بررسی اثرات غیرماندگاری افت بر سیستم انتقال آب نیروگاه برقابی

زهرا کنعانی تودشکی[1*] و منوچهر فتحی مقدم[2]

۱*- نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۳/۹/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۲۳

چکیده

شایع‌ترین عامل به وجود آورنده جریان غیر ماندگار، باز و بسته کردن شیرهای قطع و وصل جریان است. این عمل باعث انتشار امواج فشاری در سیستم می‌شود. شدت امواج فشاری به عواملی از قبیل نوع شیر، سرعت باز و بسته شدن شیر، هیدرولیک سیستم و خواص الاستیکی لوله‌ها بستگی دارد. یکی از مکان‌هایی که محاسبه ضربه قوچ در آن دارای اهمیت می‌باشد، سیستم انتقال آب نیروگاه‌های برقابی است. اگر در زمان بهره‌برداری از نیروگاه‌های برقابی به هر دلیل توربین از مدار خارج گردد، ضربه قوچ ایجاد می‌شود. وقوع این پدیده نه تنها به خطوط لوله، بلکه به توربین و تأسیسات نیروگاه خسارت وارد می‌کند. از این‌رو موضوع ضربه قوچ در سیستم انتقال آب نیروگاه‌های برقابی مورد توجه محققین بوده است. در این تحقیق برای بررسی تأثیر تنش برشی غیرماندگار بر اثر بستن سریع و آهسته شیر ویکت گیت از کد رایانه‌ای استفاده گردید. بدین منظور برای محاسبه تنش برشی از دو معادله اصطکاک دیلی و همکاران و معادله توسعه یافته برونی و همکاران در کد رایانه‌ای استفاده شد. نتایج به دست آمده حاکی از این است که در یک عدد رینولدز ثابت موج فشاری در سیکل اول، در هر دو روش اصطکاکی تقریباً یکسان بوده است و در سیکل‌های بعدی امواج فشاری حاصل از روش دوم(معادله توسعه یافته برونی و همکاران) میرایی بیشتری نسبت به زمان داشته است. در این‌صورت که در هر دو بستن سریع و آهسته شیر ویکت گیت بیشینه میرایی ، در حالت بدون بعد به‌طور متوسط، حدود 75درصد می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: جریان غیرماندگار، نیروگاه برقابی، اصطکاک غیرماندگار.

Evaluation of Unsteady Friction in Hydropower Plant Transport

Z. Kanani Toudeshki[1*] and M. Fathi Moghadam[2]

1*- M.Sc. Student, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
2- Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

Received:14 December 2014 Accepted: 13 June 2015

Abstract

The most common underlying cause of unsteady flow, opening and closing the valve fusing of current. This action will cause pressure waves in the system**.** Pressure wave speed depends on the type of valve, the valve opening and closing speed, hydraulics system and property of elastic pipes. One of places where it is important to calculate hammer, water conveyance systems are hydro power plants. If for any reason during the operation of the hydro power station turbines out of the circuit, the water hammer will be caused. This phenomenon not only pipelines, but also damage the turbine and power plant installation. Therefore, issue of water hammer in the transmission system is a concern for many researchers' hydro power plants. In this study to determine the effect of unsteady shear stress in fast and slow closing of the wicket gate valve used computer code. In order to calculate the shear stress from two equations Daily et al and the equation of friction developed Brunone et al a computer code was used. The results obtaines that the pressure wave in a fixed the Reynolds number in the first cycle was almost identical in both methods of friction and in the next cycle, pressure waves generated by the second method (equation developed Brunone et al) damping

is greater than the time. In which case, both fast and slow closing of the wicket gate valve, the non-dimensional maximum damping the second method by 75%.

Keywords: Unsteady flow, Hydropower plant, Unsteady friction.

مقدمه

جریان غیرماندگار در مهندسی آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ زیرا، این جریان می‌تواند باعث ایجاد فشارهای اضافی، کاویتاسیون و ارتعاش‌هایی در سیستم شود. میزان تخریب ناشی از جریان غیرماندگار در نیروگاه‌های برقابی، به عوامل مختلفی از قبیل تجهیزات به‌کار رفته در سیستم، خواص فیزیکی لوله‌ها، سیال و وجود هوا در آب بستگی دارد. بنابراین فشارهای ایجاد شده در سیستم، ممکن است در مدت کوتاهی آسیبی به سیستم وارد نکند، ولی تداوم ایجاد چنین فشارهایی که منجر به آسیب به سیستم می‌گردد، هزینه‌های هنگفتی را به بار می‌آورد(تائبی و چمنی، ۱۳۹۱). اگرچه طراحی سیستم‌های انتقال آب با استفاده از روابط جریان ماندگار صورت می گیرد، اما بررسی و پیش‌بینی دقیق آثار غیرماندگاری جریان در این سیستم‌ها از جنبه‌های مختلف ضروری است. غیرماندگاری جریان در مجاری تحت فشار(سیستم‌های انتقال آب) می‌تواند به تولید فشارهای بزرگی منجر شود که امنیت و عملکرد معمول سیستم را به مخاطره می اندازد. سیستم‌های هیدرولیکی نیاز به دانش دقیق از چگونگی رفتار جریان گذرا دارد. مدل‌های دیفرانسیل یک بعدی و دو بعدی موجود در مدل‌های تجاری بر مبنای چندین فرضیه نامطمئن شکل گرفته است. این مدل‌ها بر مبنای این فرض که هیچ‌گونه گردابه حلزونی در هنگام وقوع جریان گذرا شکل نمی‌گیرد، به‌دست آمده است. درحالی‌که در مدت زمان کوتاهی بعد از عبور موج، جریان معکوسی به طول کم، به طور همزمان در بالا و همچنین در کف لوله نمایان می‌گردد که باعث ناپایداری جریان، تشکیل گردابه و عدم تقارن جریان نسبت به محور لوله می‌گردد، که خود باعث تشکیل تنش برشی بزرگی می‌شود. در صورتی‌که در مدل‌های شبه ماندگار بعد از قطع جریان تنش برشی صفر می‌شود، معادله مورد استفاده در مدل‌های تجاری شبه ماندگار به شرح ذیل است(دیلی و همکاران[1]، ۱۹۵۶):

$$\tau_{ws} = \frac{\rho f(t)|V(t)|V(t)}{8} \qquad (۱)$$

که در آن$\tau_{ws}(t)$: تنش برشی جداره در حالت شبه پایدار و تابعی از زمان می‌باشد. استفاده از روابط تنش برشی جداره در حالت ماندگار برای حالت غیرماندگار، در جریان میرای بسیار کند، قابل قبول می‌باشد که در واقع این نوع جریان‌ها، جریان‌های ضربه قوچ محسوب نمی‌شود. علت تفاوت نتایج در مدل‌های عددی و نتایج آزمایشگاهی به دلیل استفاده از تنش برشی ماندگار یا همان معادله دارسی وایسباخ برای حالت غیرماندگار است. مدل‌های بسیاری به منظور توصیف افت‌های اضافی ناشی از غیرماندگاری جریان معرفی شده‌اند. گروهی از این مدل‌ها، افت‌های اضافی اصطکاک را وابسته به تاریخچه شتاب‌های وزنی در حین پدیده گذرا و گروهی دیگر وابسته به شتاب لحظه‌ای جریان می‌دانند. توسعه گروه اول این مدل‌ها توسط زیلک[2](۱۹۶۸) آغاز گردید. در این مدل تنش برشی لحظه‌ای دیواره (که مستقیماً متناسب است با افت اصطکاک) برابر است با مجموع مقادیر شبه ماندگار به علاوه یک تابع وزنی که از تغییرات گذشته سرعت به‌دست می‌آید. این روش برای جریان گذرای آرام ارائه شده است. واردی و همکاران[3](۱۹۹۳) رابطه زیلک را برای جریان آشفته با رینولدز کم در لوله‌های صاف گسترش دادند. واردی و براون[4](۱۹۹۵) برای لوله صاف با رینولدزهای بالا روابط را گسترش دادند و در نهایت منجر به تولید مدلی برای رژیم آرام تا رینولدزهای بالا شد.

در گروه دوم مدل‌های ذکر شده، فرض می شود تنش برشی ناشی از غیرماندگاری جریان با شتاب جریان متغیر متناسب است. این روش توسط یک گروه محقق به سرپرستی دیلی معرفی شد(دیلی و همکاران، ۱۹۵۶). ضریب تناسب، بر پایه اندازه گیری‌های انجام شده توسط کارتنس و رولر[5](۱۹۵۹) وضع شد. نتایج ارائه شده توسط دیلی، توسط برونی و همکاران(۱۹۹۵) توسعه یافت. در رابطه ارائه شده توسط برونی و همکاران[6] (۱۹۹۵) پارامتر شتاب مکانی و شتاب زمانی در معادله تنش برشی منظور می‌گردد.

دوئن و همکاران[7] (۲۰۱۲) در پژوهشی به بررسی اثر مقیاس به خصوص قطر و طول لوله روی اصطکاک گذرا پرداختند. در این پژوهش شیر کامل و ناگهانی بسته می‌شود، پارامترهای مورد مطالعه قطر، طول و عدد رینولدز می‌باشد. نتایج نشان داد که اصطکاک غیرماندگار میرایی کمتری نسبت به اصطکاک ماندگار دارد. دوئن و همکاران(۲۰۱۲) علت این تفاوت را در دو مورد بیان نمودند:
نسبت زمان رفت و برگشت موج به انتشار امواج شعاعی افزایش پیدا می‌کند.

1- Daily *et al.*

2- Zielke
3- Vardy *et al.*
4- Brunone
5- Carstens and Roller
6- Brunone *et al.*
7- Duan *et al.*

افزایش عدد رینولدز

ریاسی و همکاران(۲۰۱۰) در مقاله‌ای اثر مخازن موج شکن را روی جریان گذرای تولید شده توسط تغییرات گشودگی دریچه توربین، به صورت مدل عددی و به روش غیرماندگار بررسی نمودند. نتایج بررسی نشان داد که وجود مخازن موج شکن در بالادست و پایین دست توربین موجب تعدیل فشار ایجاد شده می‌گردد. فتحی مقدم و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی به مطالعه موردی سد مارون پرداخته و در روش تحقیق خود با استفاده از الگوریتم ژنتیک و ایجاد جریان غیرماندگار به تعیین قطر بهینه مخازن موج‌شکن پرداخته شد. حال با توجه به اهمیت پدیده ضربه قوچ و گستردگی آن در شرایط مختلف، در این تحقیق سعی شده تأثیر تنش برشی غیرماندگار بر میزان میرایی امواج فشاری تعیین شود.

مواد و روش‌ها

تحلیل جریان گذرا

معادله‌های حاکم بر مجاری تحت فشار شامل معادله‌های دیفرانسیل هذلولوی یک‌بعدی می‌باشد و به عنوان معادله‌های پیوستگی و مومنتوم معرفی می‌گردد.

$$\frac{\partial H}{\partial t} + a^2 \frac{\partial V}{\partial x} = 0 \qquad (۲)$$

$$\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{\rho}\frac{4\tau}{D} + g\sin\theta + \frac{dV}{dt} = 0 \qquad (۳)$$

که در آن، $H(x,t)$: ارتفاع پیزومتریک و $V(x,t)$: میانگین سرعت طولی تنش برشی دیواره به صورت مجموعه‌ای از تنش برشی شبه ماندگار و تنش برشی غیرماندگار تعریف می‌گردد(دیلی و همکاران، ۱۹۵۶):

$$\tau_w(t) = \tau_{ws}(t) + \tau_{wu}(t) \qquad (۴)$$

بخش شبه ماندگار از طریق *معادله*(۱) حل می‌گردد. جهت تخمین تنش برشی غیرماندگار از معادله‌های دیلی و همکاران(۱۹۵۶) و معادله توسعه یافته برونی و همکاران(۱۹۹۵) استفاده گردید. معادله‌های ذکر شده به ترتیب به صورت زیر است:

$$t_w(t) = t_{ws} + \frac{KpD}{4}\frac{\partial V}{\partial t} \qquad (۵)$$

$$t_w(t) = t_{ws}(t) + \frac{1}{gA}\left(K_1\frac{\partial V}{\partial t} - K_{2a}\left(\frac{\partial V}{aX}\right)\right) \qquad (۶)$$

شرایط مرزی

مخزن بالادست

در یک مخزن بزرگ در بالادست جریان، معمولاً می‌توان خط هیدرولیکی را در طی یک جریان گذرا ثابت در نظر گرفت، در واقع از افت سرعت و افت‌های ورودی در محل مخزن چشم پوشی نمود(چوهدری[8]،۲۰۱۴؛ فتحی مقدم و همکاران، ۲۰۱۳). این شرط مرزی بیان می‌کند:

$$H(X_0, t) = H_{Res} \qquad (۷)$$

که در آن X_0: موقعیت مخزن می‌باشد.

شیر

روابط روزنه برای محاسبه دبی عبوری از شیر در لحظه t استفاده می‌گردد(چوهدری،۲۰۱۴؛ فتحی مقدم و همکاران، ۲۰۱۳). در واقع شیر ویکت گیت به‌عنوان یک شیر با ضریب تخلیه ثابت در نظر گرفته می‌شود(ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱).

$$Q = Q_0\frac{A_g}{A_g 0}\left(\frac{H}{H_0}\right)0.5 \qquad (۸)$$

که در آن $H_0=H(0)$، $Q_0=Q(0)$ و $A_{g0}=A_g(0)$ به‌عنوان شرایط اولیه شیر شناخته می‌شوند و هد لحظه‌ای و دبی لحظه‌ای بر اساس روابط سطح مقطع شیر در هر زمان به‌دست می‌آیند. سطح مقطع شیر بر اساس منحنی گشودگی شیر نسبت به زمان موجود است.

اتصال لوله‌های سری

به طور کلی نیروگاه‌های برقابی تشکیل شده از یک یا چند تونل بتنی بزرگ که به یک یا چند لوله تحت فشار پنستاک متصل شده، در محل اتصالات مجموع دبی برابر صفر و افت بار در اتصالات بین دو لوله برابر می‌گردد.

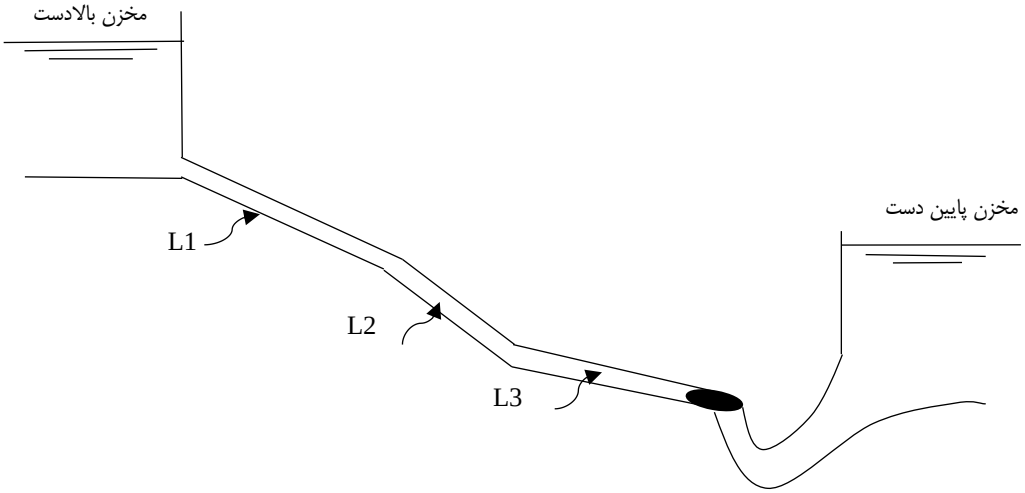
مطالعه موردی

برای بررسی تغییرات فشار بر اثر وقوع جریان گذرا در نیروگاه برقابی به مطالعه موردی نیروگاه برقابی سد کارون چهار پرداخته شده است. سد کارون چهار در استان چهارمحال و بختیاری در چهار کیلومتری محل رودخانه‌های بازفت و ارمند قرار گرفته است. این نیروگاه با ظرفیت ۲۰۰۰ مگاوات(۱۰۰۰مگاوات برای توسعه) درحال بهره برداری می‌باشد. جدول (۱) مشخصات اصلی این نیروگاه را نشان می‌دهد. شمای کلی از نیروگاه در شکل(۱) ارائه شده است. جدول(۲) مشخصات فیزیکی لوله‌های سیستم انتقال آب نیروگاه را نشان می‌دهد.

8- Choudhry

جدول ۱- مشخصات اصلی نیروگاه برقابی کارون چهار

توان تولیدی (مگاوات)	تراز مخزن بالادست (متر از سطح دریا)	تراز مخزن پایین دست (متر از سطح دریا)	تراز توربین (متر از سطح دریا)	دبی عبوری (متر مکعب بر ثانیه)	موقعیت دریچه (درصد)
۲۹۵	۱۰۲۵	۸۴۳٫۲	۸۴۵٫۴	۱۷۸٫۵	۱۰۰



شکل۱- شمای کلی از نیروگاه برقابی کارون ٤

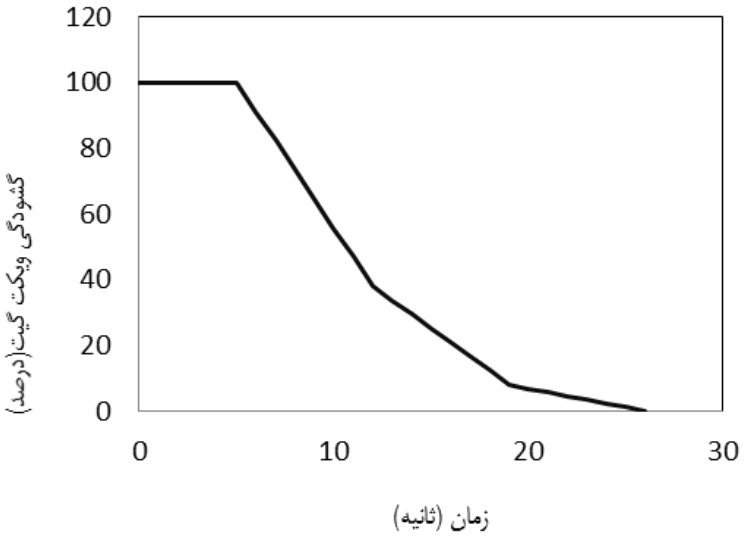
جدول ۲- مشخصات فیزیکی لوله‌های نیروگاه برقابی کارون ٤

شماره لوله	قطر لوله(متر)	طول لوله (متر)
L۱	۶٫۵	۱۲۰
L۲	۶	۱۸۵٫۷۵
L۳	۵	۱۴٫۹

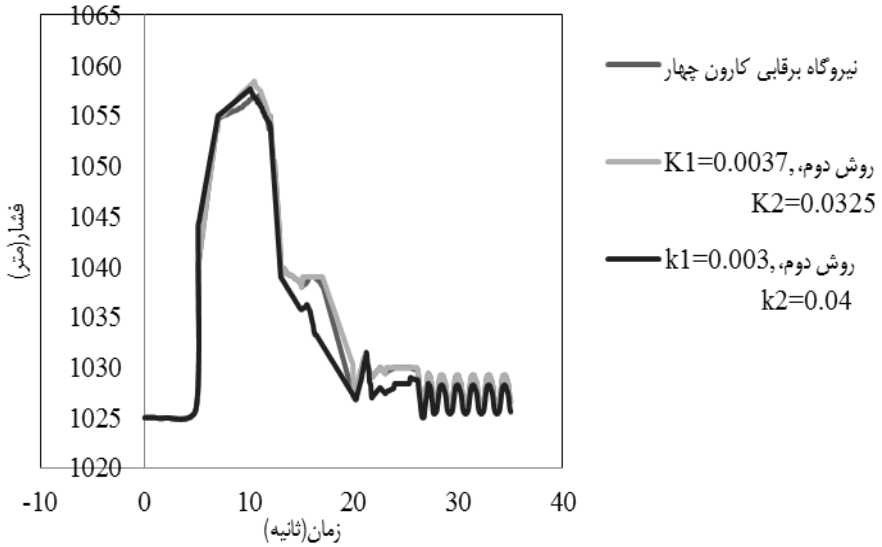
نتایج و بحث

اعتبار بخشی به کد رایانه‌ای

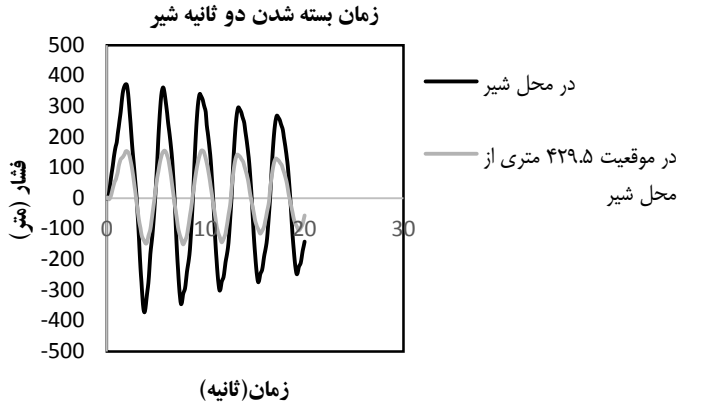
در این تحقیق به بررسی اثر بستن سریع و آهسته شیر در نیروگاه، با دو روش اصطکاک غیر ماندگار(معادله‌های ۵ و۶) پرداخته شده است. به منظور تخمین نتایج قابل اعتماد رابطه تنش برشی غیرماندگار، ضرایب معادله(۶) واسنجی گردید. برای تعیین ضرایبK_1 و K_2به مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی و نتایج گزارش شده از نیروگاه در زمان بهره برداری پرداخته شد. شکل (۲) منحنی فرمان بستن شیر در نیروگاه کارون چهار و شکل(۳) نتایج مقایسه بین داده‌های گزارش شده نیروگاه و نتایج حاصل از مدل را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ضرایب K_1=0/0037 و K_2=0/0325 نتایج نزدیک‌تری نسبت به نتایج گزارش شده نیروگاه نشان می‌دهد.



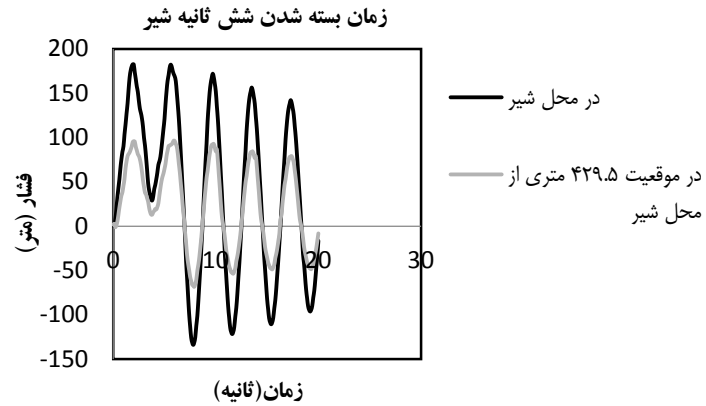
شکل۲- منحنی فرمان بستن شیر نیروگاه برقابی کارون چهار



شکل ۳- مقایسه نتایج حاصل از کد رایانه‌ای و نتایج نیروگاه در بستن ۲۶ ثانیه



(الف)



(ب)

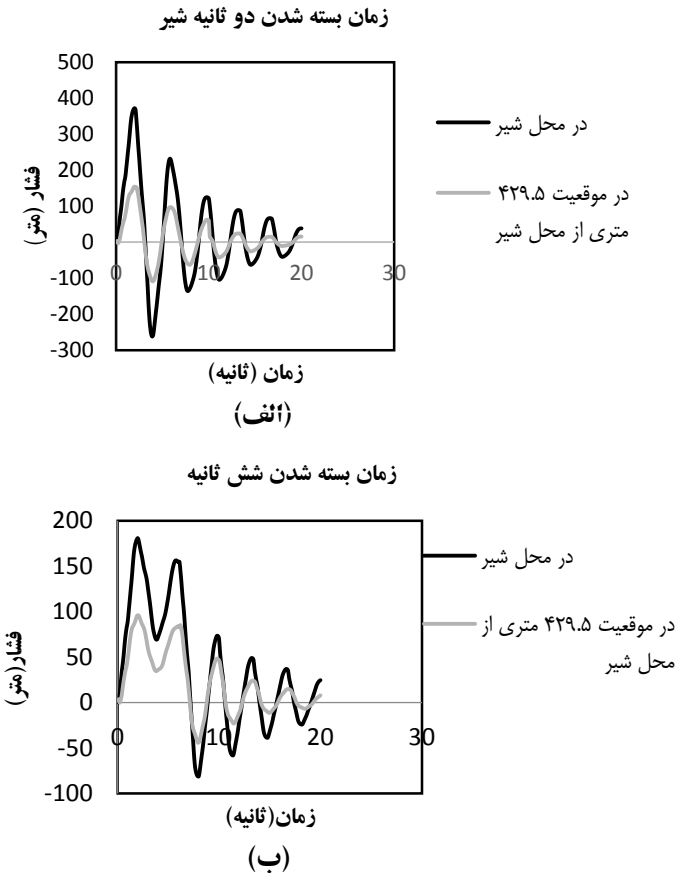
شکل ٤- تغییرات فشار در روش اول، الف): بستن سریع ، ب): بستن آهسته

بعد از تعیین ضرایب، برای تخمین تنش برشی به شبیه سازی در دو حالت اصطکاکی در بستن‌های سریع و آهسته شیر نیروگاهی پرداخته شد. آرایش بستن شیر به صورت خطی و مطابق با رابطه آزوری و همکاران[9](۱۹۸۶) صورت گرفت. این رابطه به شرح ذیل است:

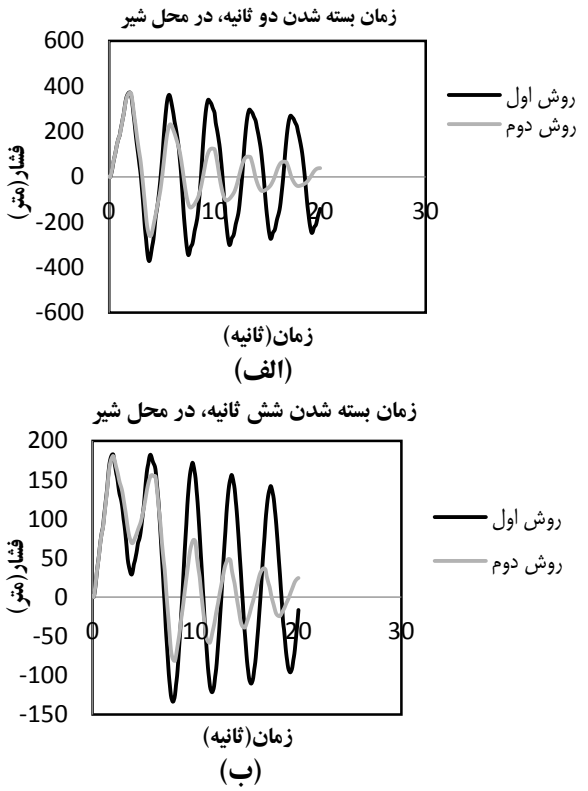
$$\tau = (1 - \frac{t}{t_c})^m \qquad (۹)$$

برای بستن خطی پارامترm موجود در معادله(۹) برابر یک در نظر گرفته می‌شود، برای مقایسه نتایج حاصل از دو روش اصطکاکی محاسبه شده در مدل، شبیه سازی در بستن‌های خطی با زمان‌های دو و شش ثانیه صورت گرفت. معادله(۵) به کار رفته در مدل برای تخمین تنش برشی، روش اول نام‌گذاری شده است و نتایج حاصل از روش اصطکاکی معادله(۶)، روش دوم نام‌گذاری شده است.

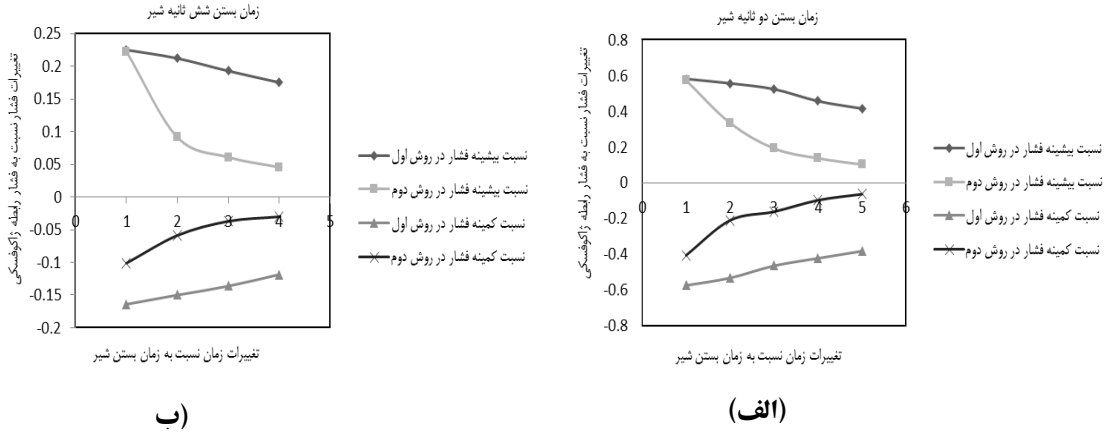
9- Azoury *et al.*



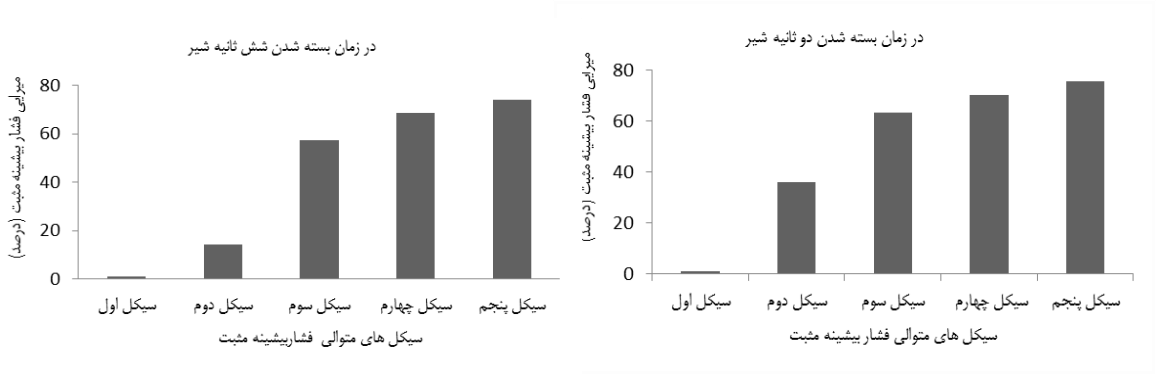
شکل۵- تغییرات فشار در روش دوم، الف):بستن سریع، ب): بستن آهسته



شکل ٦- مقایسه میرایی با زمان در هر دو روش اصطکاکی، الف): بستن سریع، ب): بستن آهسته



شکل ۷- منحنی بی‌بعد تغییرات فشار نسبت به زمان در هر دو روش اصطکاکی در محل شیر، الف): بستن‌سریع، ب): بستن آهسته



(الف) **(ب)**

شکل ۸- نسبت میرایی بیشینه فشاری روش دوم نسبت به روش اول، الف): در زمان بسته شدن دو ثانیه، ب) در زمان بسته شدن شش ثانیه

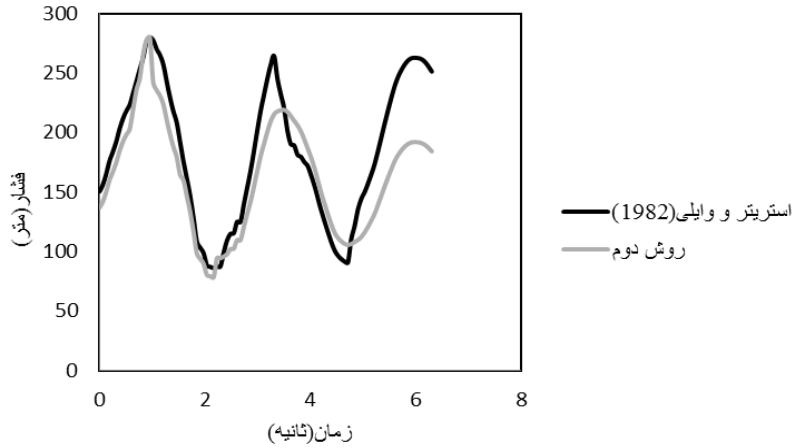
جدول ۳- مشخصات مدل شبیه سازی استریتر و وایلی(۱۹۸۲)

ارتفاع مخزن بالادست(متر)	طول لوله (متر)	قطر لوله (متر)	ضریب دارسی وایسباخ	سرعت موج (متر بر ثانیه)
۱۵۰	۱۲۱/۱	۰/۵	۰/۰۱۸	۱۲۰۰

برای بررسی تغییرات فشار در روش اول و دوم در زمان‌های دو و شش ثانیه در محل شیر و در فاصله ۴۲۹/۵ متری به صورت شکل‌های (۴ الف و ب) و (۵ الف و ب) ارائه شده است. با توجه به ثابت بودن ارتفاع سطح آب مخزن نتایج نشان دهنده حداکثر اختلاف فشار در محل شیر($x=0$) می‌باشد. در بستن سریع شیر، موج فشاری ایجاد شده بعد از انتشار و یک رفت و برگشت کامل به محل شیر بسته برخورد کرده و موجب تشکیل فشار منفی می‌گردد. در حالی‌که در بستن آهسته موج بعد از انتشار در ابتدا فرصت ایجاد فشار منفی را نداشته، در واقع بعد از یک رفت و برگشت از شیر به مخزن و بالعکس، مجدداً به شیر نیمه باز برخورد می‌کند. به همین دلیل در بستن آهسته شکل موج فشاری شامل دو فشار بیشینه مثبت می‌باشد.

برای مقایسه نتایج حاصل از دو روش تخمین اصطکاک غیرماندگار، نتایج در شکل‌های(۶ الف و ب) و (۷ الف و ب) ارائه گردید. نتایج مشاهده شده در شکل (۶) نشان می‌دهد که مقدار اولیه فشار بیشینه در هر دو روش اصطکاکی غیرماندگار در بستن‌های سریع و آهسته تقریباً یکسان بوده و در سیکل‌های بعدی موج فشاری بیشینه در روش دوم(معادله توسعه یافته برونتی و همکاران، ۱۹۹۵) مقدار کمتری داشته است. شکل(۷ الف و ب) به مقایسه نسبت فشار اندازه‌گیری شده به فشار حاصل از معادله ژاکوفسکی نسبت به زمان بسته شدن شیر پرداخته شده است(تائبی و چمنی، ۱۳۹۱). همانطور که مشاهده می‌شود اختلاف فشارهای مثبت و منفی در روش دوم در هر دو زمان بسته شدن با گذشت زمان کمتر شده و در واقع موج سریع‌تر به میرایی می‌رسد. شکل(۸ الف و ب) نسبت میرایی امواج فشاری مثبت روش دوم را در دو بستن سریع و آهسته نسبت به روش اول(معادله دیلی و همکاران، ۱۹۵۶) نشان می‌دهد، همانطور که در شکل نشان داده شده تفاوت درصد میرایی در سیکل‌پنجم به طور متوسط به حدود ۷۵درصد می‌رسد، به این معنی که با گذشت زمان امواج فشاری ایجاد شده با روش دوم به تعدیل می‌رسد. در واقع تنش برشی موجب استهلاک امواج فشاری ایجاد شده می‌گردد. در معادله(۶) تنش برشی با لحاظ نمودن اینرسی در معادله‌های به‌دست آمده است، در حالی‌که معادله تنش برشی(معادله ۵)، برگرفته از معادله تنش شبه ماندگار توسط دیلی و همکاران(۱۹۵۶) استخراج گردید، در این معادله پارامتر اصطکاک وابسته به شتاب زمانی می‌باشد. بنابراین با توجه به مطالبی که گفته شد، در هنگام وقوع جریان گذرا، جریان معکوسی در بالا و کف لوله به طول کم پدیدار می‌شود و منجر به ایجاد گرادیان معکوس در این نواحی شده که خود، باعث ایجاد تنش برشی بزرگی می‌شود. در این تحقیق همچنین به مقایسه نتایج حاصل از تحقیقات استریتر و وایلی[1](۱۹۸۲) و نتایج حاصل از کد رایانه‌ای پرداخته شد. در جدول (۳) مشخصات مدل استریتر و وایلی(۱۹۸۲) ارائه شده است. جهت مقایسه نتایج اصطکاک غیرماندگار و مدل بدون اصطکاک شکل (۹) ارائه شده است.

1- Streeter and Wylie



شکل ۹- مقایسه نتایج تغییرات فشار در روش‌های بدون اصطکاک و اصطکاک غیرماندگار

همان‌طور که مشاهده می‌شود، تغییرات میرایی در روش دوم نسبت به روش بدون اصطکاک(معادلات دارسی وایسباخ) در طی زمان کوتاهی صورت می‌گیرد. به کار بردن معادله (۱) جهت محاسبه ضربه قوچ در سیستم‌های انتقال آب فرضیه نادرستی است، زیرا با بسته شدن شیر و توقف جریان سرعت به صفر رسیده بنابراین مطابق با معادله(۱) تنش برشی صفر می‌شود. با صفر شدن تنش برشی امواج فشاری ایجاد شده بر اثر وقوع جریان گذرا مستهلک نمی‌گردد، بنابراین موج بعد از گذشت چندین سیکل به میرایی نمی‌رسد(برونتی و همکاران، ۲۰۰۰؛ چوهدری،۲۰۱۴). لازم به ذکر است، برونتی و همکاران(۲۰۰۰) نشان دادند که تفاوت بین مدل‌های ضربه قوچ موجود(دارسی وایسباخ) و داده‌های آزمایشگاهی در شرایط وجود گردابه در جریان(جریان ناپایدار) بعد از گذشت شش سیکل موج تا 100درصد می‌رسد. این تفاوت معنی دار بین مدل‌ها و داده‌های آزمایشگاهی نشان دهنده اثر زیاد ناپایداری بر جریان میرا می‌باشد، لذا از تأثیر آن نمی‌توان چشم پوشی نمود.

نتیجه گیری

مدل‌های دیفرانسیلی یک بعدی و دو بعدی حاکم بر جریان‌های میرا، که هم‌اکنون در مدل‌های تجاری رایج می‌باشد، برمبنای، چندین فرضیه نامطمئن و ضعیف بنا نهاده شده است، که محدود کننده کاربرد این معادله‌ها در همه‌ی شرایط کاری، که جریان میرا در آن‌ها به وقوع می پیوندد، می‌باشد. مدل‌های جریان میرای موجود بر پایه این فرض که هیچ‌گونه گردابه حلزونی هنگام وقوع ضربه قوچ در جریان پدیدار نمی‌شود، به دست آمده است (یعنی فرض بر این است که جریان هنگام رخ دادن جریان میرا، به صورت پایدار باقی می ماند). در این تحقیق با استفاده از دو روش اصطکاک غیر ماندگار اقدام به مدل‌سازی سیستم انتقال آب نیروگاه در حین وقوع جریان گذرا بر اثر بستن شیر ویکت گیت شد. نتایج مربوط به مقایسه دو روش اصطکاکی غیر ماندگار، در حالت بدون بعد به‌طور متوسط، بیشینه میرایی(امواج فشاری مثبت) ۷۵ درصدی هر دو روش را نسبت به روش بدون اصطکاک(معادله دارسی وایسباخ) نشان داد. همچنین مقایسه بی‌بعد نتایج، نیز نشان‌دهنده کاهش اختلاف فشار-های بیشینه و کمینه در روش دوم با گذشت زمان است. نتایج هر دو روش نشان داد که بستن سریع شیر موجب وقوع فشارهای مخرب می‌گردد.

منابع

۱- تائبی، ا. و چمنی، م. ۱۳۹۱. شبکه‌های توزیع آب شهری. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.

2- Azoury, P.H., Basiiri, M. And H. Najm. 1986. Effect of valve closure on water hammer. Journal of Hydraulic Engineering, 112: 890-903.

3- Brunone, B., Golia, U. M. and M.Greco. 1995. Effects of two dimensionality on pipe transients modeling. Journal of Hydraulic Engineering, 121(12): 906–912.

4- Brunone, B., Karney, B. W., Mecarelli, M. And M. Ferrante. 2000. Velocity profiles and unsteady pipe friction in transient flow. Journal of Water Resources Planning and Management, 126(4): 236–244.

5- Carstens, M. R. and J. E. Roller. 1959. Boundary-shear stress in unsteady turbulent pipe flow. Journal of Hydraulic Division American Society of Civil Engineers, 85(2): 67–81.

6- Choudhry, M.H. 2014. Applied hydraulic transient. (Third Edition),Springer.

7- Daily, J. W., Hankey, W. L., Olive, R. W. and J. M. Jordaan. 1956. Resistance coefficients for accelerated and decelerated flows through smooth tubes and orifices. Trans, American Society of Mechanical Engineers, 78: 1071–1077.

8- Duan, H.F., Ghidaoui, M.S. and Y.K. Tung. 2012. Relevance of unsteady friction to pipe size and length in pipe fluid transients. Journal of Hydraulic Engineering,138: 154-166.

9- Fathi.Moghadam, M., Haghighipour, S. and H.Mohammad.Vali. Samani. 2013. Design variable optimization of hydropower tunnels and surge tanks using a genetic algorithm. Journal of Water Resources Planning and Management, 139: 200-208.

10- Riasi, A., Raisee, M. And A. Nourbakhsh. 2010. Simulation of transient flow in hydroelectric power plants using unsteady friction. Journal of Mechanical Engineering, 56(6): 377-384.

11- Streeter, V. L. and E. B. Wylie. 1982. Hydraulic Transients. McGraw-Hill, New York.

12- Vardy, A. E., Hwang, K. L. and J. M. B. Brown. 1993. A weighting model of transient turbulent pipe friction. Journal of Hydraulic Research, 31: 533–548.

13- Vardy, A.E. and J.M.B. Brown. 1995. Transient, turbulent, smooth pipe friction. Hydraulic Research, 33(4): 435-455.

14- Zhang, Q., Karney, B., Suo, L. and F. Colombo. 2011. Stochastic analysis of water hammer and applications in reliability-based structural design for hydro turbine penstocks. American Society of Civil Engineers,Journal of Hydraulic Engineering, 137(11): 1509-1521.

15- Zielke,. W. 1968. Frequency-dependent friction in transient pipe flow. American Society of Mechanical Engineers, Journal of Basic Engineering,90(1): 109–115.

.