند. در واقع وجود هوا یا گازهای محلول در سیالاتی که در لوله‌های سیستم انتقال جریان دارند، موجب

^۱ Explicit

کاهش سرعت انتشار موج فشار می‌گردد و از سوی دیگر جدایی ستون آب به ویژه در سیستمهای انتقال با فشار کم موجب خطراتی از جمله تخریب سیستم خط انتقال سیال می‌گردد.

لی و همکاران (۲۰۰۵) تأثیر ورود هوا به سیستم خطوط انتقال لوله را برای کنترل فشارهای ناگهانی با استفاده از روشهای عددی مدل کرد. او برای تحلیل جریانهای میرا در سیستمهای مجهز به لوله‌های هوا از یک روش عددی یک بعدی با در نظر گرفتن پارامترهای زمان و مکان استفاده کرد. جانگ و کارنی (۲۰۰۶) از مدل‌های GA^1 و PSO^2 برای بهینه سازی خطوط انتقال آب و کاهش خسارات ناشی از ضربه قوچ استفاده کرد. آنها با تعیین موقعیت بهینه تجهیزات کنترل سیستم انتقال آب و همچنین انتخاب قطر، جنس و ضخامت مناسب برای لوله‌ها به توابع هدف سیستم که عبارت بودند از حداقل کردن فشار مثبت، حداکثر نمودن فشار منفی و حداقل کردن اختلاف میان حداقل و حداکثر بار موجود در سیستم خط لوله، دست پیدا کردند. در نهایت مدل GA نسبت به PSO نتیجه بهتری داد.

تیجسلینگ (۲۰۰۷) با ارائه یک مدل ریاضی یک بعدی ضخامت دیواره لوله‌های مورد استفاده در جریانهای تحت فشار و اثر کشسانی آنها را در هنگام وقوع ضربه قوچ مورد بررسی قرار داد. مدل ارائه شده برای لوله‌های نازک که نسبت شعاع به ضخامت در آنها بیشتر از ۲ است قابل استفاده بوده و برای لوله‌های ضخیم با یک فاکتور تصحیح همراه است.

از آنجاییکه ضربه قوچ به عنوان یک شوک شناخته می‌شود، اغتشاشات مشاهده شده در سیستمهای انتقال آب ممکن است از نوسان جریانی که به سرعت به مقدار ویران کننده‌ای می‌رسد ناشی شود. بنابراین ضربه قوچ ممکن است با یک اثر تشدید ناشی از افزایش نوسان همراه باشد. لذا اولین بار جی والر در سال ۱۹۵۸ روش رزونانس یا امیدانس را جهت تحلیل ضربه قوچ ارائه داد.

¹ Genetic Algorithm

² Particle Swarm Optimization

روش حل در این مورد شامل استفاده از یک نوسان سینوسی می‌باشد که فرکانس آن در یک محدوده مناسب تغییر می‌کند و دامنه و مشخصه‌های فاز تمام سیستم نیز تعیین می‌شود. در این روش رفتار یک سیستم به صورت رابطه $h=zq$ تشریح می‌شود، که در آن Z امپدانس مختلط فشار نوسانی است و به یک جریان نوسانی q مرتبط می‌باشد. مقدار Z برای هر فرکانس قابل تعیین است. زمانی که مقدار Z بزرگ باشد، یک نوسان کوچک q می‌تواند h بزرگ تولید کند (قباد، ۱۳۶۷).

در همین راستا کیم (۲۰۰۸) با کاربرد ماتریسهای امپدانس ارتباط شرایط جریان از حالت ورقه‌ای به آشفته و برعکس را شبیه سازی نمود. با استفاده از این روش که اصطلاحاً روش پاسخ ضربه‌ای^۱ (*IRM*) نامیده می‌شود، می‌توان موقعیت نصب و هندسه ابزارهای هیدرولیکی محافظ خطوط انتقال آب را با دقت بالا طراحی و پیاده نمود. مثالهای کاربردی نشان می‌دهد که شبیه سازیهای صورت گرفته توسط روش *IRM* با نتایج بدست آمده از روش *MOC* مطابقت دارد.

حسن زاده و همکاران (۱۳۸۲) طی یک کار تحقیقاتی وقوع پدیده ضربه قوچ را در یک ایستگاه پمپاژ فشار قوی مورد مطالعه قرار داده و پس از تحلیل معادلات حاکم بر پدیده به روش خطوط مشخصه، ایستگاه پمپاژ مورد نظر را با در نظر گرفتن ابزارهای مختلف کنترل فشار از قبیل محفظه هوا، چرخ طیار، تانک موج گیر و ترکیبی از محفظه هوا و تانک موج گیر مورد بررسی قرار دادند. در نهایت محفظه هوا به عنوان بهترین وسیله جهت کنترل فشارهای ناشی از ضربه قوچ شناخته شد.

موسوی جهرمی و همکاران (۱۳۸۵) به شبیه سازی هیدرولیکی پدیده ضربه قوچ در خطوط انتقال آب مجهز به لوله‌های چند قطری و جنسهای متفاوت با استفاده از نرم‌افزار *HiTran* پرداختند و با توجه به نتایج شبیه سازی شده و بررسیهای به عمل آمده به این نتیجه رسیدند که تغییر جنس در سیستم خط انتقال باید از لوله با مدول الاستیسیته بیشتر به لوله با مدول الاستیسیته کمتر صورت گیرد

^۱ *Impulse Response Method*

و هر چه مدول الاستیسیته دو لوله به هم نزدیکتر باشد تغییرات فشار کمتر می شود و اگر همزمان با تغییر جنس، تغییر قطر نیز اجباری باشد، بهتر است که قطر لوله دوم را یک سایز بزرگتر در نظر بگیریم تا محدوده تغییرات فشار کمتر گردد.

افشار و محبوی (۱۳۸۶) جریان‌های میرا در سیستم انتقال دارای پمپ را با استفاده از خطوط مشخصه شبیه سازی کردند و نشان دادند که با افزایش قطر لوله‌ها، اثرات توقف ناگهانی پمپ به ویژه مقدار فشار منفی ایجاد شده و جدایی ستون آب ناشی از آن کاهش می‌یابد. آنها همچنین با استفاده از الگوریتم ژنتیک، قطر و ضخامت بهینه لوله‌های سیستم انتقال را برای جلوگیری از اثرات مخرب ضربه قوچ بدست آوردند تا بدین وسیله از افزایش بی‌مورد هزینه‌ها جلوگیری به عمل آید.

اسدی نیازی و خسروجردی (۱۳۸۶) روش‌های مختلف مهار ضربه قوچ را مورد بررسی قرار داده و مکانیزم عملکرد مخزن هوای تحت فشار و ابعاد بهینه آن، شامل حجم، قطر، ضخامت، زاویه تبدیل و... را در فشارهای مثبت و منفی با توجه به معادلات حاکم تحلیل و در نهایت تأثیر مخزن هوای تحت فشار را برای یک نمونه واقعی به همراه نتایج آن ارائه دادند.

ساقی و مغربی (۱۳۸۷) نحوه تأثیر مخزن موج گیر ساده را بر کاهش فشارها در مقایسه با حالت بدون مخزن موج گیر در اثر بسته شدن آنی و تدریجی شیر فلکه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بسته شدن آنی شیر فلکه در مقایسه با بسته شدن تدریجی در طی ۶۰ ثانیه، بدون استفاده از مخزن موج گیر فشارها را در موقعیت شیر فلکه افزایش داده در حالیکه در صورت وجود مخزن موج گیر، علیرغم آنکه نوسانات در بستن آنی شیر فلکه حدود بیست برابر بیش از نوسانات موقع بستن تدریجی می‌باشد، اما تغییرات مقدار متوسط آنها نسبت به زمان از یک الگو تبعیت می‌کند.

علیرغم تحقیقات وسیع صورت گرفته در زمینه وقوع پدیده ضربه قوچ و راه‌های کنترل آن، از مدل عددی CFD^1 هم می‌توان به عنوان روشی جدید جهت شبیه‌سازی این پدیده استفاده کرد. با توجه به کارایی نرم افزار *Fluent* در شبیه‌سازی قوانین مربوط به حرکت سیالات و اندرکنش آب و سازه، در این تحقیق سعی خواهد شد تا پدیده مذکور در حالت خاص قطع ناگهانی شیر فلکه به روش حجم محدود با استفاده از مدل حجم سیال^۲ شبیه‌سازی شود.

۱-۳-۱- اصول و مبانی نظری

جهت مطالعه و بررسی پدیده ضربه قوچ لازم است به نظریه‌ها و دیدگاه‌های متفاوتی که در مورد چگونگی این پدیده بیان شده اشاره گردد. به طور معمول در سیستم‌های انتقال سیال، فرآیند ضربه قوچ را می‌توان به دو روش متفاوت زیر مورد بررسی قرار داد:

۱-۳-۱-۱- نظریه رفتار صلب ستون آب^۳

در این نظریه فرآیند ضربه قوچ بدین نحو توجیه می‌گردد که در نتیجه اختلاف فشاری که بین دو سر یک ستون آب به وجود می‌آید، شتابی آنی حاصل می‌گردد. این نظریه بر اساس فرضیات زیر بنا نهاده شده است:

- جریان در سیستم انتقال به عنوان یک جریان دائمی و پایدار فرض می‌شود، لذا دبی و سرعت جریان نسبت به زمان تغییر نمی‌کند.
- لوله جریان به صورت کاملاً صلب فرض می‌شود و لذا کاهش یا افزایش فشار موجب کرنش جدار لوله نخواهد گشت.

¹ *Computational Fluids Dynamic*

² *Volume Of Fluid Model*

³ *Rigid Column Theory*