دانشکده عمران و معماری

گروه مهندسی عمران

بررسی جریان گذرا در شبکه ها

بر اثر خا موش شدن پمپ های ترکیبی

دانشجو:

هادی طبسی

استاد راهنما:

دکتر احمد احمدی

پایان نامه جهت اخذ کارشناسی ارشد

شهریور ۹۲

دانشکده عمران و معماری

گروه مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد هادی طبسی

تحت عنوان

بررسی جریان گذرا در شبکه ها
بر اثر خا موش شدن پمپ های ترکیبی

در تاریخ ۱۳۹۲/۰۶/۲۵ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه **خوب** مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
دکتر احمد احمدی		-	
دکتر علیرضا کرامت		-	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
دکتر رامین امینی		دکتر مهدی گلی	
دکتر مهدی عجمی			

تشکر و قدردانی

سپاس خدا را که همواره بیش از آنچه از او خواسته ام عطا فرموده است همچنین از تمامی کسانی که من را در تهیه این پایان نامه یاری کردند، بدینوسیله قدردانی می نمایم.

دکتر احمد احمدی و دکتر علیرضا کرامت، به خاطر آموزشها، رهنمودها، حمایتهای پیوسته و تشویقها و دلگرمیهایشان در تمام این دوران دارم.

همچنین از پدر و مادر، خواهران و برادرانم، به خاطر حمایتهای پیوسته و بی دریغشان صمیمانه تشکر می کنم.

تعهد نامه

اینجانب هادی طبسی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته عمران- سازه هیدرولیکی دانشکده عمران و معماری دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی عددی جریان گذرا در شبکه لوله ها بر اثر خاموش شدن پمپ تحت راهنمائی دکتر احمد احمدی متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ ۱۳۹۲/۰۶/۲۵

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

هر گاه جریان از یک حالت ماندگار به حالت ماندگار دیگر تغییر شرایط دهد، جریان غیرماندگاری ما بین دو جریان ماندگار بوجود می آید که جریان ما بین را جریان میرا یا گذرا می نامند، بر این اساس ضربه قوچ نوعی جریان گذراست که در خطوط لوله ایجاد می گردد که یکی از عوامل بوجود آورنده ضربه قوچ خاموشی ناگهانی پمپ می باشد که این پدیده باعث تغییرات شدید دبی جریان و فشار سیال در سیستم لوله می گردد این پدیده نخستین بار توسط استریتر مورد بررسی قرار گرفت. در این پایان نامه به بررسی این اثر در دو سیستم سری و موازی پرداخته شده است.

برای بررسی ضربه قوچ در اثر خاموشی پمپ با دو دسته معادله ، معادلات هیدرولیکی جریان (معادله پیوستگی، معادله اندازه حرکت) و معادلات حاکم بر پمپ ها روبرو هستیم. نخست معادلات دیفرانسیل مشتقات جزئی حاکم بر ضربه قوچ در یک شبکه توزیع سیال با استفاده از روش حل عددی خطوط مشخصه (MOC) بر روی مسیرهایی که به خطوط مشخصه موسوم است به معادلات دیفرانسیل کامل تبدیل گشته و با استفاده از روش عددی تفاضل محدود حل می شوند. معادلات هیدرولیکی جریان را با استفاده از روابط تعادل هد برای کل سیستم با معادلات حاکم بر پمپ ها ترکیب می کنیم که دو دسته معادلات غیر خطی حاصل می شود که با استفاده از روش نیوتن رافسون حل می شود.

در نهایت برای ارزیابی نتایج مدل، به بررسی هد قبل و بعد از هر پمپ و تحلیل آن ها می پردازیم که این اثر در سیستم سری نسبت به سیستم موازی از نوسانات بیشتری برخوردارست چون در سیستم سری تغییرات هد با هم جمع می شوند ولی در سیستم موازی تغییرات هد در کل سیستم ثابت می باشد.

کلمات کلیدی: ضربه قوچ، روش خطوط مشخصه (MOC)، روش نیوتن رافسون، خاموشی پمپ، منحنی مشخصه پمپ ، پمپ سری، پمپ موازی

فهرست

فصل اول: ۱

۱- ۱- صورت مسأله و اهمیت آن ۱

۱- ۲- تاریخچه ۲

۱- ۲- ۱- هیدرولیک جریانهای میرا ۲

۱-۳- هدف پایان نامه ۳

۱-۴- فصل بندی پایان نامه ٤

فصل دوم : ٥

۲- ۱- مقدمه ٦

۲-۲- اثرات ناشی از ضربه قوچ ٦

۲-۳- مطالعات پیرامون ضربه قوچ ٦

فصل سوم: ۷

۳-۱-مقدمه ۸

۳-۲- تئوری کلاسیک ضربه قوچ ۸

۳-۴- مدول الاستیسیته بالک ۱۰

۳-۵- معادلات دیفرانسیلی حاکم بر جریان غیر ماندگار ۱۰

۳-۵-۱- معادله پیوستگی ۱۰

۳-۵-۲- معادله اندازه حرکت ۱٤

۳-۶- پمپ در حالت جریان غیر ماندگار ۱٥

۳-۶-۱ تعریف پمپ ۱٥

۳-۶-۲- ضربه قوچ در پمپ ها ۱٥

۳-۶-۳- توقف ناگهانی پمپ ۱٥

۳-۶-۴- فرضیات حاکم بر پمپ ها در حالت جریان غیر ماندگار ۱٦

۳-۶-۵- منحنی مشخصه پمپ در حالت غیر ماندگار ۱٦

۳-۷- منحنی دبی- هد ۱۸

۳-۷-۱- منحنی دبی-هد سیستم ۱۸

۳-۷-۲- منحنی دبی-هد پمپ ۱۹

۳-۸- معادلات حاکم بر پمپ ها در حالت جریان ماندگار ۲۰
۳-۸-۱ معادله تعادل هد ۲۰
۳-۸-۱-۱ پمپ سری ۲۰
۳-۸-۱-۲ پمپ موازی ۲۱
۳-۹- معادلات حاکم بر پمپ ها در حالت جریان غیر ماندگار ۲۱
۳-۹-۱- معادلات گشتاور پمپ..... ۲۱
۳-۹-۱-۱- معادله تغییرات سرعت دورانی پمپ..... ۲۱
فصل چهارم ۲۳
۴-۱- حل معادلات حاکم بر ضربه قوچ با استفاده از روش مشخصه..... ۲۴
۴-۲- حل عددی معادلات تقریبی ضربه قوچ با روش MOC ۲۵
۴-۳- روش حل : ۲۶
۴-۴- استفاده از روش مشخصه در گره پمپ..... ۳۳
۴-۴-۱- پمپ سری ۳۳
۴-۴-۲- پمپ موازی ۳۴
۴-۵- معادله تعادل هد حالت جریان غیر ماندگار ۳۴
۴-۵-۱- پمپ سری ۳۴
۴-۶- روش عددی نیوتن رافسون..... ۳۵
۴-۶-۱-جریان ماندگار ۳۵
۴-۶-۱-۱- پمپ سری..... ۳۵
۴-۴-۱-۲- پمپ موازی..... ۳۶
۴-۶-۲- جریان غیر ماندگار ۳۶
۴-۶-۲-۱- پمپ سری..... ۳۶
۴-۶-۲-۲- پمپ موازی..... ۳۸
فصل پنجم ۴۰
۵-۱- مقدمه ۴۱
۵-۲- تشریح الگوریتم حل معادلات حاکم با استفاده از نرم افزار مت لب ۴۱
۵-۲-۱- گام های متشکله الگوریتم ۴۱
۵-۳- مدل پمپ سری ۴۲
۵-۳-۱- حالت جریان ماندگار..... ۴۲

۵-۳-۲- حالت جریان غیر ماندگار ٤٣
۵-۴- مدل پمپ موازی ٤٦
۵-۴-۱- حالت جریان ماندگار ٤٧
۵-۴-۲- حالت جریان غیر ماندگار ٤٧
فصل ششم ٥٠
۶-۱- خلاصه ٥١
۶-۲- نتیجه گیری ٥١
۶-۳- پیشنهادات ٥٢

فهرست جداول

جدول(٥-١) مشخصات سیستم پمپاژ پمپ سری..... ٤٢
جدول ٥-٢ مشخصات سیستم پمپاژ پمپ موازی ٤٦

فهرست اشکال

شکل (۱-۱) : پدیده چکش آبی در لوله ها ۱

شکل (۳-۱) حجم کنترل متحرک ۸

شکل (۳-۳) منحنیهای پمپ در تمام حالتهای ممکن در یک پمپ با $Ns = ۱۲۷۰\ \text{rpm}$ به وضعیت عملکرد پمپ در ناحیه های توربینی،استهلاک،نرمال و معکوس نیز توجه شود. ۱۸

شکل(۳-۴) منحنی دبی-هد سیستم ۱۹

شکل (۳-۵) منحنی دبی- هد پمپ ۲۰

شکل(۳-۶) نمایش پمپ سری ۲۰

شکل(۳-۷) نمایش پمپ موازی ۲۱

شکل (۴-۱) خطوط مشخصه در صفحه $\boldsymbol{x-t}$ ۲۸

شکل(۴-۲) وضعیت خطوط مشخصه برای گره ۳۲

شکل (۴-۳) نمایش پمپ سری ۳۳

شکل(۴-۴) نمایش پمپ موازی ۳٤

شکل(۵-۱) شماتیک سیستم پمپاژ پمپ سری ٤۲

شکل (۵-۲) حالت دایمی تراز هیدرولیکی جریان در حالت سری ٤۲

شکل (۵-۳) نسبت پارامترهای بدون بعد پمپ و جریان به زمان ٤۳

شکل (۵-۴) هد بلافاصله قبل پمپ اول ٤٤

شکل (۵-۵) هد بلافاصله بعد پمپ اول ٤٤

شکل (۵-۶) هد بلافاصله قبل پمپ دوم ٤٥

شکل (۵-۷) هد بلافاصله بعد پمپ دوم ٤٥

شکل(۵-۸) شماتیک سیستم پمپاژ پمپ موازی ٤٦

شکل (۵-۹) حالت دایمی تراز هیدرولیکی جریان در حالت موازی ٤۷

شکل (۵-۱۰) نسبت پارامترهای بدون بعد پمپ به زمان ٤۷

شکل (۵-۱۱) نسبت پارامترهای بدون بعد جریان نسبت به زمان ٤۸

شکل (۵-۱۲) هد قبل از پمپ ٤۸

شکل (۵-۱۳) هد بعد از پمپ ٤۹

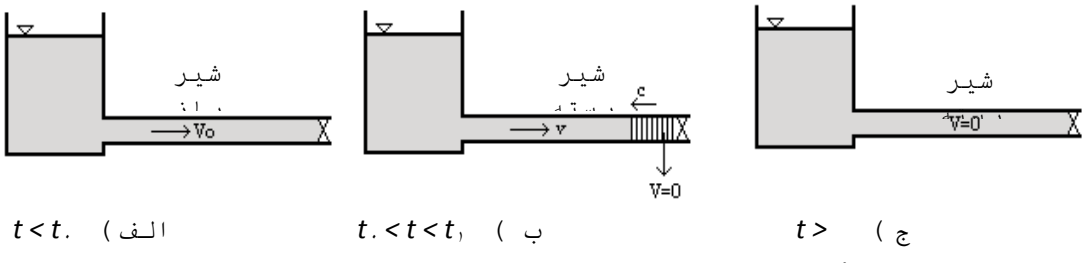
فصل اول

مقدمه

۱- ۱- صورت مسأله و اهمیت آن

جریان غیرماندگار جریانی است که خصوصیات آن (دبی ، فشار و ...) در هر نقطه با زمان تغییر کند . زمانیکه جریان از یک حالت ماندگار به حالت ماندگار دیگری تغییر شرایط می دهد ، جریان غیر ماندگار مابین را جریان میرا (گذرا)[۱] می نامند . ضربه قوچ یا چکش آبی[۲] نوعی جریان میرا است که در خطوط لوله ، بطور عمده می تواند در اثر بسته شدن شیر ها یا توقف ناگهانی پمپ ایجاد شود .

مسأله زیر می تواند درک این پدیده را ساده تر کند . شکل (۱-۱) را در نظر بگیرید. فرض می شود که شیر پایین دست خط لوله در زمان $t = t_0$ کاملاً باز و آب با سرعت V_0 در حال حرکت باشد . در این لحظه شیر بطور ناگهانی بسته می شود ، در نتیجه بسته شدن شیر ، سرعت جریانی که از شیر عبور می کند ، بطور ناگهانی به صفر می رسد و بر اثر تبدیل انرژی جنبشی به انرژی فشاری ، فشار در پشت شیر افزایش می یابد . این افزایش فشار باعث می شود که یک موج فشاری به سمت بالا دست شروع به حرکت کند . موج فشاری در محل مخزن منعکس خواهد شد و مابین شیر و مخزن به حرکت رفت و برگشتی خود ادامه خواهد داد . ولی به علت تلفات ناشی از اصطکاک ، این موج در حین حرکت مستهلک می گردد و بالاخره در زمان $t = t_1$ فشار در تمامی خط لوله مساوی با ارتفاع نظیر فشار مخزن خواهد شد و جریان کاملاً متوقف می شود . بنابراین زمانیکه $t > t_0$ و $t > t_1$ باشد ، مشخصات جریان نسبت به زمان ثابت است و جریان ماندگار محسوب می گردد . ولی وقتی که $t_0 < t < t_1$ باشد شرایط در حال تغییر از وضعیت اولیه به وضعیت نهایی است و جریان میرا خواهد بود .



شکل (۱-۱) : پدیده چکش آبی در لوله ها

تغییرات فشار در یک سیستم خط لوله باعث ایجاد ضرباتی شدید به پره های پمپ و خرابی آن ها و از کار افتادن سیستم پمپاژ می شود.

برای انتقال سیال بین دو نقطه با اختلاف ارتفاع از پمپ که باعث افزایش انرژی جنبشی سیال شده استفاده می شود. که خاموشی ناگهانی پمپ باعث ایجاد ضربه قوچ در سیستم می شود که این پدیده باعث نوسانات

[۱] - Transient state flow
[۲]- Water hammer

شدید فشاری در خط لوله شده که ضربات شدیدی به پره هاو پوسته پمپ وارد می کند به همین دلیل اثرات این پدیده مورد توجه می باشد.

لذا در این تحقیق بر آن شدیم که به بررسی این پدیده و معادلات حاکم بر آن بپردازیم که با دو دسته معادله مواج ایم معادلات هیدرولیکی جریان و معادلات پمپ که موضوع بحث به حل عددی این معادلات معطوف می باشد.

روش حل به کار برده شده در این پایان نامه روش عددی خطوط مشخصه می باشد نخست معادلات دیفرانسیل مشتقات جزئی حاکم بر ضربه قوچ در یک شبکه توزیع سیال با استفاده از روش حل عددی خطوط مشخصه بر روی مسیرهایی که به خطوط مشخصه موسوم است به معادلات دیفرانسیل کامل تبدیل گشته و با استفاده از روش عددی تفاضل محدود حل می شوند. معادلات هیدرولیکی جریان را با استفاده از روابط تعادل هد برای کل سیستم با معادلات حاکم بر پمپ ها ترکیب می کنیم که دو دسته معادلات غیر خطی حاصل می شود که با استفاده از روش نیوتن رافسون حل می شود.

۱- ۲- تاریخچه

۱- ۲- ۱- هیدرولیک جریانهای میرا

مطالعهٔ هیدرولیک جریانهای میـرا از قـرن ۱۷ میلادی با تحقیق در بارهٔ نحـوهٔ انتشارامـواج صوتی در هوا و انتشار امواج در آبهای کم عمق شروع شد . نیوتن[۱] ولاگرانژ[۲] نخستین کسانی بودنـد کـه در این زمینـه به مطالعـه پـرداختنـد . مونـژ[۳] در سال ۱۷۸۹ روشی ترسیمی بـرای انتگرال گیری از معادلات دیفرانسیـل جزئی ارائه کرد و آنرا روش مشخصه (MOC) نامید . هلم هولتز[۴] اولین کسی بود که دریافت ، سرعت امواج فشاری در آب داخل لوله کمتر از سرعت موج در آبهای آزاد است . او این اختـلاف را ناشی ازکشسان بودن جـدار لوله دانست . وبر[۵] [۴] جریان سیال غیر قابل تراکم را در لوله های کشسان مورد مطالعه قرار داد و آزمایشاتی جهت تعیین سرعت امواج فشاری انجام داد . همچنین او معادلات پیوستگی و اندازه حرکت که اساس مطالعات جریانهای غیرماندگار هستند را ارائه نمود . ماری[۶] [۱۰] نیز آزمایشات متعددی جهت تعیین سرعت موج فشاری انجام داد و دریافت که اولاً سرعت موج مستقل از دامنهٔ امواج فشاری است و ثانیاً سرعت موج با ضریب الاستیسیته جدار لوله متناسب است . کورت وگ[۷] [۸] نخستین کسی بود که سرعت موج را با

---

۱ - Newton
۲ - Lagrange
۳ - Monge
۴ - Helmholtz
۵ - Weber
۶ - Marey
۷ - Korteweg

توجه به کشسان بودن جدار لوله و کشسانی سیال بدست آورد . گرومیکا[۶] [۱] برای اولین بار افتهای اصطکاکی را به هنگام تحلیل ضربه قوچ مد نظر قرار داد . او فرض کرد که سیال غیر قابل تراکم است و افتهای اصطکاکی با سرعت رابطه مستقیم دارند . در سال ۱۸۹۷ ژوکوفسکی[۷] [۲] بر اساس مطالعات نظری و آزمایشگاهی که انجام داد ، گزارشی درمورد تئوری اساسی ضربه قوچ منتشر نمود . او رابطه ای جهت سرعت انتشارموج فشاری بدست آورد که در آن کشسان بودن سیال و جدار لوله در نظر گرفته شده بود . آلیوی[۳] [۱] در سال ۱۹۰۲ تئوری عمومی ضربه قوچ خود را منتشر کرد . معادله اندازه حرکتی که او بدست آورد از

آنچه کورت وگ بدست آورده بود ، دقت بیشتری داشت . وود[۴] [۱۵] روشی ترسیمی ـ تحلیلی جهت تحلیل جریان ضربه قوچ ارائه داد . لووی[۵] [۹] هم در سال ۱۹۲۸ روش ترسیمی مشابهی ارائه نمود و مسألهٔ تشدید حاصل از عملکرد تناوبی شیرها و همچنین کاهش فشار ناشی از باز شدن آهسته شیرها را مورد بررسی قرار داد . وی در تحلیل خود تلفات اصطکاکی را با اضافه کردن جملهٔ مربوط به اصطکاک در معادلات دیفرانسیل جزئی در نظر گرفت .

کیبلکا و فرانک[۶] [۳] و استریتر [۱۱] از این روش در تحلیل کامپیوتری سیستم های لوله کشی پیچیده بهـره گرفتند . گری[۵] روش مشخصه را در تحلیل کامپیوتری ضربه قوچ بکار برد . لای و استریتر [۱۲] در مقاله ای مشترک ، برای نخستین بار روش مشخصه را در تحلیل جریان میرا ، با استفاده از کامپیوتر تعمیم دادند . بعدها استریتر مقالات متعددی درباره روش مشخصه ارائه نمود. همچنین کتابی [۱۶] در مورد جریانهای میـرای هیدرولیکی منتشر کرد.

۱-۳- هدف پایان نامه

هدف ما در این پایان نامه بررسی اثر ضربه قوچ در اثر خاموشی پمپ در یک شبکه توزیع سیال می باشد. ارائه مدل ریاضی و حل عددی مساله ضربه قوچ ناشی از خاموشی پمپ در یک سیستم مخزن- لوله- پمپ که به صورت یک مساله غیر خطی و با روش عددی خطوط مشخصه می باشد هدف این پایان نامه می باشد. در این مدل با ترکیبی از پمپ ها به صورت سری و موازی پرداخته و مدل های ریاضی را برای آن ها تشریح و حل عددی این روش را بررسی می کنیم.

---

۱ - Gromeka
۲ - Joukowsky
۳ - Allievi
۴ - Wood
۵ - Lowy
۶ - Cablece & France

۱-۴- فصل بندی پایان نامه

دراین پایان نامه، پس از بیان کلیاتی در مورد اهمیت بررسی و مدلسازی ضربه قوچ ، در فصل دوم به بیان تاریخچه مدلسازی این پدیده و کارهای انجام شده توسط محققین پیشین پرداخته می شود.

در فصل سوم به معادلات حاکم بر هیدرولیک جریان و معادلات حاکم بر پمپ ها و نکات مربوط به معادلات دیفرانسیلی هیدرولیکی و معادلات پمپ ها بیان شده اند.

در فصل چهارم به حل عددی معادلات هیدرولیکی به روش خطوط مشخصه و تلفیق این روابط با معادلات پمپ ها و در انتها به حل عددی نیوتن رافسون پرداخته شده است.

در فصل پنجم برنامه کامپیوتری تهیه شده معرفی شده است و روند کار با برنامه و ساختار آن توضیح داده شده است. در پایان این فصل مثالهایی و نتایج حل آن ها با برنامه کامپیوتری مذکور، ارایه شده است.

در فصل ششم برخی نتایج از کار روی این موضوع ارایه شده و پیشنهاداتی برای ادامه کار عنوان شده است.

فصل دوم

مطالعات پیشین

۲- ۱- مقدمه

ضربه قوچ یا همان چکش آبی در خطوط لوله جریان تحت فشار در اثر تغییرات در شرایط مرزی اتفاق می افتد و بر قوانین فشار،تغییرات دبی و شرایط مکانی و زمانی حرکت سیال استوار است. از جمله شرایط مرزی حاکم می توان خاموشی یا روش شدن ناگهانی پمپ، بستن شیر و غیره اشاره کرد. این پدیده باعث تبدیل سرعت جریان به فشار و ایجاد موج های فشاری رفت و برگشتی با سیکل سینوسی می شود که خسارات جبران ناپذیری به سیستم تحت فشار وارد می کند.

۲-۲- اثرات ناشی از ضربه قوچ

تغییرات فشار در یک سیستم خط لوله باعث ایجاد جابجایی های دینامیکی در سازه لوله می شود. این جابجایی ها در جهت طولی[۱] و جانبی هستند. این لرزه های سازه ای می توانند باعث ایجاد نیروهای قابل ملاحظه ای در تکیه گاه ها شوند.

ضربه قوچ همچنین می تواند باعث ایجاد فشارهای زیاد و یا کم در لوله شود. فشارهای اضافی می توانند خسارت هایی به پمپ ها، شیرها و دیگر متعلقات خطوط وارد کنند و باعث شکستگی خطوط لوله شوند. فشار کم باعث آزادسازی هوای محلول سیال می شود که اگر این فشار به فشار بخار سیال برسد به تبخیر شدید سیال منجر می شود. فشار کم داخل لوله می تواند به خرابی لوله بیانجامد.

۲-۳- مطالعات پیرامون ضربه قوچ

استریتر[۲] [۱۱] و چادری[۳] [۴] مدل های عددی توربو ماشین ها را در حالت های مختلف چیدمان پمپ بررسی کرده اند. تورلی[۴] [۱۳] در مورد ایمنی و راه اندازی توربو ماشین ها و مدل های عددی حاکم بر آن ها پرداخته است. برگانت[۵][۲] به بررسی ضربه قوچ ناشی از خاموشی پمپ و ایجاد جدایی ستون مایع پرداخته است. برگانت رفتار هیدرولیکی پمپ ها را طی ضربه قوچ بررسی کرده است

[۱] - Longitudinal displacement
[۲] - Streeter
[۳] - Chaudhry
[۴] - Thorely
[۵] - Bergant

فصل سوم

بررسی معادلات هیدرولیکی و معادلات پمپ حاکم بر جریان

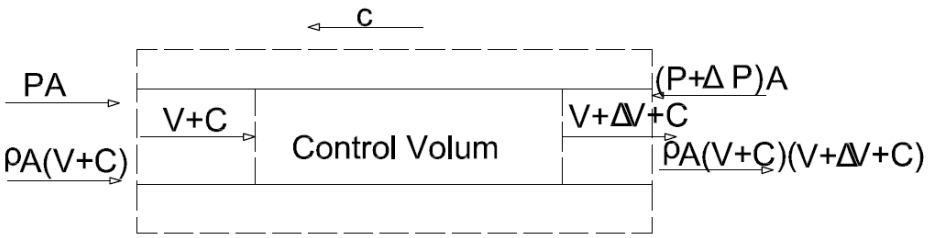
۳-۱-مقدمه

در این فصل ابتدا به تشریح معادلات هیدرولیکی حاکم بر ضربه قوچ بر حسب متغیرهای دبی و هد فشاری مورد بررسی قرار می گیرد. سپس به تشریح معادلات حاکم بر پمپ در حالت ماندگار و غیر ماندگار پرداخته می شود.

۳-۲- تئوری کلاسیک ضربه قوچ

فرضیات مورد استفاده : ۱)سیال در خط لوله، بصورت یک بعدی فرض می شود و توزیع سرعت در هر مقطع بصورت یکنواخت و با یک سرعت میانگین فرض می شود. ۲) افتهای اصطکاکی در حالت جریان غیرماندگار ، برابر با افتهای اصطکاکی در جریان ماندگار در نظر گرفته می شود. ۳) لوله پر فرض می شود و در خلال جریان غیر ماندگار پر باقی می ماند. ۴)در جریان غیرماندگار ، جدایی ستون آب رخ نمی دهد و فشار سیال همواره بزرگتر از فشار بخار سیال باقی می ماند. ۵)گازهای آزاد درون سیال آنقدر کوچک اند که سرعت موج را می توان بصورت ثابت در نظر گرفت. ۶) جدار لوله و سیال به صورت الاستیک ، خطی فرض می شوند.

۳-۳- محاسبه سرعت انتشار موج فشاری



شکل (۳-۱) حجم کنترل متحرک

$$P.\mathrm{A} - (\mathrm{P}. + \Delta\mathrm{P})\mathrm{A} = \rho\mathrm{A}(\mathrm{V}. + \mathrm{C})[(\mathrm{V}. + \Delta\mathrm{V} + \mathrm{C}) - (\mathrm{V}. + \mathrm{C})] \rightarrow$$

$$\Delta\mathrm{P} = -\rho(\mathrm{V}. + \mathrm{C})\Delta\mathrm{V} \qquad (۱-۳)$$

$$C \geq V., \ \ \Delta P = -\rho C \Delta V \qquad (۲-۳)$$

$$P = \rho g H \qquad (۳-۳)$$

$$\Delta H = -\frac{C}{g}\Delta V \qquad (۴-۳)$$