بسم الله الرحمن الرحيم

٢٠١٩م

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تاریخ ۱۳۸۱/۴/۲۶

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی عمران

تحلیل پدیده ضربه قوچ به روش اجزاء محدود

پایان نامه کارشناسی ارشد عمران آب

آسیه ملاباشی

۴۱۰۱۹

اساتید راهنما:

دکتر کیوان اصغری

دکتر محمد رضا چمنی

شهریور ۸۰

۴۱۰۱۹

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد گرایش مهندسی آب - خانم آسیه ملاباشی

تحت عنوان :

تحلیل پدیدهٔ ضربهٔ قوچی به روش اجزاء محدود

در تاریخ ۸۰/۶/۲۸ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهائی قرار گرفت.

۱ - استاد راهنما — دکتر کیوان اصغری .....

۲ - استاد راهنما — دکتر محمدرضا چمنی .....

۳ - ممتحن مدعو (از دانشکدهٔ مکانیک) — دکتر احمد پیشه‌ور .....

۴ - استاد مشاور (از دانشکدهٔ مکانیک) — دکتر ابراهیم شیرانی .....

۵ - عضو کمیته دفاع — دکتر محمدکریم بیرامی .....

۶ - سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده — دکتر محمود قضاوی .....

با تشکر از :

اساتید گرامی جناب آقایان دکتر کیوان اصغری، دکتر محمد رضا چمنی و دکتر ابراهیم شیرانی که در گرفتن و پیشبرد این پایان نامه مرا یاری کردند.

همسرم جناب آقای مهندس مهدی فاضل کلباسی که در به انجام رساندن این پایان نامه نهایت تلاش و همکاری را نمودند.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات ، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به :

روان پاک پدرم که شوق دانشم به پاس آمال او

مقام مقدس مادرم که هستی و پویشم از او

وجود خوب همسرم که امید و کوششم بسته به او

خواهر و برادرم که مشوقان همیشگی راهند.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... شش

چکیده ۱

فصل اول : مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- ضربه قوچ ۳

۱-۳- معادله کلی ضربه قوچ ۳

۱-٤- نظریه های بررسی ضربه قوچ ٦

۱-٤-۱- نظریه رفتار صلب ستون آب ٦

۱-٤-۲- نظریه رفتار الاستیک ٦

۱-٥- روشهای حل ضربه قوچ ۹

فصل دوم : پیشینه علمی

۲-۱- مقدمه ۱۱

۲-۲- تئوری ضربه قوچ ۱۱

۲-۳- تحلیل ضربه قوچ ۱٤

۲-۳-۱- حل تحلیلی تقریبی ۱٤

۲-۳-۲- روشهای عددی ۱٦

۲-٤- تلفیق روش مشخصه ها و اجزاء محدود ۱۹

۲-٤-۱- خطوط مشخصه صریح ۲۰

۲-٤-۲- خطوط مشخصه ضمنی ۲۱

۲-٤-۳- معادلات نهایی ۲۲

۲-٤-٤- نتایج روش تلفیقی مشخصه ها و اجزاء محدود ۲۳

فصل سوم : فرمولبندی به روش اجزاء محدود

۳-۱- مقدمه ۲۶
۳-۲- مفاهیم اولیه ۲۶
۳-۳- فرمولبندی معادلات ضربه قوچ با استفاده از روش اجزاء محدود ۲۷
۳-۳-۱- گسسته سازی دامنه مسئله ۲۷
۳-۳-۲- انتخاب جوابهای آزمایشی ۲۸
۳-۳-۳- قرار دادن جوابهای آزمایشی در معادلات حاکم ۲۹
۳-۳-٤- حداقل نمودن مقادیر باقیمانده ۳۰
۳-۳-۵- تقریب مشتقات زمانی با روش تفاضل محدود ۳۲
۳-۳-٦- بدست آوردن ماتریس و بردار هر المان ۳۳
۳-۳-۷- معادلات حاکم در هر گره ۳٦
۳-۳-۸- جمع نمودن معادلات المانها ۳۸
۳-۳-۹- شرایط اولیه و مرزی ۳۸
۳-۳-۱۰- حل دستگاه معادلات بدست آمده ۳۹
۳-٤- اجرای برنامه ٤۲
۳-۵- روش پتروف گالرکین ٤۲
۳-۵-۱- فرمولبندی به روش پتروف گالرکین ٤۳
۳-٦- شرایط مرزی مختلف ٤۷
۳-٦-۱- شرایط مرزی در مسئله ضربه قوچ ٤۷
۳-٦-۲- اعمال شرایط مرزی ٤۸

فصل چهارم : کاربرد مدل و بررسی نتایج

٤-۱- مقدمه ۵۳
٤-۲- مدل یک- روش گالرکین استاندارد ۵۳
٤-۲-۱- مدل نمونه ۵٤
٤-۲-۲- تحلیل مدل انتخابی با روش گالرکین استاندارد ۵٤
٤-۲-۳- بستن ناگهانی شیر ۵٤
٤-۲-٤- بستن تدریجی شیر ۵٦
٤-۲-۵- تأثیر تعداد المانها در روش گالرکین استاندارد ۵۸

٤-٢-٦- تأثیر مقدار گام زمانی در روش گالرکین استاندارد ٥٩
٤-٢-٧- تأثیر پارامتر θ در روش گالرکین استاندارد ٦٢
٤-٢-٨- مقایسه روش گالرکین استاندارد با روش مشخصه ها ٦٤
٤-٣- مدل دو- روش پتروف گالرکین ٦٦
٤-٣-١- بستن ناگهانی شیر ٦٦
٤-٣-٢- بستن تدریجی شیر ٦٧
٤-٣-٣- مقایسه روش پتروف گالرکین با روش گالرکین استاندارد ٦٨
٤-٣-٤- تأثیر تعداد المانها در روش پتروف گالرکین ٦٩
٤-٣-٥- تأثیر مقدار گام زمانی در روش پتروف گالرکین ٧٠
٤-٣-٦- تأثیر پارامتر ε در روش پتروف گالرکین ٧١
٤-٣-٧- مقایسه روش پتروف گالرکین با روش مشخصه ها ٧٣
٤-٣-٨- مقایسه روش پتروف گالرکین با روش اختلال ٧٣
٤-٣-٩- مقایسه روش پتروف گالرکین با روش تلفیقی مشخصه ها و اجزاء محدود ٧٤
٤-٤- مدل سه- لوله های سری ٧٥
٤-٤-١- مدل نمونه ٧٥
٤-٤-٢- بستن ناگهانی شیر ٧٦
٤-٤-٣- بستن تدریجی شیر ٧٧
٤-٤-٤- مقایسه روش پتروف گالرکین با روش مشخصه ها در لوله های سری ٧٧
٤-٥- مدل چهار- شیر واقعی و مخزن پائین دست ٧٨
٤-٥-١- مدل نمونه ٧٨
٤-٥-٢- هد فشار در شیر ٧٩
٤-٥-٣- مقایسه روش پتروف گالرکین با روش مشخصه ها در لوله های سری با مخزن و شیر واقعی در پائین دست ٧٩

فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات

٥-١- مقدمه ٨١
٥-٢- نتیجه گیری ٨١
٥-٣- پیشنهادات ٨٢

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

مراجع ۸٤

چکیده انگلیسی ۸٦

چکیده

امروزه روش اجزاء محدود برای تحلیل سیستم های مختلف از قبیل سازه، سیالات و... بطور گسترده ای بکار برده میشود. این پایان نامه به بررسی و ارزیابی این روش در تحلیل پدیده ضربه قوچ می پردازد. دو روش گالرکین استاندارد و پتروف گالرکین، برای مدل کردن این پدیده در یک سیستم ساده مخزن بالادست در ابتدای لوله و شیر در انتهای لوله، بکار برده شده اند. در روش گالرکین از توابع شکلی و وزنی خطی استفاده شده است. در روش پتروف گالرکین به توابع وزنی جملاتی اضافه می شود که نوعی ویسکوزیته مصنوعی به معادلات اعمال می کند. هنگامی که شیر تدریجاً بسته می شود، روش گالرکین استاندارد به خوبی این پدیده را مدل می کند. اما هنگامی که شیر بطور ناگهانی بسته شود، جوابهای بدست آمده از این روش، بلافاصله پس از بسته شدن شیر، حول جواب واقعی نوسان می کند. همچنین، برای رسیدن به مقدار نهایی خود چند گام زمانی را طی می کند. روش پتروف گالرکین، بخوبی هر دو حالت را مدل می کند. در روش گالرکین استاندارد افزایش تعداد المانها باعث می شود که نوسانات در مدت زمان کمتری رخ دهد و هد فشار زودتر به مقدار نهایی خود برسد، اما هرگز این نوسانات از بین نمی روند. در روش پتروف گالرکین افزایش تعداد المانها باعث بهبود جوابها خواهد شد. در هر دو روش فوق، با کاهش گام زمانی جوابها بهبود می یابند. همچنین نشان داده می شود که تأثیر افزایش تعداد المانها قابل توجه تر از تأثیر کاهش گام زمانی است. در ادامه، استفاده از روش پتروف گالرکین برای سیستم لوله های سری و همچنین شرایط مرزی مخزن پائین دست و شیر واقعی قبل از آن، بررسی می شود که نتایج مطلوبی بدست می آیند. در همه موارد، جوابهای بدست آمده با نتایج حاصل از روش مشخصه ها مطابقت دارند.

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱-مقدمه

آب از دیرباز با زندگی بشر آمیخته بوده است، چنانچه حیات بدون آن میسر نبوده و بشر همواره در تلاش بوده تا از این ماده حیاتی در بهبود و توسعه زندگی روزمره خویش بهره گیرد و اولین تمدنها نیز در کنار منابع آب شکل گرفته است. در ابتدا، تلاش بشر به مهار و کنترل منابع آبی معطوف بود، ولی با گذشت زمان و توسعه تمدنها فکر انتقال آب به نقاط دوردست در ذهن بشر بوجود آمد و روز به روز گسترده تر شد. امروزه به دلیل افزایش جمعیت، توسعه شهرها، گسترش فعالیت های کشاورزی و صنعتی مسئله انتقال آب به عنوان یکی از مهمترین مسائل مورد توجه قرار گرفته است، به گونه ای که اکنون مهندسی آب در میان علوم از جایگاه ویژه ای بر خوردار است.

انتقال آب در گذشته به روشهای سنتی مثل ایجاد قنات و کانال های آبیاری صورت می گرفت، اما امروزه روشهای مختلفی برای انتقال آب وجود دارد که در میان آنها مجاری تحت فشار به علت آنکه مقدار آب بیشتری را در زمان کوتاهتر منتقل می کنند، از اهمیت خاصی برخوردار هستند. طراحی و بهره برداری از این گونه سیستم ها همواره با مسائل خاص خود همراه است. یکی از مهمترین این مسائل تحلیل و بررسی

جریانهای ناماندگار می باشد. جریانهای ناماندگار در لوله ها به شکل های گوناگونی نمود مـی یـابد. همـانطور که در زیر اشاره شده است، *ضربه قوچ*[1] یک پدیده در جریان ناماندگار است.

۱-۲-ضربه قوچ

هرگاه مشخصات جریان نظیر سرعت، دبی، فشار و ... نسبت به زمان تغییر کند به آن جریان نامـاندگار گفته می شود. چنین جریانی میتواند هم در مجاری روباز و هم در مجاری بسته رخ دهد. ضربه قـوچ پدیـده ای است که در اغلب جریانهای ناماندگار رخ می دهد و آن هنگامی است که تغییرات سرعت و یا هر عـاملی کـه موجب تغییرات سرعت جریان می شود، ناگهانی باشد. در مجاری بسته و تحت فشار تغییرات دبـی یـا سـرعت باعث تغییر در اندازه حرکت جریان می شود و در نتیجه فشار سیستم را تغییر می دهد که این تغییر بـه صـورت موج فشاری حرکت کرده و باعث عدم ثبات سیستم انتقال جریان می شـود. ایـن موجـهای فشـاری بـا سـرعت زیاد در سیستم انتقال انعکاس می یابد تا زمانی که موجهای فشاری مستهلک گشـته و از بیـن برونـد. بـه همیـن دلیل به آن جریان ناماندگار میرا[2] گفته می شود. فشار ایجاد شـده در اکـثر مواقـع مـی توانـد خطراتـی از قبیـل لرزش، خلاءزایی[3]، صدا، فرسایش و در نهایت خرابی سیستم را به بار آورد. از این لحاظ، شناخت ایـن پدیـده و برخورد صحیح با آن بسیار اهمیت دارد.

۱-۳-معادله کلی ضربه قوچ

برای بدست آوردن معادله کلی ضربه قوچ، فرضیات زیر انجام می گیرد:

۱- جریان یک بعدی و در جهت محور لوله است.

۲- توزیع سرعت در سطح مقطع جریان یکنواخت است.

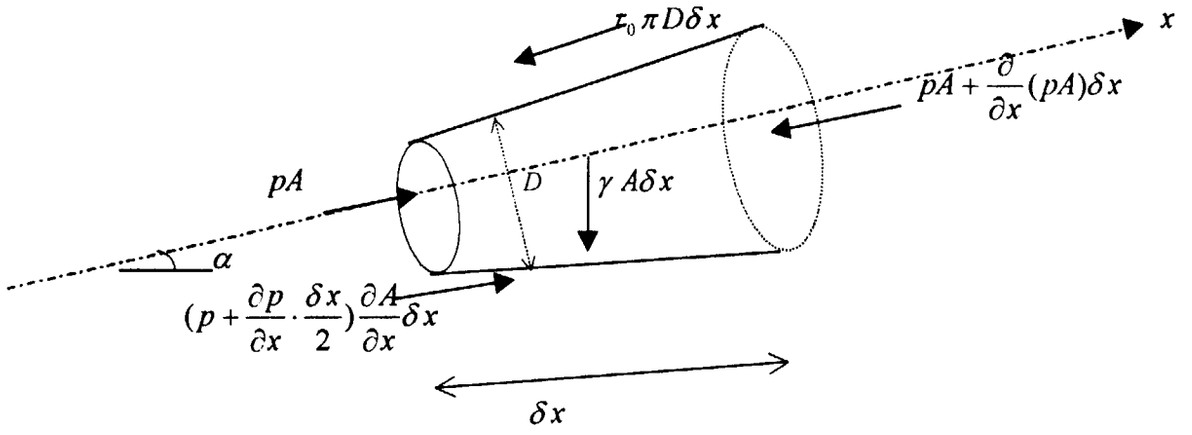
۳- معادلات افت هد جریان ماندگار، برای جریان ناماندگار معتبر می باشد.

٤- فشار سیستم همواره از فشار بخار سیال بیشتر است.

یک المان از طول لوله را در نظر میگیریم. مطابق شـکل ۱-۱ نیروهـای وارد بـر ایـن المـان در جـهت x (محور لوله) عبارتند از:

۱-Water Hammer ۲- Transient

۳-Cavitation



شکل ۱-۱ : نیروهای وارد بر یک المان لوله به طول δx

۱- نیروی ناشی از تنش برشی = $\tau_0 \pi D \delta x$

۲- نیروی فشار روی سطح جانبی لوله = $(p + \frac{\partial p}{\partial x} \cdot \frac{\delta x}{2}) \frac{\partial A}{\partial x} \delta x$

۳- نیروی فشار در قسمت ورودی المان = pA

٤- نیروی فشار در قسمت خروجی المان = $pA + \frac{\partial (pA)}{\partial x} \delta x$

٥- نیروی وزن سیال داخل المان = $\gamma A \delta x (\sin \alpha)$

که در آن τ_0 تنش برشی وارد بر جدار لوله، D قطر داخلی لوله، p فشار، A سطح مقطع لوله، x بعد مکان، t بعد زمان و γ وزن مخصوص سیال درون لوله است.

اگر این المان در حالت تعادل باشد، برآیند نیروهای وارد بر این المان برابربا تغییرات جرم داخل المان است.

$$pA - [pA + \frac{\partial}{\partial x}(pA)\delta x] + (p + \frac{\partial p}{\partial x} \cdot \frac{\delta x}{2}) \frac{\partial A}{\partial x} \delta x - \tau_0 \pi D \delta x - \gamma A \delta x (\sin \alpha) = \rho A \delta x \frac{dv}{dt} \quad (۱-۱)$$

پس از ساده کردن رابطه فوق خواهیم داشت:

$$-\frac{\partial P}{\partial x}A\delta x-\frac{\partial A}{\partial x}P\delta x+P\frac{\partial A}{\partial x}\delta x+\frac{\partial P}{\partial x}\cdot\frac{\partial A}{\partial x}\cdot\frac{(\delta x)^2}{2}-\tau_0\pi D\,\delta x-\gamma A\,\delta x(\sin\alpha)=\rho A\,\delta x\frac{dv}{dt}$$

(۲-۱)

در رابطه (۱-۲) به علت آنکه $(\delta x)^2$ بسیار کوچک است، از جمله چهارم صرفنظر می شود. پس از ساده کردن δx از دو طرف رابطه (۱-۲)، خواهیم داشت:

$$-\frac{\partial P}{\partial x}A-\tau_0\pi D-\rho g A\ (\sin\alpha)=\rho A\ \frac{dv}{dt}$$

(۳-۱)

که در آن ρ جرم مخصوص سیال است.

از طرف دیگر، طبق رابطه دارسی_ ویسباخ، تغییرات فشار در لوله طبق رابطه زیر بدست می آید:

$$\Delta p=\rho f\frac{L}{D}\cdot\frac{v^2}{2}$$

(٤-۱)

که در آن f ضریب اصطکاک لوله، v سرعت متوسط جریان و L طول لوله می باشند.

بر روی یک المان انتخاب شده از لوله، نیروی ناشی از تنش ایجاد شده توسط تغییرات فشار باید با نیروی ناشی از تنش برشی برابر باشند:

$$\Delta p\frac{\pi D^2}{4}=\tau_0\pi DL$$

(۵-۱)

با جایگزینی رابطه (۱-٤) در رابطه (۱-۵) خواهیم داشت:

$$\tau_0=\frac{\rho f v|v|}{8}$$

(٦-۱)

از طرف دیگر میدانیم که مشتق کامل نسبت به زمان طبق رابطه زیر بیان میشود:

$$\frac{d}{dt}=v\frac{\partial}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial t}$$

(۷-۱)

با قرار دادن روابط (۱-٦) و (۱-۷) در رابطه (۱-۳) رابطه نهایی بدست می آید:

$$\frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{f v|v|}{2D}+g\sin\alpha+v\frac{\partial v}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial t}=0$$

(۸-۱)

معادله فوق که به نام معادله اولر[1] معروف است برای سیال غیر قابل تراکم و هم برای سیال تراکم پذیر استفاده می شود. معادله فوق در محاسبات مربوط به ضربه قوچ به کار می رود.

1-Euler