



کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران
دانشگاه تهران، تهران
۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

1254P-NWWCE

مقایسه روش‌های مختلف کاهش اثرات ضربه قوچ در خطوط انتقال با استفاده از نرم افزار Hytran

اسرین بهرامی^۱، جعفر مامی زاده^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه ایلام، ایلام

۲- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه ایلام، ایلام

Asrinbahrami25@gmail.com

چکیده

تغییر ناگهانی شرایط مرزی در سیستم‌های انتقال و توزیع آب مانند باز و بسته شدن سریع شیرها، قطع و وصل ناگهانی پمپ و توربین و نظایر آن باعث ایجاد جریان گذرایی می‌گردد که اصطلاحاً ضربه قوچ نامیده می‌شود. این پدیده در اثر تغییرات فشار در یک سیستم مجرای جریان تحت فشار در شرایطی که سیستم تغییری از یک عملکرد ماندگار به یک عملکرد ماندگار دیگر را متحمل می‌شود ایجاد می‌گردد. در این مقاله روش‌های کنترل جریان میرای هیدرولیکی شامل نصب تانک ضربه‌گیر هوای فشرده، سرج تانک و شیر هوا توسط نرم‌افزار Hytran مدل‌سازی گردید. بررسی‌ها نشان داد که با استفاده از سرج تانک و شیر هوا فشار مثبت به ترتیب به میزان ۳۸/۵۹٪ و ۲۱/۴۴٪ نسبت به حالت بدون تجهیزات کاهش یافته اما مقدار فشار منفی تغییر نخواهد کرد. در حالی که پس از نصب تانک ضربه‌گیر فشار مثبت و منفی به ترتیب ۳۷/۸۶٪ و ۵۴/۸٪ کاهش یافته است. نتایج این تحقیق نشان دهنده عملکرد بهتر تانک ضربه‌گیر نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد.

کلمات کلیدی: جریان میرا، ضربه قوچ، تانک ضربه‌گیر، Hytran

۱. مقدمه

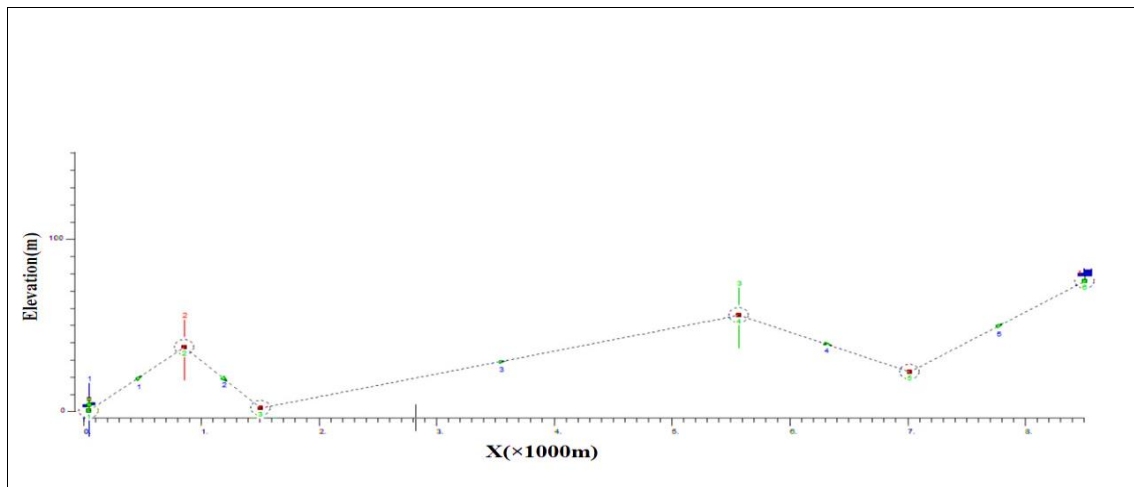
ضربه قوچ یکی از پدیده‌های مخرب هیدرودینامیکی است که در اکثر ایستگاه‌های پمپاژ، خطوط انتقال آب و نیروگاه‌های برق آبی ایجاد می‌شود. وقوع این پدیده باعث ایجاد فشارهای غیر عادی، بروز پدیده کاویتاسیون و در نهایت ترک‌خوردگی لوله‌ها و خرابی کلیه سیستم می‌شود [1]. اولین محاسبات مربوط به برآورد از زیاد فشار ناشی از ضربه قوچ به وسیله دانشمند روسی به نام ژوکوفسکی در سال ۱۸۹۸ انجام شد [2]. محمدی مجد و همکاران (۱۳۸۸) به مطالعه نیروهای ضربه قوچ در طرح انتقال آب به منطقه بن در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از نرم افزار Water Hammer پرداختند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از محفظه فشار نسبت به سایر روش‌ها از نظر فنی ارجحیت داشته و تاثیر به سزایی در کاهش نیروهای وارده به لوله‌ها دارد [3]. دانشفراز و همکاران (۱۳۹۱) پدیده ضربه قوچ در خطوط انتقال دشت عباس در استان ایلام را با سه نرم افزار AFT Impulse, Hammer و Hytran بررسی نمودند و مشاهده شد که مقادیر منتج از نرم افزار AFT Impulse بیش‌ترین همخوانی را با مقادیر نهایی فشارهای پیشینه و کمینه به دست آمده توسط مشاور طرح دارد [4]. دانشفراز و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از نرم افزار AFT Impulse ضربه قوچ ایستگاه پمپاژ و خط انتقال محمود آباد - ازنا در استان لرستان را بررسی نمودند و با در نظر گرفتن تجهیزات حفاظتی فشار مثبت و منفی در سیستم حذف گردید [5]. قبادیان و همکاران (۱۳۹۲) تاثیر طول و قطر اشعاب بر هیدرولیک جریان‌های میرا در لوله‌های تحت فشار را به صورت عددی مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که با کاهش قطر و طول اشعاب، میزان فشار حداکثر و حداقل افزایش می‌یابد [6]. حاضری و همکاران (۱۳۹۵) به مطالعه ضربه قوچ



شبکه آبیاری اسماعیل آباد لرستان با استفاده از نرم افزار Water hammer پرداختند [7]. تأیید (۱۳۹۴) عملکرد راهکارهای کنترل پدیده ضربه قوچ خط انتقال رود ارس به دشت ایری و سیه رود واقع در استان آذربایجان شرقی را با استفاده از نرم افزار Water Hammer مقایسه نمود. ابتدا با تغییر جنس لوله و پس از آن با استفاده از تجهیزات حفاظتی شامل چرخ لنگر، شیر یکطرفه، شیر هوای دو روزه و تانک ضربه گیر به بررسی خط انتقال مذکور پرداختند [8]. محمدی و همکاران (۱۳۹۵) نوسانات فشاری ناشی از پدیده ضربه قوچ در جریان آرام تراکم پذیر درون یک لوله الاستیک را با استفاده از حل عددی معادلات پیوستگی و اندازه حرکت در نرم افزارهای انسیس و فلوئنت مدل سازی نمودند. نتایج حاصله نشان دادند که بستن شیر به صورت ناگهانی باعث افزایش فشار درون لوله می شود که این افزایش فشار به صورت نوسانی بوده و در طی زمان شدت آن کاهش می یابد. همچنین پس از بررسی تاثیر ضخامت لوله ملاحظه شد که با افزایش ضخامت لوله، شدت ضربه ایجاد شده در لوله افزایش می یابد. به علاوه تاثیر جنس لوله بر ضربه قوچ ایجاد شده در لوله هایی از جنس پلی اتیلن نسبت به لوله های بتنی کمتر بوده و در لوله های فلزی از همه بیشتر می باشد [9]. اسمایر و همکاران (۲۰۰۹) به مطالعه تعامل بویا بین ضربه قوچ و نوسانات فشار ایجاد شده توسط پمپهای گریز از مرکز پرداختند و تحقیقات تجربی خود را در یک سیستم لوله کشی با قطر اسمی ۱۰۰ میلیمتر و طول ۷۵ متر به انجام رساندند. تحقیقات آن ها نشان داد که نوسانات فشار پمپ ها باعث کاهش ارتفاع موج تولید شده در اثر بستن سریع شیر می گردد [10]. Huo (۲۰۱۰) به بررسی آنالیز جریان های گذرا و طراحی مهندسی سیستم محافظت از سامانه انتقال فاضلاب در برابر آسیب های احتمالی افزایش فشار در شهرستان هرنارود، فلوریدا پرداخت. در این تحقیق از نرم افزار Water hammer استفاده شد. پس از شبیه سازی سیستم مورد نظر به این نتیجه رسید که سیستم انتقال بدون تجهیزات حفاظتی در معرض خطر ضربه قوچ قرار دارد، در نتیجه تجهیزات خاصی مانند شیر هوا و تانک ضربه گیر پیشنهاد داد [11]. Cao و همکاران (۲۰۱۳) تاثیر مخزن ضربه گیر در محافظت از خطوط لوله در مقابل پدیده ضربه قوچ را با استفاده از روش مشخصه مورد مطالعه قرار دادند. آن ها ابتدا با برنامه مورد نظر تاثیر مخزن ضربه گیر را بررسی کردند و سپس با جا به جا کردن مخزن در طول مسیر به مقایسه نتایج پرداختند [12]. سانگ جیون و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از مدل های عددی و اندازه گیری های میدانی تاثیر ابعاد محفظه هوایی و قطر داخلی اریفیس ورودی به محفظه روی کاهش اثرات مخرب پدیده ضربه قوچ را مورد مطالعه قرار دادند [13].

۲. مواد و روش ها

در این تحقیق سعی شده است میزان تاثیر تجهیزات کاهنده فشارهای مثبت و منفی ناشی از ضربه قوچ از جمله مخزن ضربه گیر، سرج تانک و شیر هوا در صورت از کار افتادن ناگهانی پمپ در یک خط انتقال مورد بررسی قرار گیرد [14]. در شبکه مذکور آب توسط یک دستگاه پمپ از ارتفاع ۰/۵ متری به یک مخزن واقع در ارتفاع ۷۵/۵ متری منتقل می شود. طول خط انتقال برابر با ۸/۵ کیلومتر می باشد. قطر و ضخامت لوله ها به ترتیب برابر ۵۸۰ میلی متر و ۴۷/۵ میلی متر بوده و ضریب دارسی و سیباخ لوله ها نیز ۰/۱۳ فرض شده است. لازم به ذکر است که قطر، جنس، ضخامت لوله و دبی از ابتدا تا انتهای خط انتقال یکسان است. پلان مسیر خط انتقال در شکل شماره (۱) و مشخصات فنی لوله ها، پمپ و مخزن در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است. پمپ مورد نظر در ابتدای خط انتقال در نظر گرفته شده و مقدار افت در لوله مکش پمپ نیز ناچیز فرض گردیده است.



شکل ۱- پلان خط انتقال بدون تجهیزات مهارکننده ضربه قوچ در نرم افزار Hytran

جدول ۱- مشخصات فنی لوله‌ها، گره‌ها و مخزن

شماره لوله	طول (متر)	شماره گره	ارتفاع (متر)
۱	۸/۸۱۵	۱	۳۷/۲
۲	۷/۶۴۰	۲	۲۲
۳	۵/۴۰۶۰	۳	۵۶
۴	۹/۱۴۵۵	۴	۲۳
۵	۷/۱۴۸۳	مخزن	۷۵/۵

جدول ۲- مشخصات پمپ مورد استفاده

۱۵۳	دبی پمپ (لیتر بر ثانیه)
۹۰	هد پمپ (متر)
۱۴۵۰	ممان اینرسی پمپ و موتور (نیوتن.متر.مربع)
۹۰	راندمان (درصد)

جهت تحلیل خط انتقال فوق از نرم افزار Hytran (3.1.2) استفاده شده است. نرم افزار Hytran (3.1.2): توسط شرکت نیوزیلندی Hytran Solutions تهیه گردیده است. روش مورد استفاده در تحلیل ضربه قوچ در این نرم افزار روش مشخصه می باشد. این نرم افزار در محیط Windows اجرا و کار می شود. پنجره فضای کاری نرم افزار مزبور یک صفحه سفید می باشد که در بدو اجرای نرم افزار ظاهر گردیده و همزمان یک پنجره پدیدار گردیده که بایستی طول مسیر و حداقل و حداکثر کد ارتفاعی پروژه مورد نظر و نیز مقیاس های عمودی و افقی را در آن معرفی نمود. سپس سایر مشخصات هیدرولیکی و هندسی مربوطه وارد می گردد. تحلیل جریان میرا در خط لوله بر اساس دو معادله پیوستگی و مونتوم انجام می گیرد که این دو معادله در حالتی که بتوان از ترم های شتاب جابجایی صرف نظر کرد به صورت معادلات (۱) و (۲) نشان داده می شوند. [15]

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \rho a^2 \frac{\partial V}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{fV|V|}{2D} = 0 \quad (2)$$

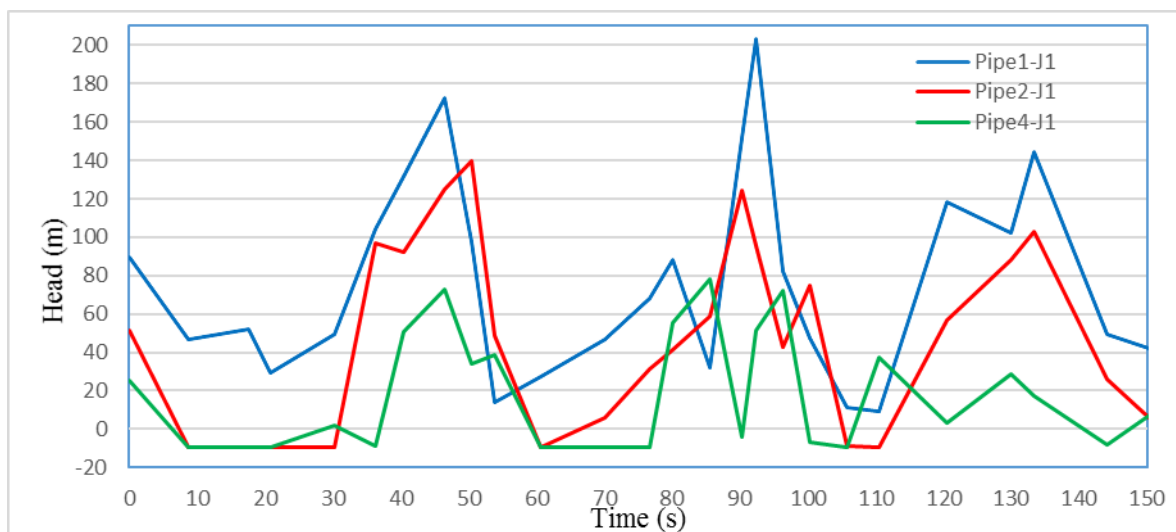
که در روابط فوق V : سرعت، f : ضریب اصطکاک جریان، D : قطر لوله، و a = سرعت انتشار موج، P : فشار آب می باشد. همچنین سرعت انتشار موج در داخل لوله به عواملی از قبیل جنس، قطر و ضخامت لوله، نوع سیال و نحوه مهار کردن لوله بستگی دارد. رابطه (۳) فرمول پیشنهاد شده برای محاسبه سرعت موج می باشد. [15]

$$a = \sqrt{\frac{\frac{k}{\rho}}{1 + \frac{DK}{eE}}} \quad (3)$$

که در آن D : قطر لوله، e : ضخامت لوله، ρ : دانسیته آب، E : مدول کشسانی لوله، K : مدول کشسانی آب، و a : سرعت موج بر حسب (m/s) می باشد.

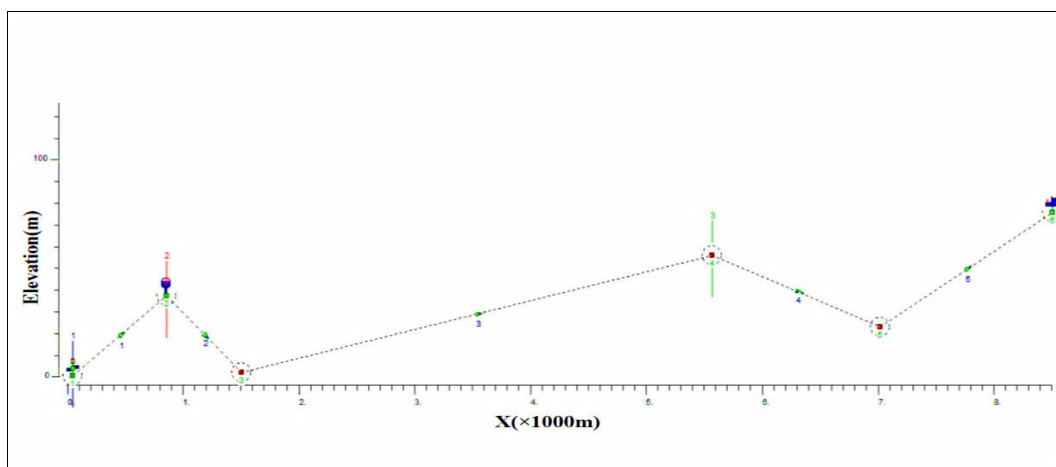
۳. نتایج و بحث

در مطالعه حاضر ابتدا خط انتقال مطابق با پلان شکل (۱) بدون تجهیزات مهار کننده ضربه قوچ در نرم افزار Hytran مدل سازی شده و میزان هد فشاری مثبت و منفی بر حسب زمان در سه مقطع از خط انتقال شامل گره های اول لوله های ۱ و ۲ و ۴ در شکل (۲) محاسبه گردید.

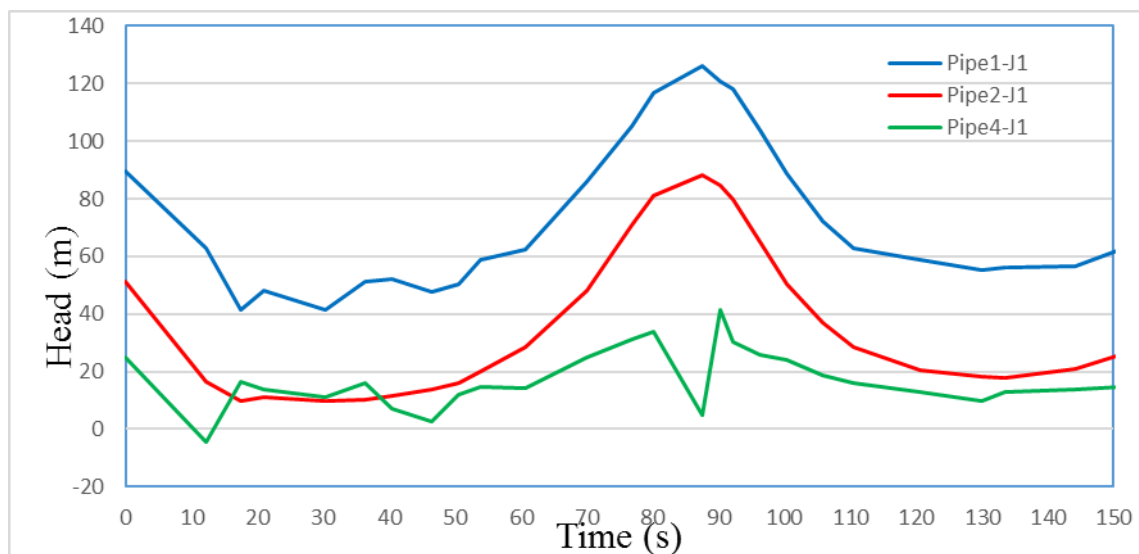


شکل ۲- نوسانات زمانی هد فشاری در حالت بدون تجهیزات حفاظتی

نتایج حاصل از شکل (۲) نشان داد که خط انتقال در حالت بدون تجهیزات مهار کننده ضربه قوچ در لوله ۱ دارای حداکثر فشار مثبت به میزان ۲۰۳/۵۸ متر و در لوله‌های ۲ و ۴ دارای حداکثر فشار منفی به میزان ۹/۶۰- متر می‌باشد. جهت رفع این فشارهای مثبت و منفی و جلوگیری از پدیده کاویتاسیون و ترکیدگی لوله‌ها تجهیزاتی از قبیل تانک ضربه گیر هوای فشرده (Air Chamber) به حجم هوای ۳ متر مکعب و مساحت ۳ متر مربع، سرچ تانک (Surge Tank) به قطر ۲/۵ متر و شیر هوا (Air Valve) به قطر ۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. پلان خط انتقال در حالت نصب تانک ضربه گیر هوای فشرده و میزان فشارهای مثبت و منفی در سه مقطع انتخابی لوله‌ها به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. با توجه به شکل (۳) تجهیزات فوق‌الذکر در محل ایستگاه شماره ۲ قرار داده شد.



شکل ۳- پلان خط انتقال در حالت نصب تانک ضربه گیر هوای فشرده



شکل ۴- نوسانات زمانی هد فشاری در حالت نصب تانک ضربه گیر هوای فشرده

پس از نصب تجهیزات مذکور نتایج حاصل از مدل‌سازی در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به جدول (۳)، با نصب سرج تانک، فشار مثبت به میزان ۷۸/۵۶ متر کاهش یافته و به مقدار ۱۲۵/۰۲ متر رسیده است اما فشار منفی بدون تغییر باقی مانده است در حالی که پس از نصب تانک ضربه‌گیر فشار مثبت کاهش و فشار منفی افزایش یافته است.

جدول ۳- نتایج مدل‌سازی در حالت استفاده از تجهیزات کنترلی ضربه قوچ

تجهیزات کنترلی ضربه قوچ	فشار مثبت	فشار منفی
شیر هوا	۱۵۹/۹۵	-۹/۶۰
سرج تانک	۱۲۵/۰۲	-۹/۶۰
تانک ضربه‌گیر هوای فشرده	۱۲۶/۵۱	-۴/۳۴

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این تحقیق ۳ روش کاهش اثرات ضربه قوچ در خط انتقال مورد نظر بررسی و مقایسه شدند. با توجه به میزان فشارهای حداکثر و حداقل که در جدول (۳) نشان داده شده است می‌توان نتیجه گرفت که با نصب سرج تانک فشارهای حداکثر به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابند اما فشارهای حداقل همچنان بدون تغییر باقی خواهند ماند. همچنین در صورت استفاده از تانک ضربه‌گیر هوای فشرده، فشارهای حداکثر کاهش و فشارهای حداقل افزایش می‌یابند. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از سرج تانک دارای بیشترین تاثیر در مقابله با نیروهای ناشی از پدیده ضربه قوچ می‌باشد.

۵. مراجع

۱. حسن زاده ی.، زمانیان ج.، ابریشمی ج. (۱۳۸۲). بررسی روش‌های کنترل فشارهای ماکزیمم و مینیمم ناشی از پدیده ضربه قوچ در ایستگاه پمپاژ فشار قوی. هشتمین کنفرانس دینامیک شاره‌ها. دانشگاه تبریز.
۲. سیاحی ع. و جلیل زاده ر. (۱۳۹۴). استفاده از تجهیزات مناسب جهت مقابله با پدیده ضربه قوچ. همایش ملی آب، پساب و پسماند. تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما.
۳. محمدی مجده ر. و فرشاد ر. (۱۳۸۸). مدل ریاضی نیروهای وارده بر خطوط لوله در اثر پدیده ضربه قوچ و تمهیدات حفاظتی ضربه قوچ (مطالعه موردی منطقه بن در استان چهارمحال و بختیاری). سومین همایش ملی آب و فاضلاب. تهران.
۴. دانشفر از ر.، رادمهر ر.، ماجدی اصل م. (۱۳۹۱). بررسی پدیده ضربه قوچ در خطوط انتقال دشت عباس با مدل‌های مختلف. همایش ملی مهندسی آب و فاضلاب. دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته. کرمان.
۵. دانشفر از ر. و مرادی کیورز ن. (۱۳۹۱). ارزیابی ضربه قوچ در ایستگاه پمپاژ و خط انتقال آب با استفاده از نرم افزار AFT Impulse. همایش ملی مهندسی آب و فاضلاب. دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته. کرمان.
۶. قبادیان ر. و بهرامی ز. (۱۳۹۲). بررسی عددی تاثیر طول و قطر انشعاب بر هیدرولیک جریان‌های میرا در لوله‌های تحت فشار. مهندسی عمران و توسعه پایدار با محوریت کاهش خطر پذیری در بلایای طبیعی. موسسه آموزش عالی خاوران مشهد.
۷. حاضری آ.، قبادیان ر.، فاطمی س. ا. (۱۳۹۵). بررسی ضربه قوچ در شبکه‌ی آبیاری اسماعیل آباد با استفاده از نرم افزار Hammer. اولین کنفرانس ملی پژوهش‌های نوین در علوم فنی و مهندسی. اردبیل.



کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران
دانشگاه تهران، تهران
۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



۸. تاقیان س.م. (۱۳۹۴). مقایسه عملکرد راهکارهای کنترل پدیده ضربه قوچ با استفاده از مدل ریاضی Hammer (مطالعه موردی طرح پمپاژ ابری و سیه رود). کنگره بین المللی مهندسی عمران، معماری و توسعه شهری. دانشگاه شهید بهشتی تهران.
۹. محمدی ر.، داودی م.ح.، رامیان آ. (۱۳۹۵). شبیه سازی عددی پدیده ضربه قوچ در جریان آرام درون یک لوله. اولین کنفرانس بین المللی مهندسی مکانیک و هوا فضا. ایران. تهران.

10. Ismaier A., and Schlucker E. (2009). Fluid dynamic interaction between water hammer and centrifugal pumps, J. Nuclear Engineering and Design. 239 3151–3154.
11. Huo J. (2010). Surge Analysis and Design for a Wastewater Transmission System in Hernando County, World Environmental and Water Resources Congress. 3652 – 3661.
12. Cao H., Zheng C., Luo F., and Guo L. (2013). The Effect of Surge Tanks in the Process of the Protection towards Water Hammer Fluctuation in Long-distance Pipelines, J. ASCE. 249 – 261.
13. Gyun S., Bock K., and Yup K. (2014). Water hammer in the pump-rising pipeline system whit an air chamber, Journal of Hydrodynamic, 960-964.
14. Hytran Solutions, 2000. Hytran Help Application File.
15. Chaudhry, H., (2014). Applied Hydraulic Transients. Springer New York Heidelberg Dordrecht London.