بررسی هیدرولیکی پدیده ضربه قوچ با استفاده از نرم افزار FlowMaster
مطالعه موردی خط انتقال آب از تصفیه خانه گدار تا مخزن تنگ مو

علی رضافر[1]، روزبه ریاضی [2]

۱- گروه علوم آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی ، شوشتر ، ایران

۲- گروه عمران، واحد دهدشت، دانشگاه آزاد اسلامی، دهدشت، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۲۰

چکیده

پدیده‌ی ضربه قوچ در پروژه های خطوط انتقال آب مهم بوده و نادیده گرفتن این پدیده می تواند سبب ایجاد خسارات قابل توجهی به خطوط انتقال و تجهیزات مربوطه گردد. در این پژوهش پدیده ضربه قوچ درخط انتقال آب از تصفیه خانه گدار تا مخزن تنگ مو، توسط نرم افزار FlowMaster مورد ارزیابی قرار گرفت. با استفاده از نرم افزار سعی در تخمین میزان ضربه قوچ در شرایط مختلف از جمله زمان روشن و خاموش کردن پمپ گردید و در آخر نسبت به ارائه راهکارهای حفاظتی لازم جهت بهبود شرایط نیز اقدام شد. نتایج نشان داد که استفاده از مخزن هوا در ایستگاه پمپاژ یک خط انتقال آب، تاثیر قابل توجهی بر تغییرات فشار ناشی از توقف پمپ دارد . همچنین با درنظرگرفتن تجهیزات مناسب، نصب شیر یکطرفه در کیلومتر ۱+٤٤۰ و شیر تخلیه هوا در کیلومتر ۳+۵۰۰ تا حد بسیار زیادی از شدت موج ایجاد شده در اثر ضربه قوچ کم کرد و کل سیستم را از خطر مصون داشت.

واژه های کلیدی : ***جریان های ناپایدار ، ضربه قوچ ، مخزن هوا ، نرم افزار FlowMaster***

مقدمه

با توجه به رشد روز افزون جمعیت و به مثابه آن نیاز امروز بشری ، وجود فاصله زیاد مابین منابع آبی موجود و محل تقاضای مصرف ، امکان استفاده از روش‌های سنتی صرفه ی اقتصادی نداشته و پاسخگوی نیاز طرح نیست.

پدیده‌ی ضربه قوچ در خطوط لوله جریان تحت فشار و مجاری باز اتفاق می افتد. این پدیده به وضوح بر قوانین فشار، تغییرات سرعت جریان و شرایط زمانی و مکانی حرکت سیال استوار بوده و در بعضی از سیستم های هیدرولیکی تحت فشار، نظیر خطوط انتقال آب، نفت یا شبکه های توزیع و لوله های آب منتهی به توربین ها، تونل های آبی، سیستم‌های پمپاژ و جریان های ثقلی رخ می دهد. پدیده‌ی ضربه ی قوچ با ایجاد موج های سریع، زود گذر و میرا موجب خطرات گوناگونی می شود.

در این تحقیق خط انتقال گدار مسجد سلیمان با برنامه FlowMaster شبیه سازی و در پنج مرحله زیر مورد مطالعه قرار گرفت.

حالت اول – بررسی نوسانات بدون در نظر گرفتن حفاظت.

حالت دوم – نصب Air Chamber ($15m^3$) در نقطه یک وتاثیر آن در نقاط یک و دو.

حالت سوم – نصب Air Chamber ($15m^3$) در نقطه یک و نصب شیر یکطرفه در کیلومتر ۳+۵۰۰ و ۱+۴۴۰.

حالت چهارم – نصب Air Chamber ($15m^3$) در نقطه یک و نصب شیر یکطرفه در کیلومتر

۳+۵۰۰ و ۱+۴۴۰ و یک شیر تخلیه هوا در کیلومتر ۳+۵۰۰.

حالت پنجم – نصب Air Chamber ($15m^3$) در ابتدای خط، نصب شیر یکطرفه در کیلومتر ۱+۴۴۰ و شیر تخلیه هوا در کیلومتر ۳+۵۰۰.

پیشینه ی تحقیق

ضربه قوچ، از تغییر ناگهانی سرعت جریان آب در خطوط لوله بوجود می‌آید. بعد از خاموش شدن ناگهانی پمپ، یک موج فشار از طرف پمپ به طرف انتهای خط لوله با سرعتی معادل سرعت صوت در خط لوله به حرکت در می آید.این موج فشار با حرکت به انتهای خط لوله، فشار را کاهش می دهد و از انتهای مسیر با فشار اولیه سیستم منعکس می شود تا به شیر یکطرفه پمپ برسد و پس از برخورد با شیر یکطرفه به صورت موج فشار مثبت منعکس می شود و این سیکل تناوب چندین بار تکرار می شود، ولی با هر تکرار شدن به علت اصطکاک خط لوله و سایر عوامل کاهنده، مقداری از آن کاسته می شود تا به حالت ساکن برسد.

ژوکوفسکی فرمولی را برای تعیین و محاسبه سرعت انتشار موج فشار ناشی از ضربه قوچ ارائه نمود. او همچنین راجع به رابطه کاهش سرعت و افزایش فشار حاصل از آن با استفاده از دو روش بقاء انرژی و شرط پیوستگی بحث نمود:

$$\Delta H = \frac{a\Delta v}{g} \qquad (۱)$$

ΔH : فشار اولیه موج (m)

a : سرعت موج (m/s)

g : شتاب ثقل(m/s^2)

Δv : تغییر سرعت در جریان (m/s)

محققین مختلفی در زمینه ضربه قوچ آبی تحقیق انجام داده اند که اهم آنها به شرح زیر است:

روحانی و افشار (۲۰۱۰) یک روش مشخصه ضمنی نقطه‌ای و یک رابطه‌ی توسعه یافته به منظور بهبود کارایی روش مشخصه ضمنی پیشنهاد نمودند و با مقایسه نتایج آن با نتایج روش مشخصه ضمنی معمولی نشان دادند که کارایی مدل های پیشنهاد شده در مقایسه با نتایج روش مشخصه ضمنی معمولی بیشتر است.

دانشفراز و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی معادلات قوچ آبی و تأثیر جملات غیرخطی برای جنس های مختلف در خطوط لوله انتقال پرداخته و نتیجه گرفتند که تأثیر جملات غیرخطی در تحلیل اندک می باشد.

رضایی و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی قطر بهینه، ضخامت بهینه و جنس بهینه از لحاظ فنی در نرم افزار Hammer پرداخته و مشاهده کردند محاسبات بهینه در بعضی موارد به دلیل عدم صرفه اقتصادی قابل استفاده نمی باشد.

دانشفراز و مرادی کیورز (۱۳۹۱) به ارزیابی ضربه قوچ در ایستگاه پمپاژ و خط انتقال آب محمود آباد– ازنا با استفاده از نرم افزار Aft-Impulse پرداخته و مشاهده کردند، بدون استفاده از ابزارهای کنترل ضربه قوچ، خط انتقال قادر به تحمل فشارهای مثبت و منفی حاصل از بروز پدیده ضربه قوچ نخواهد بود.

دانشفراز و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی پدیده ضربه قوچ در خطوط انتقال دشت عباس با مدل نرم‌افزارهای Aft-Impulse، Hammer و Hytran پرداخته‌اند. ارزیابی نتایج این مدل ها نشان داد که نتایج حاصل از دو نرم افزار Aft-Impulse و Hytran قابل قبول و همخوانی خوبی با نتایج مشاور داشته و نتایج حاصل از نرم افزار Hammer دور از انتظار و همخوانی خوبی با نتایج مشاور نداشتند.

معرفی خط انتقال و ایستگاه پمپاژ گدار

مکان مورد بررسی ایستگاه پمپاژ شهر مسجدسلیمان می‌باشد که واقع در شمال شرق استان خوزستان است. عنوان پروژه مطالعات و طراحی انتقال آب ار تصفیه خانه گدار تا مخزن تنگ مو است که سازمان آب و برق استان خوزستان به عنوان

کارفرما اجرای آن را بر عهده داشته است. بررسی ضربه قوچ از ایستگاه پمپاژ (تصفیه خانه گدار) تا مخزن متعادل کننده تنگ مو انجام می‌گیرد آنالیز پدیده ضربه قوچ مربوطه از ایستگاه پمپاژ گدار تا مخزن تنگ مو صورت می گیرد بدیهی است که در دیگر بخش های خط انتقال شکل انجام محاسبات به همین گونه بوده و فقط نتایج ممکن است متفاوت باشد. داده های مربوط به بخش مورد مطالعه به صورت زیر می باشد:

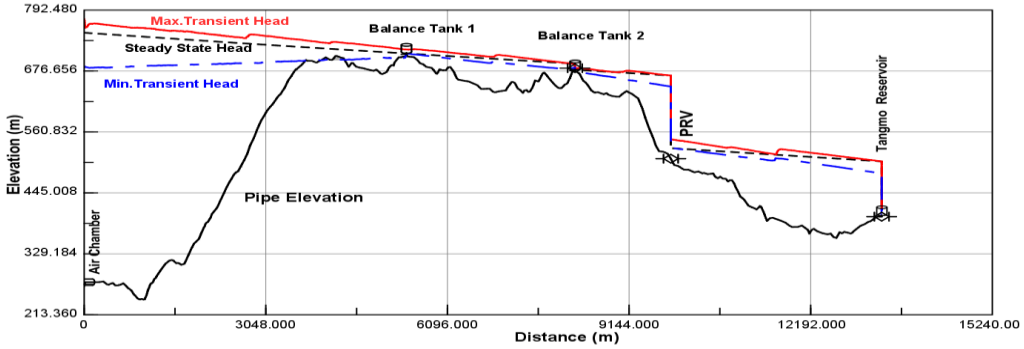
طول : ۵۰۰۰ متر

قطر لوله ها : ۶۰۰ میلیمتر

جنس لوله : فولادی ST52

ضخامت لوله : ۱۳ میلیمتر

دبی : ۰/۵۸ متر مکعب بر ثانیه



شکل ۱- پلان و پروفیل هیدرولیکی خط انتقال آب ازتصفیه خانه گدار تا مخزن تنگ مو

همچنین مشخصات فنی الکتروپمپ های پر فشار خط انتقال در جدول زیر آورده شده است.

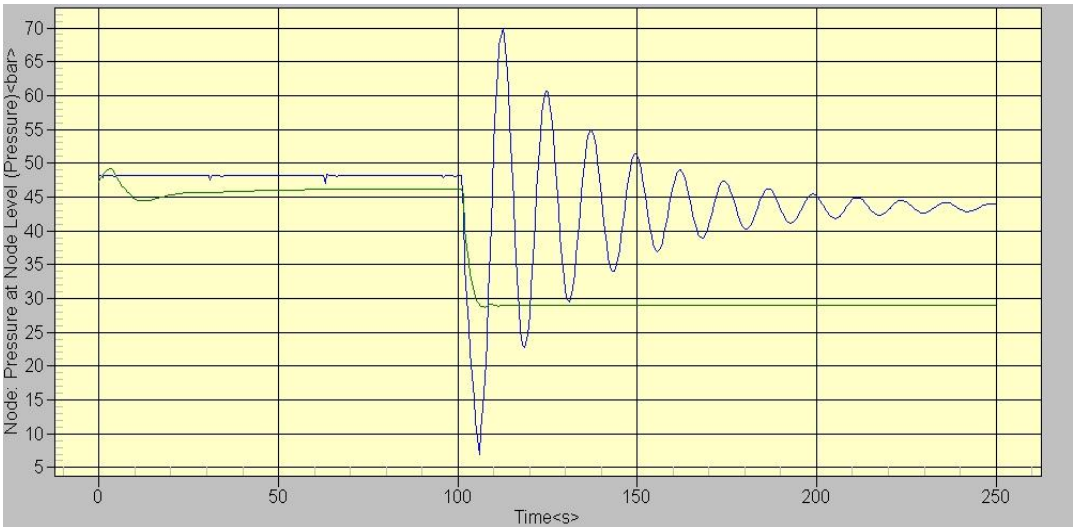
جدول ۱- مشخصات فنی الکتروپمپ های پر فشار خط انتقال ۶۰۰ میلیمتر

نوع	سانتریفوژ افقی (فشار قوی)
مدل	HAM 450 – 122X4A
آبدهی	۴۰۰ متر مکعب در ساعت
ارتفاع آبدهی	۴۷۵ متر
قدرت الکتروموتور	۹۰۰ کیلو وات
سرعت دوران الکتروموتور	۱۴۵۰ دور در دقیقه
تعداد الکتروپمپ	۵+۲ پمپ

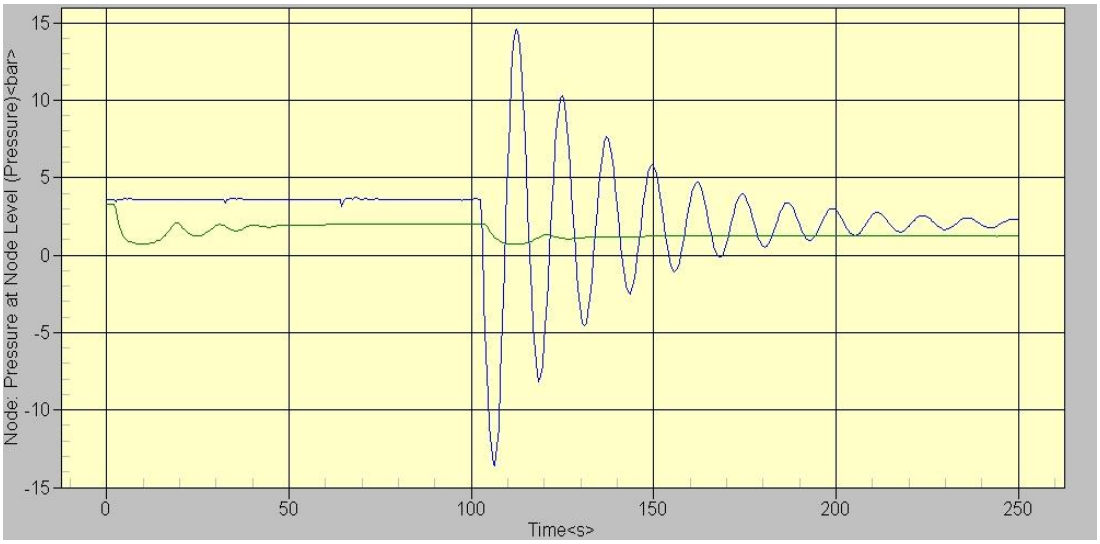
سایر مشخصات بخش مورد مطالعه شامل گره ها ،سرعت مخصوص پمپ، اینرسی دورانی هر پمپ و الکتروموتورها، سرعت انتشار موج فشاری ،مشخصات مربوط به تجهیزات مهار ضربه قوچ و... محاسبه یا تهیه گردید. با توجه به این که مشکلات اصلی این طرح نوسانات زیاد فشار در طول خط و پایین آمدن فشار (در حد بیش از فشار بخار) در کیلومتر ۳+۵۰۰ می باشد برای رفع آنها باید تمهیداتی به کار برده شود تا بتوانیم ایستگاه پمپاژ و نقاط بحرانی را از خطر پدیده ضربه قوچ در امان نگه داریم . لذا برای بررسی مشکلات طرح، خروجی نرم افزار را که به صورت نمودار فشار – زمان می باشد را برای دو نقطه

بحرانی تحلیل می کنیم. نقطه اول که مورد بررسی قرار می گیرد در گره اول یا کیلومتر صفر (محل ایستگاه پمپاژ) می‌باشد که همواره در بررسی‌های مختلف پدیده ضربه قوچ در اولویت می‌باشد(نقطه ۱). نقطه دوم که مورد بررسی قرار می گیرد، کیلومتر ۳+۵۰۰ می باشد که در بالاترین نقطه مسیر قرار دارد و به همین علت وکیوم بیش از بقیه نقاط مشاهده شده است (نقطه ۲). در تحقیق حاضر پنج حالت مختلف از ترکیب روش های مهار ضربه قوچ بررسی شده است. با توجه به نتایج بررسی‌ها زمان ۱۰۰ ثانیه برای خاموشی پمپ‌ها و زمان برای بررسی تا ثانیه ۲۵۰ در نظر گرفته شده است با توجه به این که مشکلات اصلی این طرح نوسانات زیاد فشار در طول خط و پایین آمدن فشار (در حد بیش از فشار بخار) در کیلومتر ۳+۵۰۰ می‌باشد برای رفع آنها باید تمهیداتی به کار برده شود تا بتوانیم ایستگاه پمپاژ و نقاط بحرانی را از خطر پدیده ضربه قوچ در امان نگه داریم. لذا برای بررسی مشکلات طرح، خروجی نرم‌افزار را که به صورت نمودار فشار – زمان می‌باشد را برای دو نقطه بحرانی تحلیل می کنیم. در تحقیق حاضر پنج حالت مختلف از ترکیب روش‌های مهار ضربه قوچ بررسی شده است که دربخش مقدمه به ۵ حالت مختلف اشاره شد.

پس از قرار دادن هر یک از تجهیزات، در حالات مختلف نرم افزار اجرا شد و خروجی به صورت یک گراف ارائه گردید که در مجموع برای نقاط و حالات ذکر شده ۱۸ گراف مورد بررسی قرار گرفت و با هم مقایسه شد. در زیر نمودار مقایسه حالت یک و پنج در کیلومتر صفر و ۳+۵۰۰ مشاهده می شود.



نمودار ۱- مقایسه حالت یک و پنج در کیلومتر صفر



نمودار۲- مقایسه حالت یک و پنج در کیلومتر ۳+۵۰۰

همانطور که در نمودارهای فوق مشاهده می شود، تجهیزات بکار برده شده در خط شامل Air Chamber ($15m^3$) در کیلومتر صفر، Valve Check در کیلومتر ۱+۴۴۰ و Air Valve در کیلومتر ۳+۵۰۰ ، باعث کنترل تغییرات فشار و نوسانات می شود ، به این صورت که در کیلومتر صفر این تغییرات از ۶۵ بار به ۱۷ بار کاهش و در کیلومتر ۳+۵۰۰ از ۳۰ بار به حدود ۱ بار می رسد و به نظر می رسد که نوسانات تا حد مطلوبی کنترل می شود. علاوه بر تعیین نقاط مناسب برای این طراحی دلیل این امر را می توان اینگونه توجیح کرد که تانک ضربه گیر با حجم ۱۵ متر مکعب به تنهایی تاثیر بسزایی در مهار ضربه قوچ دارد. همانطور که عنوان شد این سیستم شامل یک تانک است که تقریباً نصف آن آب و نصف آن هوای فشرده است وقتی فشار کاهش می یابد، هوا منبسط شده و آب را به داخل خط لوله می فرستد و در فاز فشار مثبت آب از داخل خط لوله به مخزن جریان پیدا می کند و هوایی را که منبسط شده است مجدداً فشرده می کند و به این ترتیب هم از کاهش و هم از افزایش غیر مجاز فشار در خط لوله جلوگیری می کند. همچنین نصب Air Valve به قطر ۱۵۰ میلیمتر در کیلومتر ۳+۵۰۰ که نقش آنها تخلیه هوا در زمان روشن شدن پمپ و ورود هوا در زمان خاموش شدن پمپ می باشد و نصب شیر یکطرفه Check Valve در کیلومتر ۱+۴۴۰ که سیال فقط از یک طرف آن می‌تواند وارد شود و زمانی که در یک مسیر قرار دارد جریان سیال از طریق مخالف آن غیر ممکن است، نشان می‌دهد که در نقاط مناسبی نصب شده‌اند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

هدف از این تحقیق، تحلیل یک مدل واقعی خط انتقال آب در جریان غیردائمی می باشد. همچنین تجهیزات و تمهیداتی برای کنترل ضربه قوچ در نظر گرفته شده است. مکان مورد بررسی شامل بازه ای به طول 5 کیلومتر که از ایستگاه پمپاژ گدار شروع و به مخزن تنگ مو خاتمه می یافت.

مهمترین نتایج حاصل از این تحقیق به شرح زیر می باشد:

۱-عدم استفاده از تمهیدات مهار ضربه قوچ منجر به ایجاد نوسانات زیادی در فشار، به واسطه خاموش و روشن شدن پمپ می شود.

۲-استفاده از Air Chamber ($15m^3$) نوسانات فشار را در ۱۰ ثانیه اول بعد از خاموش شدن پمپ در نقطه یک ۵۴ درصد و در نقطه دو ۶۶ درصد کاهش داد.

۳-استفاده از Air Chamber ($15m^3$) در نقطه یک و نصب شیر یکطرفه در کیلومتر ۳+۵۰۰ و ۱+۴۴۰ نوسانات فشار در ۱۰ ثانیه اول بعد از خاموش شدن پمپ را در نقطه یک ۷۰ درصد و در نقطه دو ۸۱ درصد کاهش داد.

۴-استفاده از Air Chamber ($15m^3$) در نقطه یک و نصب شیر یکطرفه در کیلومتر ۳+۵۰۰ و ۱+۴۴۰ و یک شیر تخلیه هوا در کیلومتر ۳+۵۰۰ نوسانات فشار در ۱۰ ثانیه اول بعد از خاموش شدن پمپ را در نقطه یک ۶۲ درصد کاهش و در نقطه دو ۲۶ درصد افزایش داد.

۵-استفاده از نصب Air Chamber ($15m^3$) در کیلومتر صفر، نصب شیر یکطرفه در کیلومتر ۱+۴۴۰ و شیر تخلیه هوا در کیلومتر ۳+۵۰۰ نوسانات فشار در ۱۰ ثانیه اول بعد از خاموش شدن پمپ را در نقطه یک ۷۴ درصد و در نقطه دو ۹۷ درصد کاهش داد.

۶-همیشه تجهیزات زیاد در طول خط انتقال آب باعث کاهش نوسانات نمی‌شود.

توصیه می‌شود در پروژه‌های آتی به هنگام طراحی، سناریوهای مختلف در نظر گرفته شود و با استفاده از مدل‌های عددی موجود نوسانات فشار کنترل گردد، که بتوان کارآمدترین و در عین حال اقتصادی ترین حالت برای مهار ضربه قوچ در نظر گرفته شود .

منابع

۱- نجمایی ، م (۱۳۷۲). انشارات علم و صنعت، ضربه قوچ.

۲- دانشفراز،ر.، 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، کرمان دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته– پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی.

۳- دانشفراز،ر. رادمهر ، ر. ماجدی اصل،م. (۱۳۹۱).

۴- بررسی پدیده ضربه قوچ در خطوط انتقال دشت عباس با مدل‌های مختلف، همایش ملی مهندسی آب و فاضلاب، کرمان دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته– پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی

۵- رضای، ح. نظری، پ. و شیخیوند، ج. (۱۳۹۱). بررسی پدیده ضربه قوچ در ایستگاه پمپاژ سد حسنلو در محدوده دریاچه ارومیه با استفاده از نرم افزارWater Hammer، یازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه ارومیه

6- Afshar,m.h. and rohani, m.(2008). water hammersimulation by implicit method of characteristic,international of pressur vessels and piping

7- Daneshfaraz, R. sadqfam, s. majedi-asl, M. (2011). The Effect of non-linear termson the process of computing water hammer with regard to friction coefficient for different cast iron pipes, international journal of engineer & applied sciences(ijeas),vol.3, issu3:15-22

8- Rohani, M. and Afshar, M.H. (2010). simulation of transient flow caused bu pump failure point-implicit method of characteristics, annuals of nuclear energy pp:1742-1750