

Study of closing time pattern and type of valve on water hammer phenomenon in water conveyance line

Hadis Ghanbary¹, Jafar Mamizadeh², Majid Valizadeh³

1.Department, Faculty of Engineering, Ilam University, Ilam, Iran. E-mail: hadisghanbary71@gmail.com.

2.Corresponding Author, Civil Engineering Dept., Faculty of Engineering, Ilam University, Ilam, Iran. E-mail: j.mamizadeh@ilam.ac.ir.

3.Department, Faculty of Engineering, Ilam University, Ilam, Iran. E-mail: m.valizadeh@ilam.ac.ir.

Article Info

ABSTRACT

Article type:

Research Article

Article history:**Received**

2024-03-08

Received in revised form

2024-04-24

Accepted

2024-06-17

Available online

2024-06-27

Keywords:

AFT Impulse,
Hammer,
Method of characteristics,
Water Hammer

Water hammer is a phenomenal that occurs due to suddenly pump stop and closure of valve in transmission pipelines and urban water distribution network. This phenomenon is important in transmission pipelines project and ignore this phenomenon can cause a lot of damage to project implements. Several software based on numerical methods have been developed for water hammer analysis. In this research using AFT Impulse software, Hammer software and written program by characteristics method, closing time pattern and type of valve on water hammer in three sample problem is studied. The results of all three numerical models were consistent and estimate maximum pressure head with a maximum of one percent of difference. In the third sample problem that the valve closure was exponential, hammer software estimate pressure head with 12 percent lower than AFT Impulse. In other part of research, the effect of valve closure pattern on the water hammer have been investigated and the results showed that the valves were closed linearly are the most suitable valve for use in places where this phenomenon occurs.

Cite this article: Ghanbary, H., Mamizadeh, J., Valizadeh, M. (2024). Study of closing time pattern and type of valve on water hammer phenomenon in water conveyance line. *Advanced Modeling in Civil Engineering* 1(1), 122-132. DOI: 10.22126/amcen.2024.3291



© The Author(s).

DOI: 10.22126/amcen.2024.3291

Publisher: Razi University

Introduction

Water is the most essential substance for the survival of all living beings. Access to water and methods of water transfer have undergone significant changes over time. In the past, water transfer methods were limited to digging canals, wells, and qanats. However, today, due to limited water resources and the increasing population, new methods of water transfer have been developed, one of which is pressurized water transfer. Flow in pressurized water transfer systems is typically steady, meaning that flow characteristics such as discharge and velocity do not change over time. In unsteady flow, however, these characteristics vary with time. One example of unsteady flow is the phenomenon of water hammer, which occurs when a pump suddenly stops or a valve is abruptly closed in a pipeline. These sudden changes create a pressure wave that propagates through the pipeline at high speed over a short period. If the system lacks the necessary protective measures, the entire system may be at risk of destruction. Numerous studies have been conducted on water hammer. For example, the pumping station and water transfer line from the Kouhrang River to the Marvarid Spring were modeled in the Hammer software by Soleimani in 2015. Using value engineering, the construction and operation time, costs, and the extent of water hammer and related issues were examined. The results showed that the application of value engineering could lead to the elimination of surge tanks, reduce the risks associated with water hammer, and save 20-30% in time and costs for the procurement of various project components. Dutta (2020) investigated the effects and performance of water hammer in a pumping system using an experimental model. This pumping system, consisting of three valves, three pumps, and three pressure sensors, was used to study water hammer under three conditions: the sudden closure of one valve, the sudden closure of two valves, and the sudden closure of all three valves. The system's speed and pressure were measured at different discharges, and then the problems arising from water hammer were predicted using a linear regression algorithm. In this study, several water hammer scenarios were examined using the Hammer and AFT Impulse models, as well as a program written using the method of characteristics. The results were compared. The reason for selecting these scenarios is their similarity to conditions in real water projects, so by applying changes in valve closure time and type, the impact of these changes can be observed in the projects. Additionally, another part of the study presents the effect of valve type and closure method on the height of the pressure wave generated by water hammer, and based on the results of this section, the best valve can be recommended.

Method

For simulating water hammer in water transfer lines, software such as AFT Impulse and Hammer has been used. These software programs allow users to analyze water transfer systems in both steady and unsteady conditions. Additionally, users can enhance and upgrade their modeling by utilizing GIS and CAD data within these programs. The equations for water hammer are a combination of momentum and continuity equations as follows:

$$\frac{dv}{dt} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dp}{dx} + g \frac{dz}{dx} + \frac{f}{2D} v|v| = 0 \quad (1)$$

$$a^2 \frac{dv}{dx} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dp}{dt} = 0 \quad (2)$$

These equations are solved numerically in the software to simulate the transient behavior of the water hammer phenomenon. In this study, the capabilities of the numerical models Hammer and AFT Impulse, as well as a program written based on the method of characteristics in Excel, were evaluated using three sample water hammer problems.

Results

The magnitude and timing of the maximum and minimum pressure wave heights in all three solution methods have a good consistency with each other. Generally, all three methods estimated the maximum and minimum pressure wave heights with a difference of less than 0.5%. The AFT Impulse software and the characteristic lines method predicted the magnitude and timing of the maximum and minimum pressure waves very closely. Additionally, the Hammer model estimated the maximum pressure wave height with a 1% and 0.94% error compared to AFT Impulse and the characteristic lines method, respectively. Overall, it can be said that these two software programs, AFT Impulse and Hammer, have a high capability for estimating the magnitude of water hammer. In the third sample problem: the valve closure in this case is an exponential function of time, closing within 1.2 seconds. The characteristic lines method with the AFT Impulse model indicates a difference of less than 0.5% and has good consistency. However, the results from Hammer differ from the other two methods by 11.8%, with the difference in results from the Hammer numerical model compared to the other two methods also related to the manner of valve closure.

Conclusions

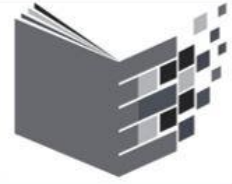
In this study, several sample water hammer problems were investigated using two numerical models, AFT Impulse and Hammer, as well as the characteristic lines method, and the capabilities and abilities of these models were evaluated. In each sample problem, there was a valve at the end of the downstream pipe that closed within a time interval according to the valve closure equation. The impact of different types of valves on the water hammer phenomenon was studied, and the results showed that valves with a linear closure equation are the most suitable for reducing the undesirable effects of water hammer because they produce less maximum pressure compared to other valves. Their minimum pressures are also acceptable and do not cause negative pressure in the pipeline. After the linear valve, the plug valve is the second most suitable for improving maximum and minimum pressures at water hammer locations. In contrast, the equal percent 5% and quick opening valves are the least suitable due to producing unacceptable maximum and minimum pressures, especially in locations where negative pressures occur. The results of this study indicate the appropriate performance of the numerical models Hammer and AFT Impulse in simulating water hammer.

Author Contributions

All authors participated in writing and revising the article.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.



بررسی الگوی زمانی بسته شدن و نوع شیر بر پدیده ضربه قوچ در خطوط انتقال آب

حدیث قنبری^۱، جعفر مامی زاده^۲، مجید ولی زاده^۳

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: hadisghanbary71@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: j.mamizadeh@ilam.ac.ir

۳. گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: m.valizadeh@ilam.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

ضربه قوچ پدیده‌ای است که در خطوط انتقال آب به دلیل توقف ناگهانی پمپ، بسته شدن ناگهانی شیرها یا مسدود شدن ناگهانی خط انتقال در اثر زلزله، خرابی و غیره اتفاق می‌افتد. برای تحلیل ضربه قوچ نرم افزارهای متعددی بر پایه روش‌های مختلف عددی ارائه شده است. در این تحقیق از نرم افزارهای AFT Hammer Impulse و برنامه نوشته شده به روش خطوط مشخصه برای بررسی الگوی زمانی بسته شدن و نوع شیر بر پدیده ضربه قوچ در سه مسئله نمونه استفاده شده است. نتایج هر سه مدل عددی در حالت بسته شدن ناگهانی و بسته شدن به صورت خطی همخوانی بسیار بالایی با هم داشته و تنها با اختلاف حداکثر یک درصد ارتفاع موج فشاری ماکزیمم را برآورد کرده‌اند. در مسئله نمونه سوم که معادله بسته شدن شیر به صورت نمایی بود، نرم افزار Hammer ارتفاع موج فشاری را به اندازه ۱۲ درصد کمتر از AFT Impulse برآورد نمود. در بخش دیگر تحقیق نیز تاثیر نحوه بسته شدن شیرها روی پدیده ضربه قوچ بررسی شد که نتایج نشان داد شیرهایی که به صورت خطی بسته می‌شوند، مناسب‌ترین شیرها برای استفاده در محل‌های وقوع این پدیده هستند.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۱۲/۱۸

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۳/۰۲/۰۵

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۳/۲۸

تاریخ انتشار:

۱۴۰۲/۰۴/۰۷

کلیدواژه‌ها:

خطوط مشخصه،

جریان‌های میرا،

Hammer

AFT Impulse

استناد: قنبری، حدیث؛ مامی زاده، جعفر؛ ولی زاده، مجید. (۱۴۰۳). بررسی الگوی زمانی بسته شدن و نوع شیر بر پدیده ضربه قوچ در خطوط انتقال آب. *مجله مدلسازی پیشرفته در مهندسی عمران*، ۱(۱)، ۱۳۲-۱۲۲.

DOI: 10.22126/amcen.2024.3291

© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی.



۱. مقدمه

موج تغییر یافته و مدل آشفته بالدوین - لوماکس حل شده و نتایج نشان داد که روش خطوط مشخصه در حالت یک‌بعدی کاملاً بر حل دقیق منطبق است. همچنین در حالت دوبعدی با لحاظ کردن عبارات اصطکاک آشفته تطابق بسیار خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد [۹].

اسدی و اسماعیلی ۲۰۱۸ به منظور تحلیل ضربه قوچ در یک خط لوله، از روش آزمایشگاهی و شبیه‌سازی در نرم‌افزار Hammer استفاده کردند. بدین منظور از شش نوع لوله با جنس‌های مختلف استفاده شد که در اثر بسته شدن سریع شیر تحت نوسانات موج فشاری ضربه قوچ قرار گرفتند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که هرچه مدت زمان بسته شدن شیر طولانی‌تر باشد، اثر ضربه قوچ کمتر بوده و موج‌های حاصل از آن میرا تر هستند. همچنین با افزایش قطر لوله که منجر به افزایش دبی و به دنبال آن افزایش سرعت در خط لوله می‌شود، اثر ضربه قوچ نیز شدیدتر است به علاوه تاثیر افزایش سرعت سیال نسبت به قطر بیشتر است [۱].

در تحقیقی که توسط کیانی و همکاران ۲۰۱۸ انجام شد، به تحلیل مدل‌سازی عددی جریان گذرا در شبکه‌های آبرسانی ویسکوالاستیک با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی و مدل عددی توسعه یافته پرداخته شد. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل کلاسیک ضربه قوچ به هیچ عنوان قادر به شبیه‌سازی نوسانات فشار در لوله‌های پلیمری نبوده و مدل‌سازی دو اثر دینامیکی افت غیرماندگار و ویسکوالاستیک برای لوله‌ها ضروریست. همچنین تحقیقات حاکی از آن بود که اثرات ویسکوالاستیک لوله نقش مهمتری نسبت به افت غیرماندگار در نوسانات ضربه قوچ دارد [۶].

در پژوهشی جمال^۱ و همکاران ۲۰۱۹ بهینه‌سازی مخازن ضربه‌گیر و محفظه‌ی هوا در سامانه‌های انتقال آب را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش برای شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی سامانه در شرایط غیرماندگار از روش خطوط مشخصه و برای بهینه‌یابی تعداد، ابعاد و موقعیت مخازن ضربه‌گیر و محفظه‌های هوا از الگوریتم ژنتیک استفاده شد. همچنین برای بررسی عملکرد نرم-افزار در شبیه‌سازی و بهینه‌سازی این تجهیزات از یک سامانه انتقال آب موجود در تحقیقات لاروک استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل از کارایی مناسبی برخوردار بوده و هزینه‌های ساخت تجهیزات حفاظتی را نیز ۱۷ درصد کاهش داد [۵].

آب مهم‌ترین ماده حیاتی موجود در طبیعت برای بقای تمام موجودات زنده است. دسترسی و شیوه انتقال آب از گذشته تاکنون تغییرات زیادی داشته است به طوری که در گذشته شیوه‌های انتقال آب محدود به حفر کانال‌ها، چاه‌ها و قنات‌ها می‌شد اما امروزه به دلیل محدودیت منابع آب و افزایش روزافزون جمعیت با گسترش علم شیوه‌های جدیدتری برای انتقال آب فراهم شده است که انتقال آب به روش تحت فشار یکی از این روش‌هاست. جریان در سیستم‌های انتقال آب تحت فشار معمولاً به صورت ماندگار است به این صورت که مشخصات جریان مثل دبی، سرعت نسبت به زمان تغییر نمی‌کند. در جریان غیرماندگار مشخصات جریان نسبت به زمان متغیر است. یکی از حالت‌های جریان‌های غیرماندگار پدیده ضربه قوچ است که مثال بارز ضربه قوچ از کار افتادن ناگهانی پمپ و یا بستن آبی شیر در خط لوله است که این تغییرات ناگهانی موجب ایجاد یک موج فشاری در خط لوله می‌شود که طی مدت زمان کوتاهی با سرعت زیادی در خط لوله منتشر می‌شود و در صورت عدم تمهیدات حفاظتی لازم در سیستم، کل سیستم را در معرض نابودی قرار می‌دهد. بررسی‌های زیادی در زمینه‌ی ضربه قوچ انجام شده است. به طور مثال ایستگاه پمپاژ و خط انتقال آب از رودخانه کوه‌رنگ به چشمه مروارید در نرم‌افزار Hammer توسط سلیمانی ۲۰۱۵ مدل‌سازی شد. با استفاده از مهندسی ارزش به بررسی زمان ساخت و اجرا، هزینه و میزان ضربه قوچ و مسائل مربوط به آن پرداخته شد. نتایج نشان داد که اعمال مهندسی ارزش می‌تواند موجب حذف مخازن ضربه‌گیر و کاهش خطرات ناشی از پدیده ضربه قوچ می‌گردد و همچنین این مسئله باعث صرفه‌جویی ۲۰ الی ۳۰ درصدی در زمان و هزینه‌های تهیه اجزای مختلف طرح می‌شود [۱۳].

در تحقیقی تابش و همکاران به بررسی پارامترهای موثر در شکست لوله‌های انتقال آب پرداختند. آن‌ها در بررسی خود به این نتیجه رسیدند که افزایش نرخ شکست با افزایش سن، طول و فشار لوله در ارتباط بوده و همچنین نسبتی معکوس بین کاهش نرخ شکست با افزایش قطر است [۱۴].

معادلات جریان غیرماندگار لزج در لوله‌های کشسان در حالت یک‌بعدی و دوبعدی توسط مهدی زاده ۲۰۱۸ مدل‌سازی گردید. معادلات ضربه قوچ یک‌بعدی و دوبعدی با استفاده از شار

^۱ Jamal

داتا^۶ ۲۰۲۰ در پژوهشی با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی اثرات و عملکرد ضربه قوچ در یک سیستم پمپاژ بررسی نمود. در این سیستم پمپاژ که شامل سه شیر، سه پمپ و سه سنسور فشار است ضربه قوچ در سه حالت بسته شدن ناگهانی یک شیر، بسته شدن ناگهانی دو شیر و بسته شدن ناگهانی سه شیر با هم بررسی شد. سرعت و فشار سیستم در دبی‌های مختلف اندازه‌گیری شد و سپس با استفاده از الگوریتم رگرسیون خطی مشکلات ناشی از ضربه قوچ پیش‌بینی گردید [۴].

در این تحقیق چندین مسئله نمونه ضربه قوچ با مدل‌های Hammer و AFT Impulse و با برنامه نوشته شده به روش خطوط مشخصه بررسی شده و نتایج آن‌ها با هم مقایسه شده است. علت انتخاب این مسائل، مشابه بودن آن‌ها با شرایط موجود در پروژه-های واقعی در زمینه آب است بنابراین با اعمال تغییرات در زمان بسته شدن شیر و نوع شیر می‌توان تاثیر این تغییرات را در پروژه‌ها دید. همچنین در بخش دیگری از تحقیق، تاثیر نوع شیرها و نحوه بسته شدن آن‌ها در میزان ارتفاع موج فشاری ایجاد شده ناشی از ضربه قوچ ارائه شده است و می‌توان با استفاده از نتایج این بخش بهترین شیر را برای کاربرد در اماکن مستعد وقوع آن پیشنهاد داد.

۲. مواد و روش‌ها

برای شبیه‌سازی ضربه قوچ در خطوط انتقال آب از نرم‌افزارهای AFT Impulse و Hammer استفاده شده است. در این نرم‌افزارها می‌توان سیستم انتقال آب را در دو حالت ماندگار و غیرماندگار مورد بررسی قرار داد. همچنین کاربران می‌توانند برای بهبود و ارتقا مدل‌سازی از اطلاعات و داده‌های GIS و CAD در این نرم-افزارها بهره ببرند. معادلات ضربه قوچ ترکیبی از معادلات مومنتم و معادله پیوستگی به صورت زیر هستند [۳].

$$\frac{dv}{dt} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dp}{dx} + g \frac{dz}{dx} + \frac{f}{2D} v|v| = 0 \quad (1)$$

$$a^2 \frac{dv}{dx} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dp}{dt} = 0 \quad (2)$$

پدیده ضربه قوچ در طول یک لوله بر اثر بسته شدن شیر توسط پاتل^۲ ۲۰۱۸ مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که زمان باز و بسته شدن شیر روی حداکثر فشار ناشی از ضربه قوچ تاثیرگذار است و حداکثر فشار، زمانی اتفاق می‌افتد که شیر به صورت آنی بسته می‌شود. همچنین مشخص شد که نتایج روش خطوط مشخصه در همه‌ی حالت‌های زمانی بسته شدن شیر با نتایج تجربی تحقیق مطابقت دارد [۱۱].

تحلیل ضربه قوچ در لوله‌های پلیمری انعطاف‌پذیر توسط برتگلیا^۳ ۲۰۱۸ انجام شد. برای نزدیکی نتایج تجزیه و تحلیل به شرایط در سیستم‌های واقعی، اثرات رفتار ویسکوالاستیک دیواره لوله و اثرات عدم ثبات جریان بر افت اصطکاک، حفره‌گذاری و تغییرات مقطعی نیز مدل شد. نتایج نشان داد که میرایی موج ضربه قوچ به دلیل خاصیت ارتجاعی و ویسکوالاستیک جداره لوله و مربوط به اصطکاک ناپایدار در لوله‌هاست [۲].

اثر فشارهای ناشی از پدیده ضربه قوچ روی لوله‌های دارای ترک و شکاف با استفاده از روش خطوط مشخصه توسط ماگور^۴ ۲۰۱۸ بررسی شد. این مطالعه روی دو ترک نیمه بیضوی که یکی روی سطح داخلی لوله و دیگری روی سطح خارجی لوله در طول خط لوله قرار دارند انجام شد و نتایج برای چهار نوع سیال عبوری از لوله بررسی و مقایسه شد. نتایج در هر چهار نوع سیال نشان داد هنگامی که ترک در سطح داخلی لوله قرار دارد اثرات مخرب ضربه قوچ بیشتر و احتمال شکستگی لوله نیز زیاد است [۱۰].

یوس و اومر^۵ با استفاده از دو جنس لوله فولاد ضدزنگ و لوله شکل پذیر به بررسی اثر نحوه بسته شدن شیر روی میزان فشارهای ناشی از پدیده ضربه قوچ پرداختند. در این تحقیق شیر به سه شکل زمانی ناگهانی، خطی و گام به گام بسته شد و نتایج حاکی از آن بود که حداکثر و حداقل فشار ناشی از ضربه قوچ به ترتیب در حالت بسته شدن ناگهانی و بسته شدن گام به گام زمانی شیر اتفاق می‌افتد. همچنین جنس لوله نیز در میزان حداکثر فشار ناشی از ضربه قوچ سهم بسزایی دارد به طوری که در حالت بسته شدن ناگهانی، حداکثر فشار ضربه قوچ در لوله فلزی ۲۲۳/۹۳ متر بود در صورتی که میزان حداکثر فشار در لوله شکل‌پذیر ۱۸۰/۰۳ متر بود [۱۶].

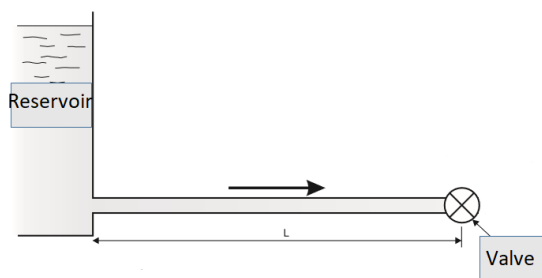
⁵ Yuse & Omer

⁶ Dutta

² Patel

³ Bertaglia

⁴ Mighouar



شکل ۱. جریان غیرماندگار در مسائل نمونه [۳]

مسئله سوم [۱۵]، نیز شکلی مشابه دو مثال قبل دارد با این تفاوت که در پایین دست لوله یک شیر با معادله بسته شدن $\tau = (1 - \frac{t}{2.1})^{1.5}$ طی زمان ۲/۱ ثانیه بسته می شود. مکان بررسی مشخصات جریان ناپایدار در هر سه مثال پایین دست لوله (همان محل قرارگیری شیر) و وسط لوله است. در جدول (۱) اطلاعات کامل مربوط به مثال های نمونه آورده شده است.

جدول ۱. جریان غیرماندگار در مسائل نمونه

پارامتر	مسئله اول	مسئله دوم	مسئله سوم
دبی (مترمکعب بر ثانیه)	0.222	1	0.477
ارتفاع (متر)	609	60	150
f	0.02	0.02	0.018
قطر لوله (متر)	0.6	0.9	0.5
طول لوله (متر)	2438	1000	600
سرعت موج (متر بر ثانیه)	1219	1000	1200
زمان (متر بر ثانیه)	0	5	2.1

۳. نتایج و بحث

بررسی ضربه قوچ در مسئله نمونه اول: در شکل (۲) تغییرات زمانی ارتفاع موج فشاری در انتهای لوله با سه روش مذکور نشان داده شده که با هم تطابق خوبی دارند. باتوجه به جدول (۲) نیز مشخص است که میزان و زمان مقدار حداکثر و حداقل ارتفاع موج فشاری در هر سه روش حل با هم همخوانی مناسبی دارند. به طور کلی هر سه روش مقدار حداکثر و حداقل ارتفاع موج فشاری را با اختلاف کمتر از ۰/۵ درصد برآورد کرده اند.

در روابط فوق، v : سرعت، P : فشار آب، f : ضریب دارسی ویسباخ، D : قطر لوله، ρ : چگالی آب، g : شتاب ثقل، a : سرعت انتشار موج است. نرم افزارهای فوق، این معادلات را با گسسته سازی به روش تفاضل محدود و براساس روش خطوط مشخصه حل می کنند. در نتیجه مجهولات مسئله یعنی فشار و سرعت جریان در هر نقطه، محاسبه می شوند.

a سرعت انتشار موج در معادله (۲) از رابطه ژوکوفسکی و به صورت زیر محاسبه می شود:

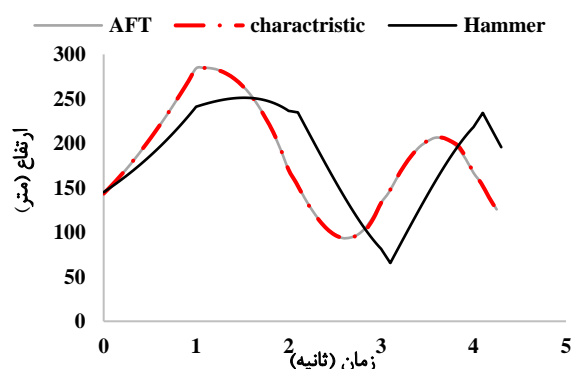
$$a = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{K \cdot D}{E \cdot e} (1 - \mu)^2}} \quad (3)$$

در رابطه (۳)، a : سرعت انتشار موج فشاری (m/s)، D : قطر لوله (mm)، K : مدول بالک سیال (N/m²)، μ : ضریب پواسون لوله، E : مدول الاستیسیته لوله (N/m²)، e : ضخامت لوله (mm). بنابراین چنانچه موج فشاری با سرعت a شروع به حرکت نماید در مدت زمان $T=4L/a$ یک سیکل کامل را طی خواهد نمود که در آن (L) طول لوله برحسب متر می باشد. پس از اتمام سیکل لوله، این پدیده همچنان ادامه می یابد تا برائر اصطکاک و آزاد شدن انرژی به صورت گرما، ضربه قوچ مستهلک گردد.

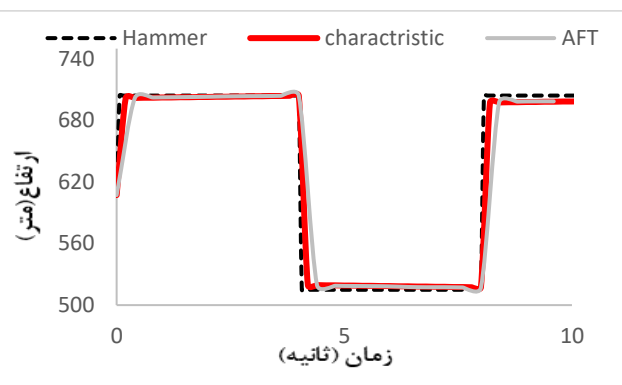
در این تحقیق توانایی مدل های عددی Hammer و AFT Impulse و برنامه نوشته شده بر اساس روش خطوط مشخصه در Excel با استفاده از سه مسئله نمونه ضربه قوچ ارزیابی شده است. شکل کلی مسائل موردنظر در شکل (۱) آمده که شامل یک مخزن روباز بوده و توسط یک لوله به شیر تخلیه پایین دست متصل است. در مسئله اول [۸]، لوله انتقال آب افقی با طول ۲۴۳۸ متر، دبی ۰/۲۲۲ مترمکعب در ثانیه را از مخزنی منتقل می کند و شیر در انتهای پایین دست لوله وجود دارد که به طور ناگهانی و در آن واحد بسته می شود. در مسئله دوم [۷]، در انتهای پایین دست لوله، شیر کنترل جریان در مدت پنج ثانیه مطابق معادله $\tau = -0.2t + 1$ که در آن τ درصد بازشدگی و t زمان بر حسب ثانیه است، به طور کامل بسته می شود.

پیش‌بینی کرده‌اند. همچنین مدل Hammer به ترتیب با اختلاف یک درصد و ۰/۹۴ درصد خطا میزان حداکثر ارتفاع موج فشاری را نسبت به AFT Impulse و روش خطوط مشخصه برآورد کرده است. به طور کلی می‌توان گفت که این دو نرم‌افزار AFT Impulse و Hammer از قابلیت بالایی برای تخمین میزان ضربه قوچ برخوردار هستند.

بررسی ضربه قوچ در مسئله نمونه سوم: بسته شدن شیر در این حالت به صورت تابع نمایی از زمان است که در طی زمان ۲/۱ ثانیه بسته می‌شود. در شکل (۴) نتایج حاصل از روش خطوط مشخصه با مدل AFT Impulse نشان دهنده اختلافی کمتر از ۰/۰۵ درصد بوده و با هم همخوانی خوبی دارند. اما نتایج Hammer با دو روش دیگر ۱۱/۸ درصد تفاوت دارد که علت تفاوت نتایج مدل عددی Hammer با دو روش دیگر نیز مربوط به نحوه بسته شدن شیر است. در این نرم‌افزار معادله بسته شدن شیر تخلیه به اتمسفر (تنها شیر قابل استفاده برای این مسئله) نامشخص بود و در راهنمای این نرم‌افزار نیز ذکر نشده بود. در نرم‌افزار Hammer تنها زمان بسته شدن شیر به عنوان داده ورودی استفاده می‌شود. اما در نرم‌افزار AFT Impulse می‌توان معادله بسته شدن شیر را به صورت چند نقطه در فواصل زمانی مشخص وارد نمود. به همین دلیل برای مشخص شدن معادله بسته شدن این شیر از نرم‌افزار AFT Impulse استفاده شد بدین صورت که معادله بسته شدن تمامی شیرهای موجود در این نرم‌افزار استخراج شده و سپس با مقایسه نتایج حاصله از این کار با نتایجی که از مدل عددی Hammer منتج شده بود، مشخص شد که این شیر تنها به صورت خطی بسته می‌شود و علت تفاوت نتایج این مثال نیز مربوط به نحوه بسته شدن شیر است.



شکل ۴. تغییرات زمانی ارتفاع موج فشاری در انتهای لوله به سه روش خطوط مشخصه، Hammer و AFT Impulse



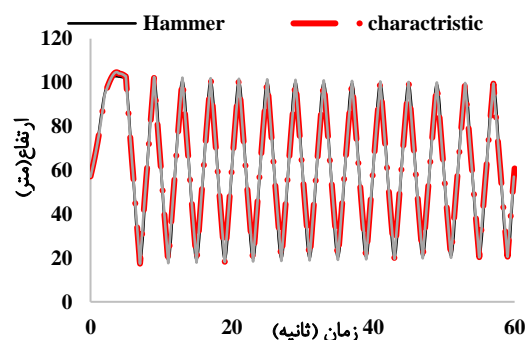
شکل ۲. تغییرات زمانی ارتفاع موج فشاری در انتهای لوله به سه روش خطوط مشخصه، Hammer و AFT Impulse

جدول ۲. میزان و زمان مقدار حداکثر و حداقل ارتفاع موج فشاری در هر سه روش حل در مسئله اول

روش	زمان رسیدن به حداکثر (ثانیه)	ارتفاع حداکثر (متر)	زمان رسیدن به حداقل (ثانیه)	ارتفاع حداقل (متر)
Characteristic	0.38	404.06	4.2	519.52
Hammer	0.07	704.26	4.07	514.94
AFT Impulse	0.5	704.25	4.4	519.58

بررسی ضربه قوچ در مسئله نمونه دوم:

در این مسئله نیز مدل‌سازی مشابه مسئله اول انجام شد. شکل (۳) نتایج تغییرات زمانی ارتفاع موج فشاری را در انتهای لوله به هر سه روش نشان می‌دهد. همان‌طور که از داده‌های شکل مشخص است هر سه روش حل با دقت بالایی تغییرات زمانی ارتفاع موج فشاری را شبیه‌سازی نموده‌اند.



شکل ۳. تغییرات زمانی ارتفاع موج فشاری در انتهای لوله به سه روش خطوط مشخصه، Hammer و AFT Impulse

نرم‌افزار AFT Impulse و روش خطوط مشخصه، میزان و زمان وقوع حداکثر و حداقل موج فشاری را بسیار نزدیک هم

تاثیر نوع شیر بر پدیده ضربه قوچ:

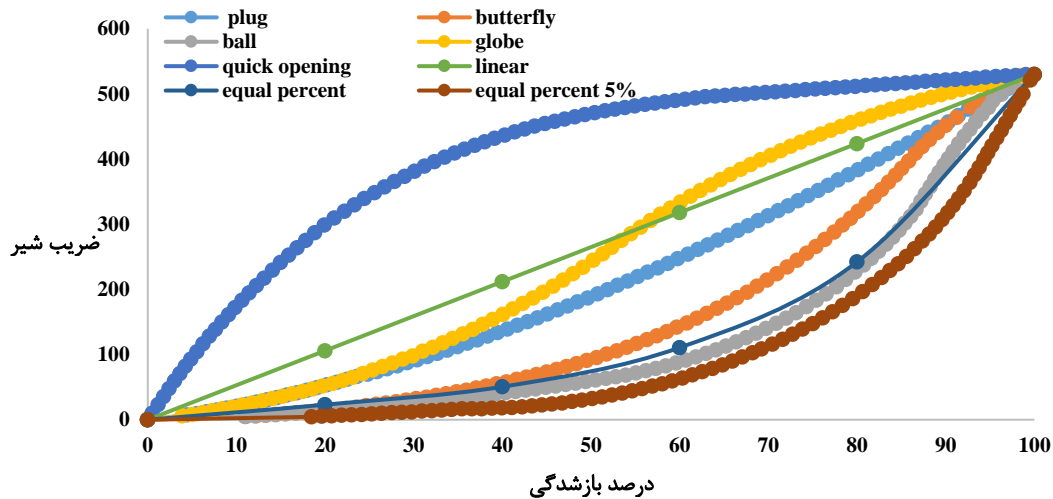
در این بخش از تحقیق به بررسی و نحوه عملکرد انواع مختلف شیرهایی را که می‌توان در انتهای پایین دست قرار داد پرداخته می‌شود. در نرم افزار Hammer فقط یک نوع شیر قابل جانمایی به نام شیر تخلیه به اتمسفر وجود دارد. معادله بسته شدن این شیر نیز مشخص نیست. بنابراین این نرم افزار قادر به مدل سازی انواع شیرها نیست. اما در نرم افزار AFT Impulse می‌توان انواع شیرها را تعریف نمود. شیرهای مختلفی از قبیل پروانه‌ای، Plug، Globe، Linear، Equal Percent وجود دارد که در آنها ضریب تغییرات شیر در مقابل درصد بازشدگی آنها با هم متفاوت است (شکل ۵). با توجه به معادله بسته شدن شیر در زمان ۲/۱ ثانیه می‌توان رابطه ارائه شده در شکل (۵) را به صورت شکل (۶) در آورد که در آن

تغییرات زمانی ضریب شیر در مدت زمان مذکور برای انواع شیرها آورده شده است.

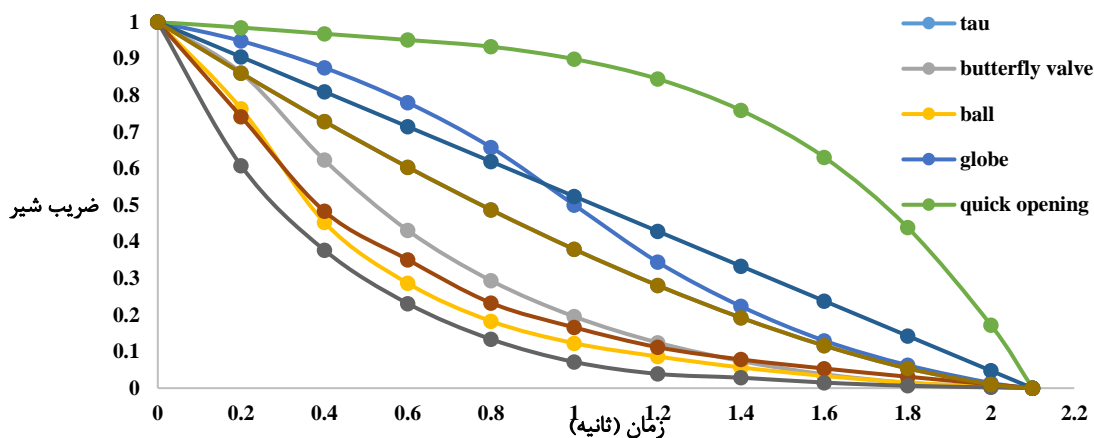
در مسئله سوم ضریب شیر از معادله زیر محاسبه می‌گردد:

$$C_v = Q \sqrt{\frac{\Delta P_0}{\Delta P} \cdot \frac{\rho}{\rho_0}} \quad (4)$$

در رابطه فوق C_v : ضریب تغییرات شیر، Q : دبی عبوری از خط لوله (گالن در دقیقه)، ΔP_0 : فشار مرجع (در اینجا ۱ پوند در اینچ مربع)، ΔP : فشار اعمال شده در سیستم (پوند در اینچ مربع)، ρ_0 : چگالی سیال مرجع که آب می‌باشد (۶۲.۴ فوت در فوت مکعب)، ρ : چگالی سیال اعمال شده در سیستم (پوند در فوت مکعب) است [۱۵].



شکل ۵. نحوه تغییرات ضریب شیر در برابر درصد بازشدگی در نرم افزار AFT Impulse



شکل ۶. ضریب بسته شدن شیر با زمان در زمان ۲/۱ ثانیه برای شیرهای مختلف موجود در نرم افزار AFT Impulse

۵. نتیجه‌گیری

در این تحقیق چندین مسئله نمونه ضربه قوچ با دو مدل عددی AFT Impulse و Hammer و روش خطوط مشخصه بررسی شد و قابلیت و توانایی این مدل‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. در هر یک از مسائل نمونه در انتهای پایین دست آن یک شیر وجود داشت که در یک بازه زمانی مطابق با معادله بسته شدن شیر بسته می‌شد. تاثیر انواع شیرها در پدیده ضربه قوچ بررسی شد و نتایج نشان داد که شیرهایی که معادله بسته شدن آنها به صورت خطی است مناسب‌ترین شیرها برای کم کردن اثرات نامطلوب ضربه قوچ هستند چون باعث تولید فشار ماکزیمم کمتری نسبت به دیگر شیرها می‌شوند. همچنین فشارهای حداقل آن نیز قابل قبول بوده و فشار منفی در خط لوله تولید نمی‌کنند. بعد از شیر خطی شیر plug دومین شیر مناسب برای بهبود فشارهای ماکزیمم و مینیمم در مکان‌های وقوع ضربه قوچ است. به ترتیب شیرهای 5% equal percent و quick opening به دلیل تولید فشارهای ماکزیمم و مینیمم غیرقابل قبول، نامناسب‌ترین شیرهای موجود برای استفاده در محل‌های وقوع ضربه قوچ به خصوص در مکان‌های وقوع فشارهای منفی هستند. نتایج این تحقیق نشان دهنده عملکرد مناسب مدل‌های عددی Hammer و AFT Impulse در شبیه‌سازی ضربه قوچ است.

حداکثر و حداقل ارتفاع موج فشاری ایجاد شده در انواع شیرها در جدول (۳) آورده شده است. کمترین ارتفاع موج فشاری حداکثر مربوط به شیر با معادله بسته شدن خطی (linear) است که مقدار آن برابر ۲۵۳/۱۶ متر است. با مقایسه این مقدار با حداکثر ارتفاع موج به دست آمده در نرم افزار Hammer مشخص گردید که اختلاف این دو عدد کمتر از ۰/۸ درصد بوده که نشان می‌دهد معادله بسته شدن شیر در نرم‌افزار مربوطه به صورت خطی است. بعد از آن کمترین ارتفاع موج فشاری حداکثر تولید شده مربوط به شیر Plug است. شیرهای 5% equal percent و quick opening و Ball به ترتیب نامناسب‌ترین شیرها هستند زیرا فشار ماکزیمم تولیدی آنها بیشترین بوده است به علاوه این که فشار مینیمم تولیدی آنها نیز تقریباً ۱۰ متر منفی است که این امر به مرور موجب تخریب خط لوله در اثر ضربه قوچ می‌شود. همچنین در این مثال به یافتن مشابه‌ترین شیر موجود در نرم‌افزار AFT Impulse به الگوی زمانی بسته شدن شیر تعریف شده در مثال پرداخته شد. باتوجه به نتایج حداقل و حداکثر ارتفاع موج ایجاد شده که مقدار آنها به ترتیب ۲۶۹/۰۷ و ۱۰۸/۹۴ متر بود مشخص گردید که شیر تعریف شده به ترتیب با اختلاف‌های ۵/۶ درصد و ۱۰ درصد مشابه با شیر Plug است.

جدول ۳. حداکثر و حداقل ارتفاع موج فشاری ایجاد شده در انواع شیرها در AFT Impulse

نوع شیر	زمان رسیدن به حداکثر (ثان)	ماکزیمم ارتفاع (متر)	زمان رسیدن به حداقل (ثان)	مینیمم ارتفاع (متر)
quick opening	2.1	405.16	3.1	10.13
plug	1.1	284.10	2.6	98.01
globe	1.6	315.92	2.8	30.66
equal percent 5%	1	409.38	1.8	10.13
predefin e- Butterfly	1	352.80	2.2	13.50
equal percent	1	365.81	2	12.99
linear	1.6	253.16	3.1	61.50
Ball	1.1	360.01	2	10.13

References

- [1] Asadi Dehmirahmadi, N., Esmaeili, Y. "Investigation of effective parameters (pipe diameter and fluid velocity) on the Simulation of water hammer phenomenon in water pipeline". Journal of Mechanical Engineering and Vibration. 9 (4): 64-71, (2018).
- [2] Bertaglia, G., Ioriatti, M., Valiani, A., Dumbser, M. and Caleffi, V. "Numerical Methods for Hydraulic Transients in Visco-elastic Pipes". Journal of Fluids and Structures. Volume 81, Pages 230-254, (2018).
- [3] Chaudhry, H.M. "Applied Hydraulic Transients". Third Edition. Springer New York Heidelberg Dordrecht London. (2014).
- [4] Dutta, N., Palanisamy, K., Subramaniam, U., Padmanaban, S., Holm-Nielsen, J.B., Blaabjerg, N. and Almakhles, D.J. "Identification of Water Hammering for Centrifugal Pump Drive Systems". Journal of Applied sciences. 10, 2683, (2020).
- [5] Jamal A, Najarchi M, Najafi Zadeh M M. "Development of a Practical Model for Optimizing Surge Tanks and Air Chambers in Water Transmission Systems". Water and Soil Science Journal. 24 (3) :49-64, (2020).

- [6] Kiani S, Fathi Moghadam, M, Fathi, A, Haghghi, "A. Numerical Modelling of Transient Flow in Viscoelastic Pipe Network". *Journal of Irrigation and Water Engineering*. 33:61-75, (2018).
- [7] S. Kouchakzdeh, A. parvaresh Rizi. "An introduction to hydraalic transients" First Edition. Publications and printing of Tehran University. 82 p (2005).
- [8] Bruce E. Larock, B, E., Jeppson, R,w., Waters,G,Z."Hydraulics of Pipeline Systems". Boca Raton, Florida 33431: 340 p, (2000)
- [9] Mahdizadeh, A. "Numerical Solution of the One-and Two-Dimensional Water Hammer Problems based on a Modified Flux-wave Approach and Baldwin-Lomax Turbulence Model". *Journal of Applied and Computational Sciences in Mechanics*. 29(1), (2017).
- [10] Mighouar, Z., Zahiri, L., Khatib, H., Mansouri, K. and El Majid, Z. "Effect of Water Hammer on Pipes Containing a Crack Defect". *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS Vol:18 No:03*. 25 – 31, (2018).
- [11] Patel, A.K. "Experimental Study of Water Hammer Pressure in a Commercial Pipe". *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*. 16 – 21, (2018).
- [12] Sharif, F., siosemarde, M., Merufinia, E. and Esmatsaatlo, M. "Comparative Hydraulic Simulation of Water Hammer in Transition Pipe Line Systems with Different Diameter and Types". *Journal of Civil Engineering and Urbanism*: 282 – 286, (2014).
- [13] Soleiman, A., Emadi, J. "Application of value engineering in the Kuhrang water pipeline project in order to control and reduction of water hammer". *Iranian Water Research Journal*. 9(3): 171-175, (2015).
- [14] Tabesh, M., Aghaei, A., Abrishami, J." Investigating the role of factors affecting the frequency of accidents in the main water supply pipes using the combined regression model". *Technical Faculty Journa*. Volume 42. Issue 6. (2008)
- [15] Wylie, E. B., Streeter, V. L. and Suo, L. "Fluid Transients in Systems". Prentice Hall: Englewood Cliffs, NJ, USA: 46 p, (1993).
- [16] Yuce, M.I., Omer, A.F. "Hydraulic Transients in Pipelines Due to Various Valve Closure Schemes". *SN applied Sciences*. 1, Article number: 111. (2019)