بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی علوم آب

۹۲۳٤۷۰۹

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب

گرایش سازه های آبی

عنوان :

بررسی تغییرات موج فشاری در جریان‌های میرای کاهنده

استاد راهنما:

دکترمنوچهر فتحی مقدم

استاد مشاور:

دکتر سید محمود کاشفی پور

نگارنده :

مصطفی آزادی

شهریور ۱۳۹۲

دانشگاه شهید چمران اهواز شماره _____

مدیریت تحصیلات تکمیلی تاریخ _____

بسمه تعالی

(نتیجهٔ ارزشیابی پایان‌نامه دوره کارشناسی‌ارشد)

بدینوسیله گواهی می‌گردد دفاع از پایان‌نامهٔ **آقای مصطفی آزادی** دانشجوی **کارشناسی ارشد** رشته **سازه های آبی** از دانشکدهٔ مهندسی علوم آب بشماره دانشجویی **۹۰۳۴۷۰۱** تحت عنوان :

بررسی تغییرات موج فشاری در جریان های میرای کاهنده

جهت اخذ درجه کارشناسی‌ارشد در تاریخ **۱۳۹۲/۶/۲۵** توسط هیئت داوران مورد ارزشیابی قرار گرفت و با درجه .....عالی..... تصویب گردید.

۱- اعضاء هیئت داوران:	مرتبه علمی	امضاء
الف - استاد راهنما: **دکتر منوچهر فتحی مقدم**	**استاد**	
ب - استاد مشاور: **دکتر سید محمود کاشفی پور**	**استاد**	
ج - داور ۱ : **دکتر سید حبیب موسوی جهرمی**	**دانشیار**	
د - داور ۲: **دکتر محمود شفاعی بجستان**	**استاد**	
هـ - نمایندهٔ تحصیلات تکمیلی : **دکتر امیر سلطانی محمدی**	**استادیار**	
و - مدیرگروه: **دکتر سید حبیب موسوی جهرمی**	**دانشیار**	
ز- معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده: **دکتر منوچهر فتحی مقدم**	**استاد**	
ح- مدیرکل تحصیلات تکمیلی: **دکتر مسعود قربانپور نجف آبادی**	**استاد**	

فصل اول- مقدمه و کلیات **۹**

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- ضرورت و اهداف تحقیق ۵

۱-۳- فرضیات تحقیق ٦

۱-٤- نوآوری تحقیق ۷

۱-۵- ساختار پایان نامه ۸

فصل دوم- تئوری ضربه قوچ **۹**

۲-۱- مقدمه ۱۰

۲-۲- حرکت موج فشاری در لوله ۱۱

۲-۳- عوامل پدید آورنده جریان میرا ۱۵

۲-٤- نظریه‌های تحلیل ضربه قوچ ۱٦

۲-۵- معادلات دیفرانسیلی اساسی جریان‌های میرا ۱۷

۲-۵-۱- معادله پیوستگی ۱۷

۲-۵-۲- معادله اندازه حرکت ۱۹

۲-۵-۳- سرعت انتشار موج در لوله‌ها با دیوارهٔ نازک: ۲۱

۲-٦- روش حل معادلات اندازه حرکت و پیوستگی در جریان ناپایدار تحت فشار ۲۹

۲-۷- مروری بر تحقیقات گذشته ۳۱

فصل سوم- مواد و روش ها **٤۹**

۳-۱- مقدمه ۵۰

۳-۲- آنالیز ابعادی ۵۲

۳-۳- مدل فیزیکی ۵۳

۳-۳-۱- مدل فیزیکی پایه ۵٤

۳-۳-۲- سیستم تأمین آب با هد ثابت ۵٤

۳-۳-۳- سیستم لوله کشی پلی اتیلن و شیر آلات قطع و وصل جریان ۵۵

۳-٤- تجهیزات آزمایشگاهی مدل ۵٦

۳-٤-۱- دبی سنج ۵٦

۳-٤-۲- کالیبراسیون دستگاه دبی سنج ۵۹

۳-٤-۳- مبدل فشار دینامیکی ٦۰

۳-۳-٤- دیتا لاگر (دستگاه ثبت دیتا) ٦۲

۳-٤-۵- فیلترینگ اثر نویز سیگنال‌های ثبت شده ٦۳

۳-٤-٦- زمان سنج دیجیتال مجهز به سنسورهای نوری ٦٤

۳-۵- سناریو انجام آزمایشات ٦۵

۳-۵-۱- بررسی تغییرات حداکثر و حداقل فشار و شکل موج فشاری بر اثر تغییر شتاب کاهنده جریان میرا ٦٦
۳-۵-۲- بررسی تغییرات حداکثر فشار و شکل موج فشاری در اثرکاهش سرعت جریان ٦٩
۳-۵-۳-بررسی سرعت متوسط موج فشاری در طول جریان میرا ۷۳

فصل چهارم- نتایج و بحث ۷۵

٤-۱- مقدمه ۷٦
٤-۲- نتایج حاصل از سناریو اول آزمایشات (بررسی تغییرات حداکثر و حداقل فشار و شکل موج فشاری بر اثر تغییر شتاب کاهنده جریان میرا) ۷٦
٤-۲-۱- مشاهدات و نمودارهای حاصل از آزمایشات در قطر ۲.۵ اینچ ۷۷
٤-۲-۲- مشاهدات و نمودارهای حاصل از آزمایشات در قطر ۲ اینچ ۸۱
٤-۲-۳- مشاهدات و نمودارهای حاصل از آزمایشات در قطر ۱.۲۵ اینچ ۸٤
٤-۲-٤- مقایسه حداکثر فشار ضربه قوچ با رابطه حداکثر فشار ژوکوفسکی و محاسبه ضریب اصلاحی ۸۸
٤-۲-۵- استخراج رابطه حداکثر فشار بر اثر تغییر در سرعت قطع جریان ۹۰
٤-۳- نتایج حاصل از سناریو شماره ۲ (بررسی تغییرات حداکثر فشار و شکل موج فشاری در اثر کاهش سرعت جریان) ۹۲
٤-۳-۱- مشاهدات و نمودارهای حاصل از آزمایشات در قطر ۲.۵ اینچ ۹۳
٤-۳-۲- مشاهدات و نمودارهای حاصل از آزمایشات در قطر ۲ اینچ ۹٦
٤-۳-۳- مشاهدات و نمودارهای حاصل از آزمایشات در قطر ۱.۲۵ اینچ ۱۰۰
٤-۳-٤- استخراج رابطه تخمین حداکثر فشار ایجاد شده در مقطع پشت شیر بر اثر کاهش دبی ۱۰۳
٤-٤- نتایج حاصل از سناریو شماره ۳ (بررسی سرعت متوسط موج فشاری در طول جریان میرا) ۱۰۵
٤-٤-۱- روش انجام آزمایشات و محاسبه سرعت موج ۱۰۵
٤-٤-۲- تغییرات سرعت موج و مقادیر حداقل و حداکثر فشار ۱۰٦
٤-٤-۳- بررسی نتایج حاصل سناریو شماره سه ۱۰۸

فصل پنجم- خلاصه نتایج و پیشنهادات ۱۱۰

۵-۱- مقدمه ۱۱۱
۵-۲- خلاصه نتایج ۱۱۱
۵-۳- پیشنهادات ۱۱۲

منابع ۱۱٤

نام خانوادگی : آزادی	**نام:** مصطفی	**شماره دانشجویی :**۹۰۳۴۷۰۱
عنوان پایان نامه : بررسی تغییرات موج فشاری در جریان های میرای کاهنده		
استادراهنما: دکتر منوچهر فتحی مقدم		
استاد مشاور: دکتر محمود کاشفی پور		
درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد	**رشته:** آب	**گرایش:** سازه های آبی
دانشگاه : شهید چمران اهواز	**دانشکده:** مهندسی علوم آب	**گروه :** سازه های آبی
تاریخ فارغ التحصیلی :		**تعداد صفحه:**
کلید واژه ها : ضربه قوچ ، جریان میرا ، مدل فیزیکی ، موج فشاری ، سرعت موج		

چکیده:

هر گونه تغییر در دبی سیال می‌تواند باعث نوسان و ایجاد ناپایداری در شرایط هیدرولیکی از جمله سرعت و فشار آن گردد. علت این تغییر و شدت آن می‌تواند ناشی از قطع و وصل جریان توسط شیرهای بهره برداری و یا خاموش و روشن شدن پمپ‌ها و عواملی مشابه باشد. گاهی اوقات فشارهای ناشی از قطع شدن جریان بسیار شدید بوده و می‌تواند باعث آسیب رسیدن به تجهیزات و سیستم لوله کشی گردد. به همین دلیل در این تحقیق به بررسی و تجزیه تحلیل انتشار و میرایی امواج ناشی از قطع و یا کاهش جریان در لوله‌های تحت فشار پرداخته شده است. در راستای انجام این تحقیق، از مدل فیزیکی جریان‌های میرا واقع در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز استفاده شده است. این سیستم دارای سیستم لوله کشی از جنس پلی اتیلن و به طول تقریبی ۵۰ متر و با قطر خارجی حداکثر ۷۵ میلی متر می‌باشد. نحوه اتصال لوله‌ها در آزمایشات این تحقیق به صورت سری می‌باشد. جهت نمونه برداری و ثبت تغییرات فشار در سیستم از تعدادی مبدل فشاری و یک دیتا لاگر با قابلیت ثبت هم‌زمان ۸ کانال ورودی دیتا می‌باشد. آزمایشات این تحقیق در سه سناریو مختلف انجام گرفته است. در سناریو اول پارامتر مورد بررسی تغییر در زمان قطع شدن جریان (۲۰ زمان بین ۰.۱۵ تا ۵ ثانیه) و بررسی تأثیر آن بر روی امواج فشاری ایجاد شده است. سایر پارامترها شامل ۵ دبی مختلف و سه قطر لوله می‌باشد و در سناریو دوم تأثیر کاهش دبی بر روی امواج فشاری می‌باشد. قطع جریان در این سری از آزمایشات به صورت سریع می‌باشد و سایر متغیرها شامل ۳ دبی و ۳ قطر مختلف می‌باشد. در سناریو سوم تغییرات سرعت موج فشاری در طول میرایی جریان مورد بررسی قرار گرفته است. متغیرهای این آزمایشات ۳ دبی مختلف در قطر ۶۳ میلی متر می‌باشد. با توجه به نتایج این آزمایشات در سناریو اول مشاهده شد که با افزایش زمان قطع جریان مقدار حداکثر فشارها کاهش یافته و رابطه این متغیرها در رابطه استخراجی مشخص گردید. نتایج حاصل از سناریو دوم نیز به صورت یک رابطه استخراجی بیان گردیده است. با توجه به این نتایج هرچه نسبت دبی ثانویه به دبی اولیه بیشتر گردد میزان حداکثر فشارهای حاصل کاهش می‌یابد. نتایج سناریو سوم به صورت بحثی در چگونگی تغییر سرعت امواج در طول جریان میرا می‌باشد و با توجه به آن در طول میرایی امواج سرعت آن به صورت افزایشی بوده تا اینکه نهایتاً در مقداری نزدیک به سرعت تئوری امواج ثابت می‌گردد. شرایط آزمایشات این سناریو به صورتی است که دامنه تغییرات فشار در مقادیر منفی نیز قرار گیرد.

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

جریان‌های سیالات با توجه به خصوصیات زمانی به دو دسته ماندگار و نا ماندگار تقسیم بندی می‌گردد. دسته اول، جریان ماندگار، جریانی است که در آن خصوصیات جریان از قبیل سرعت و دبی در طول زمان ثابت می‌باشد. در دسته دوم خصوصیات جریان نسبت به زمان تغییر می‌کنند و به همین دلیل نام "نا ماندگار" بر آن‌ها نهاده‌اند.

جریان میرا نوعی از جریان نا ماندگار است که در حد فاصل دو جریان ماندگار مختلف شکل می‌گیرد. به طوری که وقتی در شرایط هیدرولیکی جریان تغییری ایجاد شود (به طور مثال اگر سرعت جریان کاهش یابد) تا زمان ثابت شدن شرایط، جریان به صورت ناماندگار خواهد بود و جریان حد فاصل جریان‌های ماندگار اولیه و ثانویه را میرا می‌نامند و در صورتی که این تغییر در راستای کاهش سرعت جریان باشد به آن جریان میرای کاهنده[1] گفته می‌شود.

جریان‌های ناپایدار را می‌توان به دو طبقه کلی تقسیم نمود. اولین نوع جریان ناپایدار که در واقع می‌توان آن را جریان شبه پایدار نامید، در حالی اتفاق می‌افتد که رفتار سیال از اینرسی و آثار کشسانی تأثیر نمی‌پذیرد. (نیروی اینرسی یا ماند در هر سیال، به دلیل تغییر سرعت و در نتیجه مقاومت در مقابل تغییر اندازه حرکت آن سیال به وجود می‌آید). در جریان شبه پایدار تغییرات بده و فشار در طول زمان آرام است و بعد از طی زمان کوتاهی، جریان پایدار برقرار می‌شود. برای مثال می‌توان تخلیهٔ یک مخزن بزرگ را ذکر کرد. در جریان نوع دوم که می‌توان آن را جریان ناپایدار واقعی نامید، عامل اینرسی به تنهایی و یا همراه با اثر کشسانی نقش مؤثری ایفا می‌کند. ترم‌های اینرسی به اجزای معادلهٔ اندازه حرکت حاکم بر جریان اطلاق می‌شود که شامل تغییرات

1-decelerating flow

سرعت در زمان یا مکان باشند. اما اثر کشسانی خود را در معادلهٔ بقای جرم نشان می‌دهند. اگر مقدار ترم اینرسی قابل توجه باشند و اثر قابلیت کشسانی لوله و سیال ناچیز باشد، آنگاه جریان ناپایداری حاصل می‌شود که آن را با عنوان جریان ستون صلب[1] می‌نامند. برای داشتن یک جریان به صورت ناپایدار واقعی باید ترم کشسانی را در لوله و سیال نیز منظور گردد، آنگاه شرایط جریان را به صورت ضربهٔ قوچ خواهیم داشت.

ضربه‌ی قوچ که به آن چکش آبی نیز می‌گویند و ترجمه‌ی عبارت "water hammer" می‌باشد، در اثر تغییرات سریع شرایط هیدرولیکی جریان‌های تحت فشار ایجاد می‌شود. این تغییر خود را به صورت موج‌های فشاری نشان می‌دهد که در طول لوله با سرعت زیاد به حرکت در می‌آیند. در واقع 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 پدیده زودگذر و موقتی است پس از آن که موج‌های ایجاد شده مستهلک گردید، جریان به حالت پایدار و دائمی که متفاوت از حالت اولیه است، می‌رسد. فشارهای ناشی از ضربه قوچ تحت شرایط زمانی و مکانی مختلف تفاوت می‌کند، گاهی اوقات این فشار توسط سیستم انتقال تحمل می‌گردد و گاهی هم باعث وارد شدن خسارت به سیستم انتقال و توزیع می‌گردد.

هر چند عمر مطالعات مربوط به ضربه قوچ به بیش از یک قرن رسیده است، ولی در مقایسه با سایر علوم نظری و کاربردی، علم مربوط به مطالعه ضربه قوچ بسیار جوان می‌باشد. با ظهور ماشین‌های حسابگر الکترونیکی، عصر جدیدی از تجزیه و تحلیل مسایل ضربه قوچی پدید آمد و کاربردهای وسیعی در طرح‌های انتقال سیال یافته‌اند. باید اذعان نمود که مسایل مربوط به ضربه

1-Rigid column

قوچ به دلایل عمده و گوناگونی پیچیده بوده و به همین دلیل حل معادلات و فرمول‌های آن تنها از طریق استفاده از برنامه‌های کامپیوتری امکان‌پذیر گشته است. در واقع کامپیوترها به پیشرفت و توسعه تجزیه و تحلیل ضربه قوچ کمک شایان توجهی نموده‌اند. در بسیاری از موارد مانند سیستم‌های شبکه‌های توزیع آب و خطوط لوله انتقال سیالات تحت فشار، تصور حل مسایل مربوط به ضربه قوچ بدون ماشین‌های حسابگر ناممکن به نظر می‌رسد.

با وجود این که در حال حاضر مکانیزم تشکیل ضربه قوچ کاملاً شناخته شده، اما به علت وسعت و گستردگی ابعاد مسئله ضربه قوچ و وجود شرایط گوناگون مکانی و زمانی در این فرایند، دامنه تحقیقات در این زمینه ادامه داشته و هنوز دنیای وسیعی از مجهولات و مشکلات ناشی از ضربه قوچ در برابر محققین قرار دارد که تلاش برای حل این مسائل همچنان ادامه دارد.

یکی از روش‌های مطالعه و شناخت کامل یک پدیده استفاده از مدل است. مدل معمولاً به ابزاری گفته می‌شود که بتواند آینده را پیش بینی کند، چنین ابزاری معمولاً از روابط ریاضی بین علت و معلول استفاده می‌کند. آن دسته از پدیده‌های هیدرولیکی که روابط ریاضی حاکم بر آن‌ها به وجود آمده و روش‌های حل آن روابط تاکنون شناخته شده‌اند را اصطلاحاً با مدل‌های ریاضی می‌توان پیش بینی کرد. (شفاعی بجستان، ۱۳۸۹) حل معادلات در بعضی از پدیده‌ها مانند مسائل مربوط به جریان‌های آرام و یا سیالات ایده ال توسط مدل‌های ریاضی به خوبی انجام می‌گیرد. اما در مسائل پیچیده‌تر مانند جریان‌های آشفته سیالات به علت پیچیدگی معادلات و همچنین پدیده‌هایی مانند جریان های میرا به علت پیچیدگی و عدم شناخت کامل و تکامل روابط موجود انجام آزمایش و تجربه نقش پر رنگی پیدا می‌کند. در چنین مواردی جهت تحلیل و بررسی آزمایشگاهی پدیده از مدل‌های مدل فیزیکی – هیدرولیکی استفاده می‌شود. انجام آزمایش روی

نمونه اصلی در اکثر موارد به علت بزرگی و نیاز به فضای زیاد و یا بـه دلیـل گرانـی مـواد نمونـه اصلی مقرون به صرفه نیست. در نتیجه، قبول انجام آزمایش به عنوان دقیق‌ترین و مطمئن‌تـرین راه حل مسائل و مشکلات عملی در علم مکانیک سیالت و هیدرولیک لـزوم مـدل سـازی و بررسـی مسائل روی نمونه‌های کوچک‌تر و ساده‌تر را اجتناب ناپذیر می‌سازد.

به طور کلی طراحی در علم هیدرولیک و سازه‌های آبی بر یکی از سـه اصـل تئـوری و دلیـل، تجارب ناشی از طرح‌های انجام شده مشابه، و یا آزمایش و مطالعه رفتار مدل ساخته شده از روی نمونه اصلی باید استوار باشد. در اکثر موارد به دلیل منفرد بودن شکل و موقعیت طرح از تجـارب طرح‌های گذشته نمی‌توان بهره زیادی بدست آورد. از طرفی با تمـام پیشـرفت‌هـایی کـه در علـم ریاضی شده است انجام طراحی به وسیله تئوری و بر مبنای مستندات ریاضـی بـرای جریـان‌هـای غیر یکنواخت و غیر ماندگار، انتقال رسوب، اختلاط و پراکنش[1] به خصوص در محـیط‌هـایی کـه شکل هندسی پیچیده‌ای دارنـد غیـر ممکـن اسـت. در نتیجـه آزمـایش روی مـدل‌هـا در مقیـاس کوچک‌تر در موارد زیادی تنها راه حل برای این‌گونه مسائل است. امروزه، مـدل نمـودن مسـائل و پدیده‌های فیزیکی محدود به روش‌های مستقیم که همـان کـاربرد مـدل‌هـای فیزیکـی در مقیـاس هندسی کوچک‌تر یا مواد متفاوت است نبوده و استفاده از روش‌هـای نیمـه مسـتقیم (ماننـد روش آنالوگ) و یا روش‌های غیر مستقیم (شامل مدل‌های ریاضی) از اهمیت ویژه‌ای برخـوردار اسـت. مبنای تمام این روش‌ها و تکنیک‌ها، یکسان نمـودن شـرایط و معـادلات ریاضـی توصـیف کننـده پدیده مورد نظر در مدل و نمونه اصلی است.

[1]- dispersion

در انجام مدل‌سازی برای پدیده‌های فیزیکی ابتدا روابط حاکم بر پروسه مورد مطالعه شناخته شده و سپس با تکنیک‌های آنالیز ابعادی به شکل مناسبی پارامترهای بدون بعد دسته بندی شوند. عمل شناسایی پارامترهای مهم در یک پروسه صرفاً بر مبنای اطلاعات، تجربه و تسلط محقق صورت می‌گیرد.

در این تحقیق با عنوان "بررسی تغییرات موج فشاری در جریان میرای کاهنده" به بررسی موج فشاری ناشی از جریان های میرا پرداخته می‌شود. این بررسی با کمک مدل فیزیکی و استفاده از روش مستقیم انجام گرفته است. در این تحقیق به صورت موردی از لوله‌های الاستیک و از جنس پلی‌اتیلن استفاده شده است. بیش‌ترین توجه در این تحقیق بر روی اندازه گیری حداکثر و حداقل فشارهای ناشی از ضربه قوچ و تغییرات این پارامترها در شرایط مختلف می‌باشد. در پایان و با بررسی نتایج حاصل شده از مدل فیزیکی، روابط ریاضی موجود بین پارامترهای موثر و اثر متغیرهای مختلف فرموله شده تا بتوان از آن در مسائل مختلف استفاده کرد.

۱-۲- ضرورت و اهداف تحقیق

همان‌طور که در بخش قبل هم به آن اشاره شد، پیشرفت‌های زیادی که در زمینه علوم رایانه حاصل شده و نتایج نسبتاً مناسبی در زمینه مدل سازی و پیش بینی رفتار سیال در اثر ضربه قوچ بدست آمده است. در کنار تمام این تحقیقات گسترده همچنان نقاط تاریک زیادی در این علم باقی مانده که ذهن دانشمندان رشته‌ی هیدرولیک را در نقاط مختلف دنیا به خود مشغول کرده و بهانه‌ی انجام مطالعات بیشتر و دقیق‌تر بر روی این پدیده شده است. در پدیده ضربه قوچ مسائل مختلفی نظیر تغییرات سرعت موج فشاری، اندر کنش سیال و سازه، واکنش سیال در شرایط مختلف نسبت به ضربه قوچ، اثر تغییرات هوای محلول و مسائل مربوط به کاویتاسیون، میرایی و پراکنش انرژی موج‌های فشاری، رفتار موج‌های فشاری در شبکه‌های توزیع آب، روش‌های پیش

بینی و کنترل موج‌های فشاری و بسیاری مسائل دیگر، از جمله مواردی هستند که نیازمند تحقیقات گسترده‌تر و بیشتری می‌باشند.

از آنجا که این تحقیق با نگرشی کاربردی انجام گرفته است سعی شده تا به نتایج ساده‌تر دست یافته به طوری که از آن بتوان در پیش بینی رفتار و مهار موج‌های فشاری ضربه قوچ در کارهای عملی استفاده کرد. از طرفی دیگر مزیت استفاده از مدل آزمایشگاهی اطمینان از وارد شدن تمامی پارامترهای موثر بر پدیده می‌باشد. این پارامترها ممکن است در مدل سازی عددی نادیده گرفته شوند و یا اثر آن‌ها به درستی وارد نگردد.

تمامی موارد ذکر شده در بالا ضرورت این تحقیق جهت بررسی گوشه‌ای از مسائلی است که در بحث ضربه قوچ با آن مواجه می‌باشیم. تمرکز این پایان نامه بر روی اثر شتاب جریان کاهنده بر موج‌های فشاری حاصل، بررسی اثر کاهش ناگهانی جریان در تشکیل موج‌های فشاری و تغییرات سرعت موج فشاری در لوله‌های پلی اتیلن، معطوف شده است.

۱-۳- فرضیات تحقیق

جهت انجام این تحقیق فرضیاتی در نظر گرفته شده‌اند که عبارتند از:

۱- جریان در لوله‌ها یک بعدی فرض شده است.

۲- برای داشتن یک جریان به صورت ناپایدار واقعی ترم کشسانی در لوله و سیال منظور می‌گردد. یعنی سیال را قابل تراکم در نظر گرفته و جدار لوله جریان نیز کرنش پذیر می‌باشد.

۳- فرض می‌شود که طول لوله‌ها به اندازه کافی طولانی است که باعث ایجاد جریان یکنواخت در قسمت بیشتر مدل می‌شود.

٤- جهت کاهش یا قطع جریان از شیرهای کروی استفاده شده است. با توجه به بازه‌ی زمانی کوتاه که حداکثر ۵ ثانیه می‌باشد فرض بر آن است که هنگام بسته شدن، حرکت اهرم شیر با سرعت یکنواخت انجام می‌شود.

۱-٤- نوآوری تحقیق

۱- در سال‌های اخیر استفاده از لوله‌های پلی اتیلن که بسیار انعطاف پذیر می‌باشند گسترش زیادی یافته به طوری که در بسیاری از پروژه‌های انتقال آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به این موضوع و همچنین تحقیقات آزمایشگاهی کمی که در مورد عملکرد این نوع لوله‌ها در مقابل ضربه قوچ انجام گرفته است، نوع لوله‌های استفاده شده در آزمایشات از همین جنس انتخاب شده است.

۲- در این تحقیق، ضربه‌ی قوچ ایجاد شده در اعداد رینولدز بالا مورد بررسی قرار می‌گیرد در صورتیکه محدوده اعداد رینولدز بسیاری از تحقیقات گذشته در حد جریان‌های آرام و اعداد رینولدز پایین در دامنه جریان‌های آشفته انجام گرفته است.

۳- استفاده از شیرهای دستی و اندازه‌گیری زمان بسته شدن شیر به وسیله تایمرهای دارای سنسور نوری بسیار حساس و دقیق از جمله روش های نوینی است که در تحقیقات آزمایشگاهی بسیار کمی مورد استفاده قرار گرفته است.

٤- در آزمایشات مربوط به این تحقیق از دستگاه ثبت دیتا با قابلیت ثبت حداکثر ۱۰۰۰۰ عدد در ثانیه استفاده شده است. این دستگاه توانایی ثبت هم‌زمان ۸ کانال ورودی دیتا را دارد. وسیله مورد نظر با قابلیت‌های ذکر شده با آگاهی از سرعت بسیار زیاد موج‌های فشاری، به متخصصان الکترونیک سفارش داده شده و جهت ثبت سیگنال‌های فشاری مورد استفاده قرار گرفته است.

۱-۵- ساختار پایان نامه

پایان نامه‌ی پیش رو مشتمل از ٦ فصل می‌باشد که ساختار کلی آن در این بخش ارائه می‌گردد.

- **فصل اول**

فصل اول این پایان نامه شامل مقدمه ای بر جریان های میرا، ضربه قوچ و همچنین مروری بر مسائل و چالش های پیش رو در ارتباط با پدیده ضربه قوچ می باشد. در این فصل به ضرورت و اهداف تحقیق، فرضیات و نوآوری تحقیق پرداخته شده است.

- **فصل دوم**

در فصل دوم به بیان تئوری ضربه قوچ و ارائه اثبات معادلات حاکم بر پدیده پرداخته می شود.

- **فصل سوم**

فصل سوم این پایان نامه شامل مروری بر تحقیقات گذشته می باشد، با توجه به آزمایشگاهی بودن این تحقیقات، تمرکز این بخش بر روی تحقیقات آزمایشگاهی است که تاکنون توسط پژوهشگران برجسته هیدرولیک، انجام گرفته است.

- **فصل چهارم**

فصل چهارم از پایان نامه پیش رو عنوان مواد و روش ها را گرفته است و در آن به تشریح مدل فیزیکی و اجزاء آن پرداخته خواهد شد. در بخش دوم از این فصل، سناریو انجام آزمایشات و مقادیر پارامترهای مورد بررسی، مشخص خواهد شد.

- **فصل پنجم**

در فصل پنجم نتایج حاصل از انجام آزمایشات به تفکیک سناریو انجام آن آورده خواهد شد و در سناریو اول و دوم به استخراج رابطه بین پارامتر های مورد بررسی پرداخته می شود.

- **فصل ششم**

در فصل آخر خلاصه ای از نتایج آزمایشات و پیشنهاداتی جهت تحقیقات بیشتر ارائه می گردد.

فصل دوم

تئوری ضربه قوچ

۲-۱- مقدمه

ضربه قوچ پدیده‌ای است که می‌توان اثرات آن را در سیستم‌های تحت فشار به موج‌های الکتریکی و مکانیکی تشبیه نمود و از اینرو گاهی اوقات از این واقعه به عنوان یک پدیده زودگذر یا میرا[1] نام می‌برند. این حالت یا وضعیت یک نوع آشفتگی موقتی است که در بین دو حالت یا دو وضعیت پایدار جریان اتفاق می‌افتد. در واقع مکانیزم ضربه قوچ، حساسیت یک سیستم انتقال سیال را در مقابل هر نوع تغییر وضعیت دبی، سرعت و فشار جریان نشان می‌دهد و چون پدیده ضربه قوچ یک حالت زودگذر و موقتی است، لذا پس از آن که این موج مستهلک گردید، دوباره به حالت پایدار و دائمی دیگری که متفاوت از حالت پایدار اولیه است می‌رسد.

به بیان دیگر، ضربه قوچ که در نتیجه تغییرات دبی یا سرعت رخ می‌دهد، مقدار معینی فشار ایجاد می‌کند که به صورت موج با سرعت ثابت در خط لوله جریان، به طرف بالادست یا پایین‌دست، حرکت می‌نماید. این موج در مسیر حرکت خود به تدریج مستهلک می‌گردد و پس از مدتی که از رفت و برگشت موج بپری گشت، این سیستم ناپایدار یا زودگذر به حالت پایدار دیگری می‌رسد که قابل پیش‌بینی می‌باشد. (انتشار انرژی حاصل از وقوع ضربه قوچ شبیه امواج صوتی است که در فیزیک از آن به عنوان موجی که موجب تغییر شکل کشسانی[2] محیط می‌گردد، نام برده شده است. در واقع جریان‌های تحت فشار حاوی مومنتمی است که از حاصل‌ضرب سرعت در جرم سیال بدست می‌آید. حال با کاهش یا افزایش دبی که همراه با کاهش یا افزایش سرعت می‌باشد، مومنتم سیستم جریان نیز تغییر می‌یابد. این تغییرات مومنتم به تغییرات فشار تبدیل می‌شود و به صورت موج فشار حرکت می‌کند و نام ضربه قوچ را به خود می‌گیرد.)

[1]- Transient Flow
[2]- Elastic

از خصوصیات عمده پدیده ضربه قوچ، تغییرات فشار و حرکت موج فشار است که در اندک مدتی تمام سیستم انتقال جریان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این امر فقط با موجی که با سرعت زیاد حرکت می‌کند قابل توجیه می‌باشد. باید توجه داشت که فشار ناشی از ضربه قوچ در تحت شرایط مختلف مکانی و زمانی تفاوت می‌نماید. گاهی اوقات این فشار توسط سیستم انتقال تحمل می‌گردد و در پاره‌ای از اوقات ضربه قوچ موجب تلاشی سیستم انتقال می‌گردد.

۲-۲- حرکت موج فشاری در لوله

یک تغییر ناگهانی در میزان دبی یک خط لوله، که در اثر بستن شیر یا خاموش شدن پمپ ایجاد می‌گردد، ممکن است حجم بزرگی از آب متحرک درون لوله را در بر گیرد. گاهی نیرو ناشی از تغییر سرعت توده‌ی آب، باعث افزایش فشار لوله به میزان چندین برابر فشار استاتیکی نرمال در داخل لوله می‌گردد. این پدیده به نام پدیده ضربه قوچ شناخته می‌شود. تغییر فشار اضافی ممکن است باعث شکستگی و یا ایجاد خسارت در خط لوله شود. احتمال وقوع این چنین فشاری ، اندازه و شکل موج آن و توزیع فشار، باید در هنگام طراحی اتصالات خط لوله به دقت مورد بررسی قرار گیرد. تغییر ناگهانی فشار در اثر بستن شیر، به علت افزایش نیروی لازم جهت نگه‌داشتن ستون آب جاری می‌باشد.

اگر جرم ستون مایع ،m ، و میزان تغییرات در سرعت نسبت به زمان $\frac{dV}{\mathrm{dt}}$ باشد، مطابق قانون دوم نیوتن می توان نوشت:

$$F = m\,\frac{dV}{dt}$$

و یا

$$F \cong m\frac{\Delta V}{\Delta t}$$

اگر زمان بست شیر به صفر میل کند (شیر ناگهانی و در یک لحظه بسته شود) معادله فوق به صورت زیر در می‌آید:

$$F = \frac{m(V_0 - 0)}{0} =$$

که در آن V_0 سرعت اولیه آب در لوله است. در این حالت میزان فشار غیر قابل محاسبه است. خوشبختانه یک چنین تغییر ناگهانی (بسته شدن شیر در یک لحظه) تقریبا غیر ممکن است. زیرا در شیر های مکانیکی یک زمان مشخص برای بستن کامل شیر نیاز است. به علاوه نه دیواره لوله و نه ستون آب هیچکدام تحت فشار بالا به صورت جسم صلب انعطاف ناپذیر عمل نمی کنند. به هر حال الاستیسیته جدار لوله و آب نقش مهمی را در پدیده ضربه قوچ بازی می کنند.

یک لوله به طول L ، قطر داخلی D ، ضخامت جداره e با مدول الاستیسیته E_p که آب را از یک مخزن منتقل می کند و شیری در انتهای آن قرار دارد، مانند شکل ۲-۱ متصور است. مطابق شکل (a ۲-۱) افت طولی و خط انرژی (ELG) به صورت یک خط افقی ممتد نمایش داده شده است. اگر ناگهان شیر بسته شود، آب در محل شیر ناگهان متوقف می شود که این تغییر ناگهانی در سرعت توده ی آب، باعث افزایش فشار محلی می گرددو در اثر این افزایش فشار، ستون آب در این مقطع به میزان ناچیزی فشرده و جدار لوله نیز اندکی به علت افزایش تنش در جداره ها منبسط می گردد. هر دوی این اتفاقات باعث ایجاد یک حجم کوچک اضافی درون لوله می گردد و در نتیجه آب بصورت پیوسته به آن حجم اضافی وارد، تا متوقف گردد.

این پدیده به مقاطع بالادست به سرعت منتشر می‌گردد و موج افزایش فشار ، به سمت مخزن حرکت می‌کند (شکلb ۲-۱). وقتی که موج فشار به مخزن بالادست رسید، کل لوله منبسط شده و آب درون آن در اثر فشار متراکم می‌گردد. در این حالت برای یک لحظه کل آب داخل لوله متوقف می‌گردد. بدیهی است که این حالت گذرا است و نمی‌تواند باقی بماند زیرا که ELG در لوله خیلی بالاتر از ELG در مخزن است. به محض این که موج فشار به مخزن رسید، پدیده

انتشار موج از مخزن انتهایی لوله شروع و یک موج کاهنده فشار به سمت شیر حرکت می‌کند. (شکل ۲-۱ d) در حین این مدت آب پشت جبهه موج به سمت بالادست حرکت می‌کند و لوله به طور پیوسته منقبض و آب منبسط می‌شود.

مدت زمان مورد نیاز برای برگشت موج فشار مساوی است با $\frac{2L}{C}$ که در آن C سرعت حرکت موج فشاری در طول لوله است (در قسمت سرعت انتشار در لوله با جداره نازک این فصل توضیحات بیشتر در مورد سرعت موج فشاری و نحوه محاسبه آن در خطوط لوله ارائه شده است.)

شکل (۲-۱ e) نشان می‌دهد، زمانی که موج کاهش فشار به شیر می‌رسد، آب درون لوله به سمت بالادست در حال حرکت است و در این حالت چون شیر بسته است موج نمی‌تواند عبور کند بنابراین وقتی که موج به شیر می‌رسد باید متوقف گردد. لختی این حرکت جرمی آب باعث می‌شود که فشار در شیر به زیر فشار نرمال افت کند و مرحله سوم نوسان به صورت انتشار موج فشار منفی از محل شیر به سمت مخزن شروع شود. (شکل ۲-۱ f)

در لحظه‌ای که فشار منفی به مخزن می‌رسد، آب درون لوله به طور کامل متوقف می‌شود. در این حالت ELG لوله پایین‌تر از ELG مخزن است و به خاطر این تفاوت انرژی، آب دوباره در لوله جریان می‌یابد و مرحله چهارم نوسان شروع می‌شود.در مرحله چهارم؛ موج فشار نرمال به سمت پایین دست حرکت می‌کند(شکل ۲-۱ h). در این حالت آب پشت جبهه موج نیز به سمت پایین دست حرکت می‌کند. موج مرحله چهارم پس از زمان $\frac{4L}{C}$ به شیر می رسد و فشار کل لوله به مقدار ابتدایی ELG بر می گردد.