



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



1131P-NWWCE

کنترل فشارهای منفی ناشی از ضربه قوچ در خطوط انتقال آب با ترکیب تانک ضربه گیر و شیر هوا (مطالعه موردی: شهرستان مهران، استان ایلام)

اسرین بهرامی^۱، جعفر مامی زاده^۲، علیرضا حسینی^۳، حمیدرضا لطفی زاده^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه ایلام

۲. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه ایلام

۳. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه ایلام

۴. مربی، گروه عمران، دانشکده فنی، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام

Asrinbahrami25@gmail.com

چکیده

هرگاه در خطوط انتقال یا شبکه‌های توزیع آب، به هر دلیلی سرعت سیال به طور ناگهانی متوقف شود، امواج فشاری در لوله‌ها به وجود می‌آید که این امواج می‌توانند چندین برابر فشار کار کرد پمپ فشار تولید نموده و موجب به وجود آمدن تنش‌های زیادی در اجزای شبکه و بروز پدیده ضربه قوچ گردند. امروزه در کلیه طرح‌های انتقال آب، مطالعه دقیق ضربه قوچ به عنوان یک امر لازم و ضروری می‌باشد تا با شناخت کامل اثر آن، برای کنترل اثرات سوء این فرآیند تمهیدات مناسب اتخاذ گردد. در این تحقیق از نرم افزار Water Hammer V8i برای تحلیل ضربه قوچ خط انتقال آب پایانه مرزی شهرستان مهران استفاده شد. مطالعه حاضر در سه مرحله به صورت شبیه سازی بدون تجهیزات حفاظتی، با تجهیزات حفاظتی و تجهیزات پیشنهادی مشاور صورت گرفت. نتایج تحقیق نشان داد در حالت بدون تجهیزات حفاظتی فشارهای منفی زیادی در طول خط انتقال بوجود آمده و می‌بایست کنترل گردند. در مرحله بعدی ترکیب‌های مختلف تانک ضربه گیر و شیر هوا پیشنهاد گردید. نتایج شبیه سازی‌های متعدد نشان داد که تانک ضربه گیر ۲ متر مکعبی و ۳ عدد شیر هوای ۵۰ میلیمتری قادر به کنترل فشارهای منفی در طول خط می‌باشد.

کلمات کلیدی: ضربه قوچ، خط انتقال آب، تانک ضربه گیر، شیر هوا، Water Hammer V8i

۱. مقدمه

بهره‌برداری اصولی و برنامه‌ریزی شده از منابع کشور از کارهای ملی و پر هزینه‌ای است که در جهت دستیابی به مصارف شهری، صنعت و تولیدات کشاورزی باید صورت پذیرد. لذا در این زمینه طراحی و انتقال صحیح آب حائز اهمیت است. یکی از پدیده‌های مهم و مشکل ساز در خطوط انتقال آب پدیده ضربه قوچ است. این پدیده در خطوط لوله جریان تحت فشار و مجاری بسته اتفاق می‌افتد و به وضوح بر قوانین فشار، تغییرات دبی، تغییرات سرعت جریان و شرایط مکانی و زمانی حرکت سیال استوار است [1]. این پدیده به طور عمده در اثر تغییر ناگهانی شرایط مرزی در سامانه‌های انتقال سیال مانند قطع ناگهانی پمپ یا توربین، باز و بسته شدن سریع دریچه‌ها یا شیرفلکه، استفاده از شیر یک طرفه نامناسب و پر کردن غیر اصولی خطوط لوله ناشی می‌شود. با توجه به اینکه در اثر این پدیده فشارهای مثبت و منفی شدیدی به وجود می‌آید لذا در طراحی، نگهداری و عملکرد سامانه‌های توزیع آب مهم است [2].

معصومی پهرآباد و همکاران (۱۳۹۳) ضربه قوچ خط انتقال و ایستگاه پمپاژ آب دشت بناب در استان آذربایجان غربی را با استفاده از نرم افزار Hammer Water بررسی نمودند. مطالعه مورد نظر در سه مرحله به صورت شبیه سازی بدون تجهیزات، با تجهیزات کمتر و با تجهیزات پیشنهادی مشاور صورت گرفت. نتایج نشان داد که تعدادی از نقاط در مقایسه با سایر قسمت های خط لوله دارای ضعف بیشتری در مواجهه با ضربه قوچ بوده و در اجرای طرح باید اصلاح شود [3]. سیاحی و همکاران (۱۳۹۴) پدیده ضربه قوچ در ایستگاه پمپاژ ام الدبس و خطوط انتقال منتهی به مخازن ذخیره طرح غدیر واقع در استان خوزستان را با استفاده از نرم افزار Water Hammer مورد مطالعه قرار دادند. ابتدا تجهیزات جلوگیری از ضربه قوچ طراحی شد و سپس کارایی آن برای جلوگیری از صدمات احتمالی این پدیده مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آزمایش ها، بررسی ها و نمودارها نشان داد که با نصب تجهیزات جلوگیری از ضربه قوچ طراحی شده در مقایسه با حالت بدون تجهیزات تغییرات فشار کمتری مشاهده شد و موج فشاری در مدت ۱۰۰ ثانیه میرا شده و تقریباً به حالت پایدار رسید [4]. خواجه های زاد و احدیان (۱۳۹۵) کارایی شبکه های آب رسانی شهرستان فریدون شهر استان اصفهان را تحت پدیده ضربه قوچ بر مبنای ضریب پایداری بررسی نمودند. در این تحقیق از نرم افزار Water Hammer استفاده شد. نتایج نشان داد که می توان از پارامتر پایداری برای ارزیابی شبکه های آب رسانی استفاده نمود. در اثر وقوع پدیده ضربه قوچ ۴/۸۳ درصد نقاط شبکه مورد مطالعه، ضریب پایداری کمتر از یک داشتند. در اثر استفاده از سازه حفاظتی در بیشتر نقاط، افزایش پارامتر پایداری رخ داده و این مقدار به ۱/۱۱ درصد نقاط شبکه می رسد. همچنین افزایش ضریب هاین و افزایش قطر لوله باعث افزایش پارامتر پایداری شده و کاهش ضریب باعث کاهش پارامتر پایداری گردید [5]. حاضری و همکاران (۱۳۹۵) ضربه قوچ شبکه آبیاری اسماعیل آباد لرستان را با استفاده از نرم افزار Water Hammer مورد مطالعه قرار دادند. نتایج شبیه سازی نشان داد که با کاهش سریع تقاضای آب و قطع جریان پمپ نوسانات فشاری ایجاد می شود که نتایج نامطلوبی از قبیل فشارهای مثبت بیش از اندازه بالا به وجود می آورد، بنابراین در این شبکه استفاده از روش های کنترل جریان میرای هیدرولیکی ناشی از ضربه قوچ به منظور کنترل این پدیده توصیه می شود [6]. آزوری و همکاران (۱۸۹۱) با استفاده از خطوط مشخصه اثرات بستن شیر را در ایجاد پدیده ضربه قوچ در جریان متلاطم بررسی کردند [7]. چادری و حسینی (۱۹۸۵) از روش MacCormak, Lambda و Gabutti در حل معادلات ضربه قوچ استفاده کردند. آن ها نشان دادند که در عدد کورانت کمتر از ۱ روش Gabutti مرتبه دوم بهتر از سایر روش ها بوده است [9]. فونتانا و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی کاهش تلفات و تولید انرژی در شبکه های توزیع آب، یکی از علل مهم تلفات را رخداد ضربه قوچ و کاویتاسیون در شبکه معرفی نمودند [5]. اسکولویچ و همکاران (۲۰۱۴) مسئله مدل سازی و بهینه سازی هیدرولیک گذرا در سامانه های توزیع آب را مورد مطالعه قرار دادند و از دو روش کلاسیک (الگوریتم شبه نیوتن) و ابتکاری (الگوریتم ژنتیک) استفاده کردند تا اثرات ناپایدار ناشی از بسته شدن شیر را در شبکه های توزیع آب به حداقل برسانند. نتایج نشان داد که حتی برای کوچک ترین ناپایداری استفاده از بهینه سازی می تواند اثرات منفی ناپایداری را به صورت قابل ملاحظه ای کاهش دهد [10]. کانجیرو و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از روش مشخصه به بررسی میزان آلودگی وارد شده از درز و شکاف لوله های شکسته شده در اثر پدیده ضربه قوچ پرداختند. آن ها ابتدا جهت پیش بینی فشار و توزیع سرعت در لوله ها معادلات ضربه قوچ را حل و میزان غلظت آلودگی در چند نقطه از خط لوله را پیش بینی کردند. نتایج نشان داد که با گذشت زمان میزان آلودگی در خط لوله در اثر پدیده ضربه قوچ افزایش می یابد. [11]

۲. مواد و روش ها

نرم افزار Water hammer v8i توانمند جهت طراحی و آنالیز شبکه لوله های تحت فشار در دو حالت جریان پایدار و ناپایدار می باشد، که به مهندسان در تحلیل و درک بهتر سیستم های مرکب از پمپ و شبکه های لوله هنگام انتقال از یک حالت پایدار به حالت پایدار دیگر، کمک می کند و آنها را قادر می سازد تا تجهیزات کنترلی اقتصادی و مطمئنی را طراحی کنند. در این نرم افزار علاوه بر امکان مدلسازی لوله ها، پمپ ها، شیرها، مخزن ها و سایر اجزای شبکه، امکان مدلسازی تجهیزات حفاظتی جهت جریان های ناپایدار شامل مخازن هوای باز و تحت فشار، انواع شیرهای کاهش فشار نظیر شیرهای هوا و اطمینان، قابلیت تعیین زمان باز یا بسته شدن شیر، امکان مدلسازی حالت از کار افتادن ناگهانی پمپ، امکان تعیین سرعت موج در لوله های مختلف و ... نیز وجود دارد. تاکنون ۸ نسخه از این نرم افزار به بازار عرضه شده و آخرین نسخه از این سری Water Hammer V8i می باشد. روابط حاکم بر پدیده ضربه قوچ به صورت ترکیبی از معادلات مومنتم و معادله پیوستگی می باشند که در حالت یک بعدی به صورت معادلات (۱) و (۲) نشان داده می شوند:

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

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

که در روابط فوق v : سرعت، p : فشار آب، f : ضریب زبری، D : قطر لوله، ρ : چگالی آب، g : شتاب جاذبه زمین و a : سرعت انتشار موج می‌باشد. مدل موردنظر این معادلات را با گسسته سازی به روش تفاضل محدود و روش مشخصه حل می‌کند. سرعت انتشار موج در داخل لوله به عواملی از قبیل جنس، قطر و ضخامت لوله، نوع سیال و نحوه مهار کردن لوله بستگی دارد. برای محاسبه سرعت انتشار موج داخل لوله از رابطه (۳) استفاده می‌شود. [12]

$$a = \sqrt{\frac{k}{\rho \left(1 + \left(\frac{K}{E} \right) \psi \right)}} \quad (3)$$

که در آن a : سرعت موج درون لوله، k : مدول الاستیسیته حجمی سیال، ρ : جرم مخصوص سیال، E : مدول الاستیسیته دیواره لوله، ψ : پارامتر بدون بعدی است که تابعی از خواص الاستیک لوله، قطر لوله و نحوه مهار کردن آن می‌باشد. در این مطالعه فشارهای ناشی از ضربه قوچ در خط انتقال آب پایانه مرزی شهرستان مهران در استان ایلام (شکل ۱) با ترکیب تانک ضربه گیر و شیر هوا توسط نرم افزار HammerV8i مورد بررسی قرار گرفت. محدوده مطالعاتی با طول جغرافیایی $46^{\circ}10'$ شرقی و عرض جغرافیایی $33^{\circ}7'$ شمالی و ارتفاع ۱۵۰ متر در فاصله حدود ۹۰ کیلومتری جنوب شهر ایلام واقع شده است. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی طرح مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی طرح مورد مطالعه

آب مورد نیاز منطقه از طریق خط انتقالی به طول ۲۰ کیلومتر از جنس پلی اتیلن با قطر ۲۰۰ میلی متر و ضخامت ۱۴٫۷ میلی متر تأمین می‌شود. ضریب هیزن ویلیامز لوله‌ها ۱۲۰ در نظر گرفته شده است. مشخصات فنی خط انتقال در جدول ۱ ارائه شده است. مقدار دبی مورد نیاز منطقه با توجه به جمعیت تقریباً برابر با ۲۰ لیتر در ثانیه برآورد گردیده است. سرعت موج در خط لوله (رابطه ۳) با توجه به جنس و مشخصات لوله برابر با ۳۰۰ متر در ثانیه محاسبه گردید.

جدول ۱- مشخصات فنی لوله ها، گره ها و مخازن

Lable	Elevation(m)	Pipe	Length(m)
J-1	169	P-1	5
J-2	167	P-2	582
J-3	162	P-3	849
J-4	163	P-4	396
J-5	162	P-5	147
J-6	159	P-6	161
J-7	164	P-7	369
J-8	161	P-8	2,060
J-9	160	P-9	1,236
J-10	149	P-10	837
J-11	140	P-11	3,439
J-12	134	P-12	2,551
J-13	127	P-13	1,285
J-14	122	P-14	1,107
J-15	119	P-15	2,264
R-1	174	P-16	1,178
R-2	130	P-17	1,902

در این تحقیق ابتدا شرایط جریان ماندگار با استفاده از نرم افزار WaterGEMS مورد ارزیابی قرار می گیرد. سپس به منظور تحلیل جریان غیرماندگار از نرم افزار Hammer v8i استفاده می شود. شرایط جریان ماندگار در خط لوله بوسیله خاموش شدن ناگهانی پمپ در ابتدای خط انتقال ایجاد گردید. جهت کنترل ضربه قوچ ناشی از این پدیده سناریوهای مختلفی شامل تانک ضربه گیر و شیر هوا اجرا شد و در نهایت گزینه مطلوب پیشنهاد گردید.

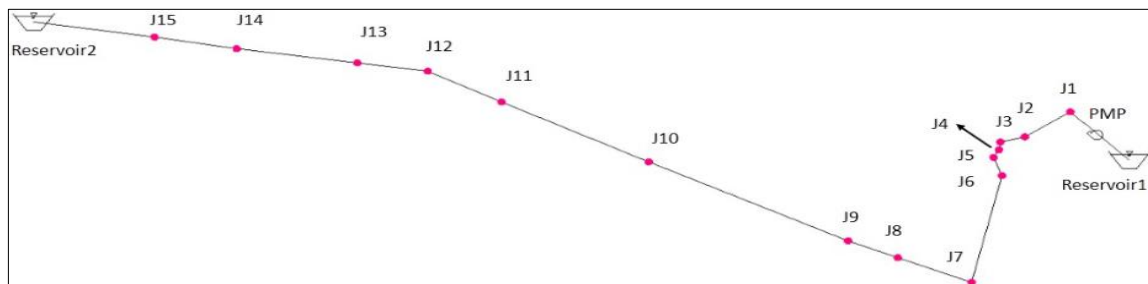
۳. نتایج و بحث

به منظور تحلیل خط انتقال تحت شرایط جریان ماندگار از نرم افزار WaterGEMS استفاده شد و تحت شرایط جریان به صورت ثقلی مشخص گردید که حداکثر دبی قابل انتقال برابر با ۸ لیتر در ثانیه می باشد. بنابراین به منظور تامین دبی منطقه که تقریباً برابر ۲۰ لیتر در ثانیه می باشد می بایست در ابتدای خط انتقال پمپ مناسبی طراحی گردد. با مراجعه به کاتالوگ و مشخصات پمپ های شرکت پمپیران ، الکتروپمپی با مشخصات به شرح جدول (۲) انتخاب گردید.

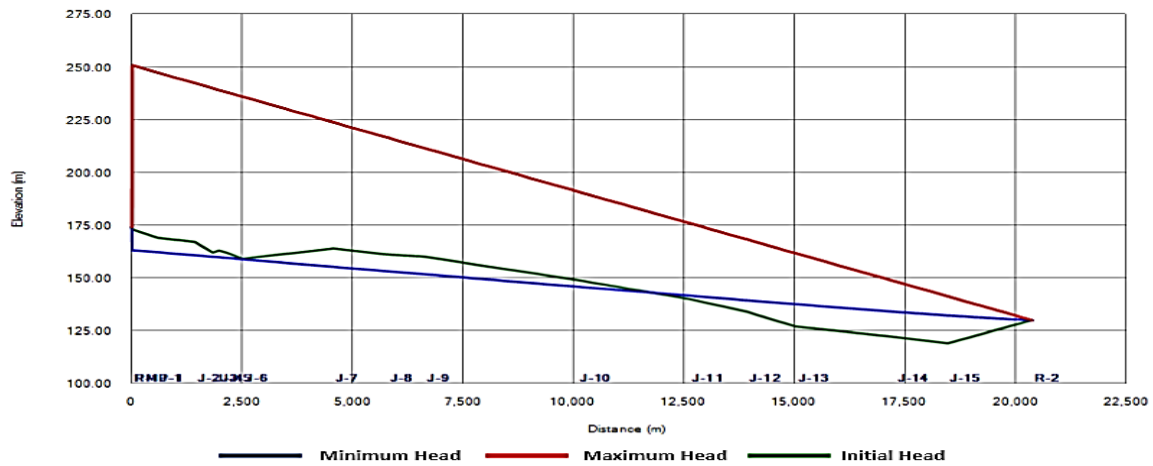
جدول ۲- مشخصات پمپ مورد استفاده

پمپ مدل UQN345/3(22KW)	
19.84	دبی پمپ (لیتر بر ثانیه)
76.77	هد پمپ (متر)
22	توان (کیلووات)
1.179	ممان اینرسی پمپ و موتور (نیوتن.متر مربع)
80	راندمان (درصد)

تحلیل شرایط جریان غیرماندگار در نرم افزار Hammer v8i بدون تجهیزات مهارکننده ضربه قوچ مطابق شکل (۲) مدل سازی شد. پروفیل خط انتقال در برابر حداکثر و حداقل فشارهای ایجاد شده در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج حاصل از مدلسازی در این حالت نشان داد که حداکثر فشارهای مثبت ایجاد شده دارای مسئله قابل ملاحظه ای نبوده و فقط فشارهای منفی زیادی در طول خط ایجاد شده که این مسأله خطر آفرین می باشد. با توجه به شکل مشخص است که خط انتقال از ابتدای مسیر تا کیلومتر ۱۲ دارای فشار منفی بوده و این فشار منفی منجر به پدیده جدایی ستون مایع می شود. بنابراین نیاز است که در این خط انتقال تجهیزات حفاظتی نصب گردد. در شکل ۳ پروفیل حداقل و حداکثر فشار خط انتقال در حالت بدون تجهیزات مهارکننده ضربه قوچ نشان داده شده است.

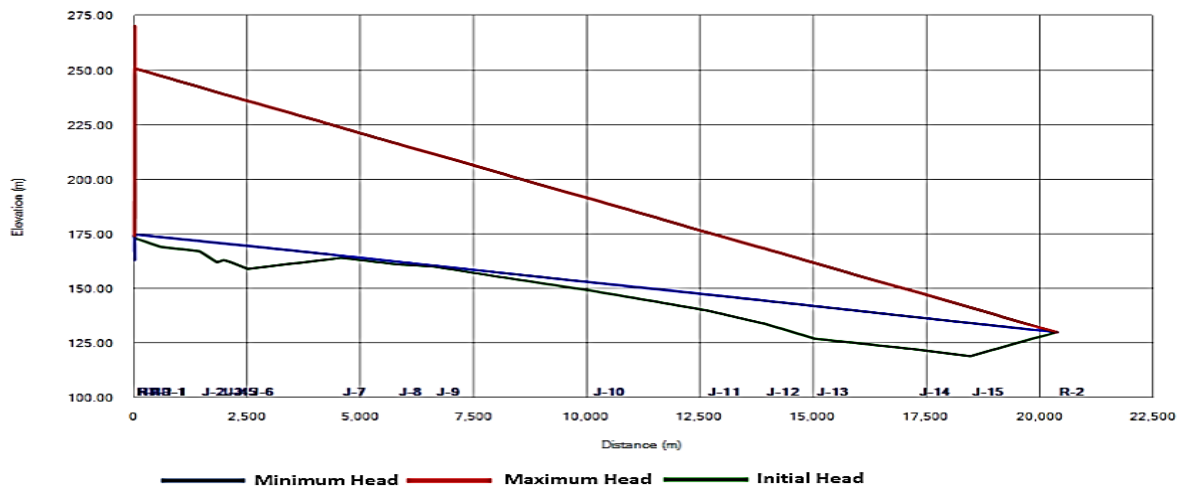


شکل ۲- مسیر خط انتقال بدون تجهیزات مهارکننده ضربه قوچ



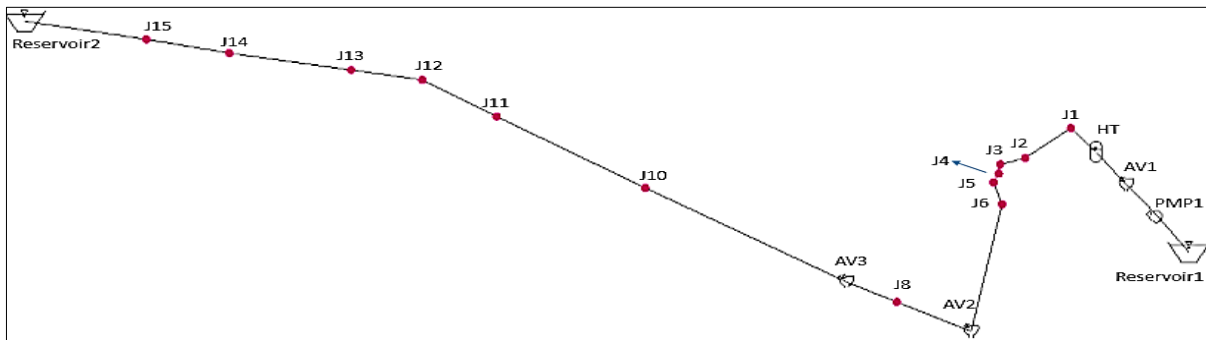
شکل ۳- پروفیل حداقل و حداکثر فشار خط انتقال در حالت بدون تجهیزات مهارکننده ضربه قوچ

در این مرحله سناریوهای مختلفی از ترکیب تانک ضربه گیر و آرایش های مختلف شیرهای هوا در طول خط استفاده شد. در ابتدا شبیه سازی های مختلفی به منظور تعیین حداقل حجم لازم تانک ضربه گیر با نرم افزار انجام گرفت که در نهایت با قرار دادن یک تانک ضربه گیر ۳ متر مکعبی بلافاصله بعد از پمپ مطابق با شکل (۴) تقریباً تمام فشار منفی ایجاد شده در خط لوله برطرف شد.



شکل ۴- پروفیل حداقل و حداکثر فشار خط انتقال با قرار دادن تانک ضربه گیر ۳ متر مکعبی در ابتدای مسیر

در مرحله بعد به منظور کاهش حجم تانک ضربه گیر از ترکیب تانک با شیر هوا در طول خط انتقال استفاده شد. نتایج شبیه سازی های متعدد توسط نرم افزار نشان داد که با قرار دادن یک تانک ضربه گیر ۲ متر مکعبی بلافاصله بعد از پمپ و سه عدد شیر هوا به قطر ۵۰ میلی متر به صورت شکل (۵) می توان فشارهای منفی ایجاد شده را از بین برد.



شکل ۵- مسیر خط انتقال با قرار دادن تانک ضربه گیر و شیر هوا

در مرحله آخر، خط انتقال با استفاده از تجهیزات پیشنهادی مهندسین مشاور که شامل یک عدد تانک ضربه گیر ۲ متر مکعبی و شش عدد شیر هوا به قطر ۵۰ میلی متر می باشد مدلسازی گردید. سه عدد از شیرهای هوا در فاصله بین گره شماره ۱۰ و مخزن ۲ قرار داشته و سه عدد دیگر مطابق با پروفیل شکل ۵ می باشند. نتایج شبیه سازی این حالت نیز نشان داد که کلیه فشارهای منفی حذف شده است و نتایج آن نیز با حالت استفاده از تانک ۳ متر مکعبی همخوانی داشت. مطابق با استانداردهای طراحی تجهیزات حفاظتی خطوط انتقال آب که در آن پیشنهاد شده شیرهای هوا در فواصل حداکثر ۷۵۰ متر از یکدیگر نصب گردند، به نظر می رسد که طراحی مشاور منطقی است.

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این تحقیق پدیده ضربه قوچ خط انتقال پایانه مرزی شهرستان مهران در سه مرحله به صورت شبیه‌سازی بدون تجهیزات حفاظتی، با تجهیزات حفاظتی و با تجهیزات پیشنهادی مشاور توسط نرم‌افزار Water Hammer V8i انجام شد. ابتدا مدل سازی جریان ماندگار با نرم افزار WaterGEMS انجام گرفت و نتایج نشان داد که شرایط جریان نقلی قادر به تامین نیاز منطقه به مقدار ۲۰ لیتر در ثانیه نبوده و می‌بایست از سیستم پمپاژ استفاده نمود. سپس تحلیل شرایط جریان غیرماندگار بدون استفاده از تجهیزات حفاظتی با نرم‌افزار Water Hammer V8i نشان داد که فشارهای منفی زیادی در طول شبکه ایجاد شده که نیاز است توسط روش‌های مختلف حفاظت گردند. به منظور کنترل فشارهای منفی از ترکیب‌های مختلف تانک ضربه گیر و شیر هوا استفاده شد و در نهایت ترکیب یک تانک ضربه گیر و سه شیر هوا به قطر ۵۰ میلی‌متر به عنوان گزینه مطلوب در نظر گرفته شد.

۵. مراجع

۱. کریمی، م. (۱۳۹۱). "آموزش کاربردی مفاهیم ضربه قوچ در Water Hammer"، انتشارات نوآور، تهران، ایران.
۲. احتشام منش، ج. (۱۳۸۹). "راهنمای نرم‌افزار Hammer"، انتشارات آیدین، تهران، ایران.
۳. معصومی پهر آباد، ع. طحنی، ا. دانش فراز، ر. (۱۳۹۳)، بررسی ضربه قوچ در خط انتقال و ایستگاه پمپاژ آب (مطالعه موردی دشت بناب)، سیزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، تبریز، انجمن هیدرولیک ایران، دانشگاه تبریز.
۴. سیاحی، ع. جلیل زاده، ر. (۱۳۹۴)، استفاده از تجهیزات مناسب جهت مقابله با پدیده ضربه قوچ، ششمین کنفرانس آب، پساب و پسماند، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صداوسیما.
۵. خواجه‌های زاد، ف. احدیان، ج. (۱۳۹۵)، کارایی شبکه‌های آبرسانی تحت پدیده ضربه قوچ بر مبنای ضریب پایداری (مطالعه موردی شبکه آبرسانی شهرستان فریدون‌شهر)، نشریه دانش آب‌و‌خاک، جلد ۲۶، شماره ۲/۱، صفحه‌های ۵۹ تا ۷۱.
۶. حاضری، ا. قبادیان، ر. فاطمی، س.ا. (۱۳۹۵)، بررسی ضربه قوچ در شبکه آبیاری اسماعیل آباد با استفاده از نرم‌افزار Hammer، اولین کنفرانس ملی پژوهش‌های نوین در علوم فنی و مهندسی، ایران، اردبیل.
۷. قبادیان، ر. بهرامی، ز. (۱۳۹۲)، بررسی عددی تأثیر طول و قطر انشعاب بر هیدرولیک جریان‌های میرا در لوله‌های تحت فشار، همایش ملی عمران و توسعه پایدار با محوریت کاهش خطرپذیری در بلایای طبیعی، ایران، مشهد.
۸. محمدی، ر. داودی، م.ح. رامیان، ا. (۲۰۱۶)، شبیه‌سازی عددی پدیده ضربه قوچ در جریان آرام درون یک لوله، اولین کنفرانس بین‌المللی مهندسی مکانیک و هوافضا، ایران، تهران.
۹. سیاری، س. خان جانی، م.ج. (۱۳۹۲)، آنالیز چکش آبی در سیستم آبیگر سد آدرنجان، دوازدهمین همایش ملی آبیاری و کاهش تبخیر، ایران، کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
10. Skulovich, O., Perelman, L. and Ostfeld, A., (2014). Modeling and optimizing hydraulic transients in water distribution systems. *Procedia Engineering*, 70 1558 – 1565.
11. Conejero, A., Lizama, C. and Rodenas, F., (2016) Dynamics of the solutions of the water hammer equations. *Topology and its Applications*, 1-17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.topol.2015.12.076>
12. Chaudhry, H., (2014). *Applied Hydraulic Transients*. Springer New York Heidelberg Dordrecht London.