

## Experimental Estimation of Head Loss Coefficient and Performance of Discharge Control Valve

NARGES MEHRI<sup>1</sup>, MOHAMMAD BIJANKHAN<sup>1\*</sup>

1. Water Sciences and Engineering Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.  
(Received: Jan. 26, 2019- Revised: March. 14, 2019- Accepted: June. 1, 2019)

### ABSTRACT

Discharge control valve is a device for volumetric water delivery purposes without using electronic facilities. For analytical modeling of pressurized pipe networks, valves are introduced with their head loss properties. Therefore, any information about the valve head loss is very crucial. In this study, the head loss coefficient in discharge control valves is estimated. For this purpose, control valves were fabricated for the design discharges of 5 and 10 l/s and their performances were tested experimentally. The results indicated that the discharge control valves could accurately deliver an almost constant discharge, irrespective to the pressure fluctuations. The head-loss of entrance and all parts of the valve were investigated experimentally. Measuring the associated head loss coefficients indicated that the entrance head loss is significant in low differential pressures. Also, it was observed by increasing the differential pressure, the total head loss increases as well. From the hydraulic point of view, the main reason creating a relatively constant discharge through the valve is increasing/decreasing the head-loss proportional to increasing/decreasing the differential pressure. Finally, based on Buckingham analysis, empirical formulas were presented to define the head-loss coefficients.

**Key words:** Discharge control valve, Head-loss coefficient, Volumetric water delivery,

## برآورد آزمایشگاهی ضریب افت انرژی و عملکرد شیر کنترل دبی

نرگس مهری<sup>۱</sup>، محمد بی‌جن‌خان<sup>۱\*</sup>

۱. گرایش سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران  
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۶ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱۲/۲۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۳/۱۱)

## چکیده

شیر کنترل دبی یکی از سازه‌هایی است که بدون استفاده از تمهیدات الکترونیکی فقط با انجام برخی اقدامات مکانیکی می‌تواند برای تحویل آب به صورت حجمی در خطوط لوله مورد استفاده قرار گیرد. برای مدل‌سازی ریاضی شبکه‌های تحت فشار، شیرفلکه‌ها با مقادیر افت آنها (یا روند تغییرات افت) به برنامه‌ها معرفی می‌شوند. از این رو، اطلاع از روند تغییرات افت در هر نوع از شیرفلکه‌ها بسیار ضروری است. در تحقیق حاضر به برآورد ضریب افت انرژی در شیرهای کنترل دبی پرداخته شده است. برای این منظور، شیرهای کنترل برای دبی‌های طراحی ۵ و ۱۰ لیتر بر ثانیه ساخته شدند و عملکرد آنها به صورت آزمایشگاهی آزمون گردید. نتایج نشان داد که شیر کنترل دبی می‌تواند با دقت مطلوبی علی‌رغم تغییرات فشار، دبی تقریباً ثابتی را تحویل دهد. میزان افت انرژی ناشی از قسمت ورودی شیر کنترل دبی و کل سازه به صورت جداگانه مورد بررسی آزمایشگاهی قرار گرفت. با اندازه‌گیری ضریب افت انرژی در ورودی سازه و همچنین افت کل سازه مشاهده شد که در فشارهای پایین، میزان ضریب افت انرژی در ورودی جریان تأثیر بسزایی در افت کل دارد. همچنین ملاحظه شد که با افزایش اختلاف فشار بین بالادست و پایین‌دست سازه، ضریب افت انرژی کل افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر به لحاظ هیدرولیکی عامل اصلی ثابت ماندن دبی در شیرهای کنترل، تغییرات هوشمند افت متناسب با افزایش یا کاهش اختلاف فشار در خط انتقال است. در انتها با انجام آنالیز ابعادی روابطی تجربی برای محاسبه ضریب افت ارائه شد.

واژه‌های کلیدی: تحویل حجمی آب، شیر کنترل دبی، ضریب افت انرژی

## مقدمه

به دلیل کمبود آب و نیز استفاده بهینه از ذخایر موجود، توزیع عادلانه آب در بین زمین‌های زراعی از اهمیت زیادی برخوردار است. همچنین تحویل آب آبیاری به صورت حجمی یکی از روش‌هایی است که به کشاورزان این امکان را می‌دهد تا متناسب با نوع کشت و سطح اراضی زیر کشت، آب دریافت نمایند. در این صورت تا حد زیادی از تلفات بی‌رویه آب جلوگیری می‌شود. هم‌اکنون سازه‌های مختلفی برای کنترل و اندازه‌گیری سیالات در صنعت و کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

شیرهای توپی، پروانه‌ای، کروی و سوزنی از جمله ابزارهایی می‌باشند که برای کنترل و تنظیم جریان در سیستم‌های تحت فشار به کار می‌روند. عملکرد شیر توپی (Ball Valve) در شرایط ماندگار علاوه بر هندسه شیر و درصد بسته بودن آن، وابستگی بسیاری به نوع رژیم جریان (عدد رینولدز) دارد (Ferreira et al., 2018). زمانی که شیر کاملاً باز باشد، نوع رژیم جریان به صورت آرام یا بینابین است ( $Re < 400$ )، در این حالت نیروی ویسکوزیته به نیروی اینرسی غالب است و ضریب افت انرژی افزایش می‌یابد. اما زمانی که جریان آشفته است، شیر یک

رفتار یکنواخت از خود نشان داده و مقدار افت تقریباً ثابت خواهد شد که این پدیده یکی از ویژگی‌های ذاتی هر شیر می‌باشد (Ferreira et al., 2018).

به لحاظ هیدرولیکی، سازه‌های تنظیم‌کننده جریان با ساختار و ویژگی‌های منحصر به فرد خود می‌توانند میزان افت در یک شبکه آبیاری را با توجه به هدف طرح تا حد موردنیاز کاهش یا افزایش دهند و به این وسیله، میزان عبور جریان در سیستم را کنترل نمایند. روش‌ها و سازه‌های گوناگونی برای اندازه‌گیری دبی در شبکه‌های آبیاری وجود دارد. یکی از اجزای اصلی در طراحی، تنظیم و عملیات یک سیستم لوله بسته، شیر کنترل است (Rahmeyer and Driskell, 1985). شیرهای کنترل به طور گسترده‌ای در شبکه توزیع آب مورد استفاده قرار گرفته و با استفاده از آنها جریان و فشار را در شبکه مدیریت می‌کنند (Gorev et al., 2016). نرم‌افزارهای بسیاری برای مدل‌سازی شبکه توزیع آب وجود دارد که یکی از رایج‌ترین آنها که همواره مورد تأیید جامعه مدل‌سازی هیدرولیکی است، EPANET 2 version 2.00.12 نام دارد. در تمام مدل‌های ریاضی، برای تعریف یک شیرفلکه لازم است تا منحنی رفتار افت انرژی آن شیرفلکه

کارکرد ۱ تا ۱۰ متر و ۳ تا ۱۵ متر طراحی کنند. عواملی مانند کاهش قطر دوک و یا تغییر در فاصله‌ی نصب دوک تا روزنه (b)، باعث اصلاح و نزدیک شدن نرخ جریان به دبی طراحی می‌شود. از آنجا که کاهش قطر دوک نیاز به صرف زمان و هزینه‌ی بالایی نسبت به مورد دیگر دارد، به همین دلیل به بررسی اثر محل نصب دوک نسبت به روزنه پرداخته و مشاهده شد، هرچه در مقاطع مختلف میزان b افزایش یابد، میزان دبی عبوری از شیر کنترل به دبی طراحی نزدیک‌تر می‌شود (Atashparvar et al., 2019). در نهایت برای شیر کنترل ۱۰ لیتر بر ثانیه، مقدار b برابر ۱۹/۱ mm و برای شیر کنترل ۵ لیتر بر ثانیه، مقدار b برابر ۱۰ mm انتخاب شد.

به طور کلی زمانی که سیال از یک لوله عبور می‌کند به دلیل اصطکاک در طول لوله (افت اصطکاک) و یا تغییر ناگهانی سطح مقطع جریان و وقوع آشفتگی (افت موضعی)، جریان مقاومت کرده و افت انرژی رخ می‌دهد. بدون اطلاع از افت موضعی ناشی از انواع شیرها امکان بکارگیری از آنها در مدل‌سازی‌های عددی وجود ندارد. لذا مطالعات زیادی در خصوص برآورد میزان افت انرژی در سازه‌های مختلف صورت گرفته است. در سابقه مطالعات، اطلاعاتی در خصوص ضرایب افت شیر کنترل دبی مورد مطالعه قرار گرفته است که در این تحقیق موجود نیست. از این رو با توجه به اهمیت روند تغییرات این پارامتر، در این تحقیق به اندازه‌گیری افت انرژی ناشی از اجزای شیر کنترل دبی (نگه-دارنده‌ها) در شیرهای با دبی طراحی ۵ و ۱۰ لیتر بر ثانیه پرداخته شده است. با تعیین ضریب افت انرژی (K)، روند تغییرات این پارامتر، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افت انرژی در شیرهای خودکار کنترل دبی مقدار ثابتی نیست و تابعی از تغییرات فشار در سیستم است. منحنی‌های مربوط به افت کل و افت در قسمت ورودی شیر کنترل دبی ارائه شده است. همچنین بر پایه آنالیز ابعادی باکینگهام روابطی تجربی برای محاسبه افت موضعی کل شیر کنترل دبی ارائه شد.

## مواد و روش‌ها

### مجموعه آزمایشگاهی

برای انجام این پژوهش از تجهیزات آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) استفاده شده است. شکل ۲، نمای شماتیکی از اجزای مورد استفاده در این آزمایش را نشان می‌دهد. برای تأمین آب از یک مخزن ذخیره‌ای با حجم ۱۳ مترمکعب استفاده شد. پمپ گریز از مرکزی با دبی پمپاژ ۳۰ لیتر بر ثانیه، آب را از مخزن گرفته و به لوله‌ها می‌رساند و در انتها، جریان دوباره به داخل مخزن بر می‌گردد. با استفاده از تنظیم‌کننده دور

را برای مدل از قبل تعریف کرد. (Gorev et al., 2016) روشی را ارائه کردند که بتوان بدون هیچ‌گونه اصلاحی در حل‌گرهای هیدرولیکی، با تعریف افت شیر کنترل دبی به مدل‌سازی شبکه انتقال آب تحت فشار پرداخت.

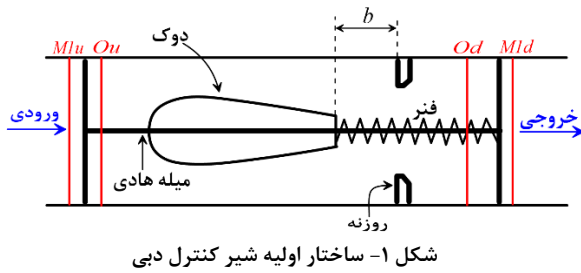
زمانی که نیاز به اندازه‌گیری دقیق جریان و افت کم باشد، جریان‌سنج‌های ونتوری از گزینه‌های مرسوم می‌باشند. در سازه‌های اندازه‌گیری جریان لازم است تا افت انرژی به حداقل مقدار ممکن برسد. طبق آزمایش‌های صورت‌گرفته توسط Sharp et al. (2018)، با استفاده از روش‌های عددی می‌توان به پیش‌بینی افت فشار دائمی در بسیاری از طرح‌های ونتوری پرداخت به طوری که کوچک‌ترین تغییر در زاویه قسمت مخروطی شکل ونتوری متر منجر به افزایش چشمگیر میزان افت انرژی می‌شود. در این راستا Sharp et al. (2018) نوعی از ونتوری متر را با بهینه‌سازی شکل قسمت مخروطی ارائه کردند که کمترین افت را داشته باشد.

Zhang and Wang (2015) برای اولین بار طرح اولیه یک شیر کنترل دبی را برای سیالات تراکم ناپذیر مطرح نمودند. با توجه به شکل ۱، شیر کنترل دبی متشکل از یک دوک است که بر روی میله هادی سوار است و در میان یک صفحه روزنه‌دار به صورت محور گونه‌ای حرکت می‌کند. در قسمت پایین دست، دوک به یک فنر متصل شده است که انتهای آن به یک نگه‌دارنده مثلثی شکل بسته شده است. میله هادی از هر دو طرف به وسیله نگه‌دارنده‌ها ثابت می‌شود (Zhang and Wang, 2015). این سازه به نوسانات فشار در بالادست و پایین دست حساس بوده و تنها با انجام یکسری اقدامات مکانیکی قادر است میزان جریان (۰/۴ لیتر بر ثانیه) را در محدوده‌ی اختلاف فشار ۶ تا ۷۰ کیلو پاسکال، با انحراف  $\pm 4\%$  ثابت نگه دارد.

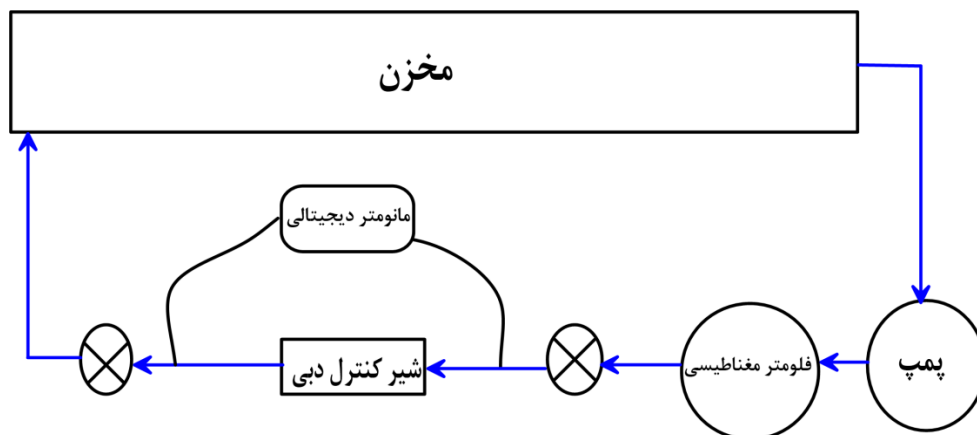
Rezazadeh et al. (2019) به توسعه محدود کاربرد شیر کنترل دبی پرداخت. وی این سازه را برای دبی‌های ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ لیتر بر ثانیه در محدوده فشار کارکرد ۱ تا ۷ متر و ۱ تا ۲۰ متر طراحی و مورد بررسی قرار داد. برای این منظور، وی با بررسی میزان جریان عبوری از یک استوانه سیلندری شکل، رابطه‌ای برای برآورد نرخ جریان بر اساس اختلاف فشار بدست آورد و با بررسی نتایج حاصل، شکل دوک را طراحی نمود. Rezazadeh et al. (2019) همچنین به بررسی اثر نامناسب نصب اجزای شیر کنترل و اثر خستگی فنر پرداخت و به این نتیجه رسید که تغییرات ضریب خستگی فنر تا میزان ۱۰٪ تأثیر چندانی بر روی عملکرد شیر کنترل دبی ندارد.

Atashparvar et al. (2019) ضوابط طراحی شیر کنترل دبی را برای ظرفیت‌های بالا ارائه کردند. ایشان توانستند این سازه را برای دبی‌های ۵ و ۱۰ لیتر بر ثانیه به ترتیب در محدوده فشار

موتور پمپ، می توان دبی های متفاوتی که منجر به ایجاد فشارهای مختلفی در سیستم می شود را ایجاد نمود. با استفاده از یک فلومتر مغناطیسی سه اینچی، میزان جریان های عبوری از سیستم قرائت گردید. همان طور که در شکل ۲) ملاحظه می شود، شیر کنترل جریان برای دبی های ۵ و ۱۰ لیتر بر ثانیه در سیستم جایگذاری شد. با نصب پیزومترهایی در مقاطع Od, Ou, M1d و M1u (مطابق با شکل ۱)، فشار هر نقطه توسط یک فشارسنج دیجیتالی با دقت  $\pm 0.5\%$ ، اندازه گیری و ثبت شد.



شکل ۱- ساختار اولیه شیر کنترل دبی



شکل ۲- نمای شماتیکی از مجموعه آزمایشگاهی

شده است به همین دلیل، دوک از روزنه عبور کرده، سطح مقطع روزنه افزایش یافته و دبی نیز با افزایش فشار، افزایش می یابد. به عبارت دیگر، هیچ کنترلی بر روی نرخ جریان وجود ندارد. در شکل ۳)، نحوه عملکرد شیر کنترل ۱۰ لیتر بر ثانیه، نشان داده شده است. در این شیر کنترل نیز زمانی که فشار به محدوده ۳ متر می رسد، شیر شروع به کار کرده و میزان دبی تا به نزدیکی دبی طراحی (۱۰ لیتر بر ثانیه) افزایش می یابد و تا اختلاف فشار ۱۵ متر، همواره نرخ جریان را در محدوده معینی از دبی طراحی قرار می دهد. به بیان دیگر در شیر کنترل دبی ۱۰ لیتر بر ثانیه، ابتدا با افزایش فشار، دبی عبوری از شیر کنترل کمی بیشتر از دبی طراحی (۱۰ لیتر بر ثانیه) می باشد. اما با افزایش بیشتر اختلاف فشار بین بالادست و پایین دست سازه در محدوده اختلاف فشار ۳ تا ۱۵ متر، وجود شیر کنترل دبی منجر به تنظیم جریان عبوری تقریباً ثابتی (در محدوده ۱۰ لیتر بر ثانیه) شده است.

### برآورد افت موضعی ناشی از شیر کنترل دبی

برای محاسبه افت موضعی ناشی از اجزای مختلف شیر کنترل دبی، معادله برنولی در دو مقطع دلخواه بین بالادست و پایین دست شیر کنترل دبی، با فرض توزیع یکنواخت سرعت و فشار، به صورت زیر خواهد بود:

در هر آزمایش پس از نصب شیر کنترل دبی به ازای اختلاف فشارهای مختلف، فشار در مقاطع بالادست و پایین دست شیرهای کنترل دبی اندازه گیری شد. داده برداری تا زمانی انجام گرفت که میزان اختلاف فشار در شیر کنترل دبی، در محدوده فشار کارکرد آنها (شیر ۵ لیتر بر ثانیه، با اختلاف فشار ۱ تا ۱۰ متر و شیر ۱۰ لیتر بر ثانیه با اختلاف فشار ۳ تا ۱۵ متر) قرار بگیرد.

### طراحی و ساخت شیرهای کنترل دبی

در این تحقیق، شیرهای کنترل دبی ۵ و ۱۰ لیتر بر ثانیه بر اساس روش طراحی ارائه شده توسط (Atashparvar et al., 2019)، طراحی و ساخته شدند. (شکل ۳)، نمودار تغییرات دبی در مقابل اختلاف فشار در شیر کنترل های ساخته شده را نشان می دهد. همان طور که در شکل ۳) مشاهده می شود، ابتدا با افزایش فشار، جریان به نزدیکی دبی طراحی (۵ لیتر بر ثانیه) می رسد. پس از رسیدن دوک به روزنه که تقریباً در فشار یک متر رخ می دهد، به مرور با افزایش فشار، دوک به داخل روزنه رفته و سطح مقطع مؤثر جریان کاهش می یابد. این امر سبب می شود تا میزان دبی با افزایش فشار به صورت تقریباً ثابت و در محدوده دبی طراحی ۵ لیتر بر ثانیه باقی بماند. اما زمانی که فشار از ۱۰ متر بیشتر می شود، دبی نیز با افزایش فشار به صورت صعودی افزایش می یابد. زیرا به شیر کنترل دبی فشاری بیش از محدوده کارکرد آن وارد

که در آن،  $K =$  ضریب افت،  $g =$  شتاب ثقل ( $m/s^2$ ) و  $\Delta H =$  میزان افت انرژی ( $m$ ) است. با عبور جریان از روزنه و تشکیل جریان‌های مرده در پشت آن، پدیده انقباض رخ می‌دهد. در نتیجه، جریان با افت شدید فشار همراه می‌شود. همزمان با کاهش فشار، سرعت افزایش یافته و به طبع میزان افت انرژی در مقطع پایین دست Od (که از رابطه برنولی بدست می‌آید) کمتر محاسبه می‌شود. از این رو با وقوع پدیده انقباض در پایین دست روزنه (Od) و ایجاد فشرده‌گی و اغتشاش در توزیع خطوط جریان که با افزایش سرعت و افت فشار همراه است، فرض توزیع یکنواخت سرعت و فشار در مقطع Od (شکل ۱) معتبر نخواهد بود. و از برآورد میزان افت موضعی در مقطع پایین دست روزنه (Od) صرف‌نظر می‌شود. چنین فرضی قبلاً نیز توسط Rahmeyer and Driskell (1985) برای مطالعه شیرهای کنترل دبی ذکر شده است. شایان ذکر است که با نوشتن معادله انرژی بین مقاطع M1d و M1u (مطابق با شکل ۱) افت انرژی کل سازه به دلیل وجود شیر کنترل دبی بدست می‌آید.

$$\frac{P_u}{\gamma} + \frac{V_u^2}{2g} + z_u = \frac{P_d}{\gamma} + \frac{V_d^2}{2g} + z_d + \Delta H \quad (1 \text{ رابطه})$$

در این رابطه پانویس‌های  $d$  و  $u$  به ترتیب مربوط به مقاطع بالادست و پایین دست می‌باشند،  $p =$  فشار،  $v =$  سرعت جریان،  $z =$  رقوم ارتفاعی و  $\Delta H$  افت انرژی موضعی می‌باشند.

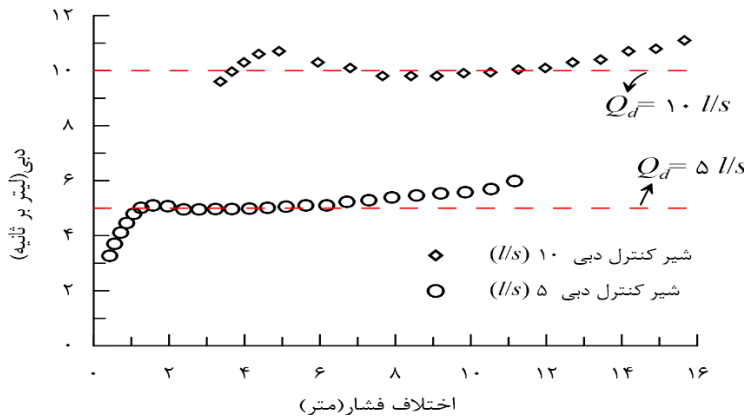
با این فرض که شیر به صورت افقی نصب شده باشد ( $z_u = z_d$ ) و مقاطع پایین دست و بالادست مساوی باشند افت موضعی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\Delta H = \frac{P_u}{\gamma} - \frac{P_d}{\gamma} \quad (2 \text{ رابطه})$$

با توجه به رابطه (رابطه ۲)، با قرائت فشار در مقطع بالادست و پایین دست شیر کنترل دبی، افت اجزای مختلف شیر برآورد می‌شود.

برای محاسبه ضریب افت موضعی نیز از رابطه تجربی زیر استفاده می‌شود:

$$\Delta H = K \frac{V^2}{2g} \quad (3 \text{ رابطه})$$



شکل ۳- نحوه عملکرد شیر کنترل ۵ و ۱۰ لیتر بر ثانیه

$$\pi_3 = \frac{\mu}{D^{\frac{3}{2}} \rho g^{\frac{1}{2}}} \quad (7 \text{ رابطه})$$

از ترکیب  $\pi_1$  و  $\pi_3$  داریم:

$$\pi_{1,3} = \frac{\pi_1}{\pi_3} = \frac{Q}{D^{\frac{5}{2}} g^{\frac{1}{2}}} \cdot \frac{D^{\frac{3}{2}} \rho g^{\frac{1}{2}}}{\mu} = \frac{\rho Q}{\mu D} = Re \quad (8 \text{ رابطه})$$

که در آن  $Re$  عدد رینولدز است.

$$K_T = f\left(\frac{Q}{D^{\frac{5}{2}} g^{\frac{1}{2}}}, \frac{\Delta P}{D \rho g}, Re\right) \quad (9 \text{ رابطه})$$

از آنجایی که شیر کنترل جریان، دبی تقریباً ثابتی ایجاد می‌کند در نتیجه پارامتر بدون بعد  $Q/D2.5g0.5$  همواره تقریباً عدد ثابتی است و می‌توان از اثر آن در رابطه ابعادی صرف‌نظر کرد.

برای بررسی تغییرات ضریب افت شیر کنترل دبی می‌توان از نظریه بدون بعدسازی باکینگهام (Barenblatt 1979, 1987) استفاده کرد. در این راستا رابطه ابعادی زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$K_T = f(Q, \Delta P, D, \rho, g, \mu) \quad (4 \text{ رابطه})$$

در این رابطه  $\rho$  و  $\mu$  به ترتیب چگالی و لزوجت سیال می‌باشند.

با در نظر گرفتن  $g$ ،  $D$  و  $\rho$  به عنوان متغیرهای تکراری پارامترهای بدون بعد زیر بدست می‌آیند:

$$\pi_1 = \frac{Q}{D^{\frac{5}{2}} g^{\frac{1}{2}}} \quad (5 \text{ رابطه})$$

$$\pi_2 = \frac{\Delta P}{D \rho g} \quad (6 \text{ رابطه})$$

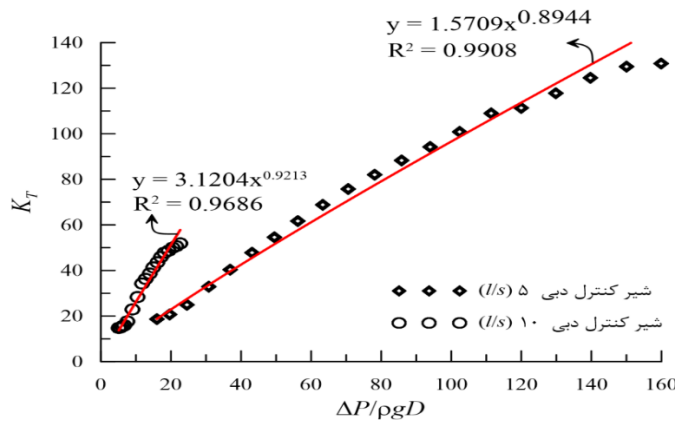
که در آن  $\alpha$  و  $\beta$  ضرایب ثابتی هستند که باید با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی تعیین گردند. در شکل ۴، روند تغییرات ضریب افت انرژی کل ( $K_T$ ) در مقابل  $\Delta P/D\rho g$  رسم شده است. بر این اساس ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  برای شیرهای کنترل دبی ۵ و ۱۰ لیتر بر ثانیه به ترتیب برابر  $۱/۵۷۰۹$  و  $۰/۸۹۴۴$  و  $۳/۱۲۰۴$  و  $۰/۹۲۱۳$  می‌باشند.

نتایج نشان می‌دهد که با افزایش اختلاف فشار، ضریب افت شیرفلکه نیز افزایش می‌یابد. حال آنکه در شیرفلکه‌های دیگر ضریب افت معمولاً عدد ثابتی در نظر گرفته می‌شود. به صورت کلی با افزایش اختلاف فشار عملکرد شیر کنترل دبی به گونه‌ای است که باعث افزایش افت موضعی شده و به لحاظ هیدرولیکی این امر دلیل اصلی توانایی این سازه برای ثابت نگه‌داشتن دبی عبوری از آن می‌باشد.

همچنین با توجه به آزمایش‌های انجام‌شده، عدد رینولدز در محدوده  $۶۳/۱۲ \times ۱۰^۶$  تا  $۱۴۲/۳۸ \times ۱۰^۶$  قرار دارد. از آنجایی که جریان کاملاً آشفته در تمام آزمایش‌ها برقرار بوده است لذا می‌توان از اثر عدد رینولدز نیز صرف‌نظر کرد. در نتیجه ضریب افت را می‌توان فقط به عنوان تابعی از  $\Delta P/\rho g D$  در نظر گرفت.

با توجه به تئوری خود شبیه ناقص (-Incomplete Self-Similarity) هرگاه یکی از پارامترهای مستقل بدون بعد به سمت صفر یا بینهایت میل کند، اگر پارامتر وابسته نیز به سمت صفر یا بینهایت میل کند، در این صورت می‌توان پارامتر بدون بعد را از معادله ابعادی خارج کرد و به صورت توانی نوشت (Barenblatt 1979, 1987; Bijankhan et al. 2014; Di Stefano et al. 2016). در نتیجه رابطه (۹) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

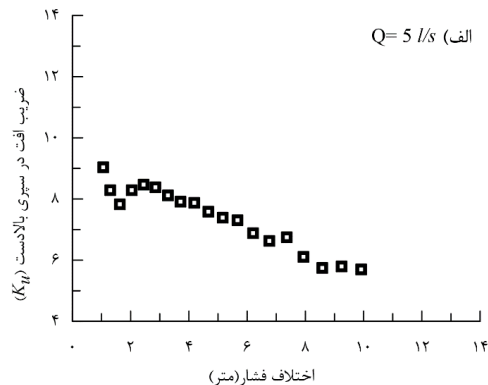
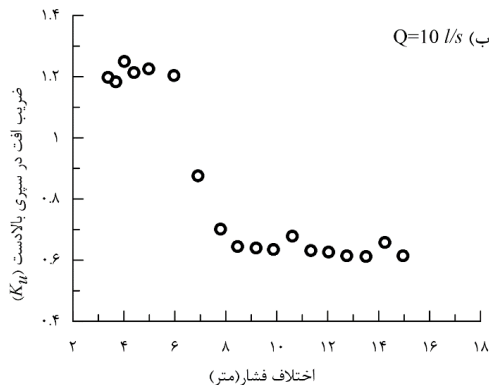
$$K_T = \alpha \left( \frac{\Delta P}{D\rho g} \right)^\beta \quad (\text{رابطه } ۱۰)$$



شکل ۴- روند تغییرات ضریب افت انرژی کل ( $K_T$ ) در شیر کنترل ۵ و ۱۰ لیتر بر ثانیه

می‌توان گفت با افزایش فشار، میزان ضریب افت انرژی کاهش پیدا کرده است. در اختلاف فشارهای پایین، حدود ۵۰٪ از مقدار افت کلی مربوط به افت در محل ورود جریان به شیر کنترل است. اما در اختلاف فشارهای بالاتر مقدار افت در ورودی شیر کنترل نسبت به کل افت بسیار ناچیز می‌باشد.

با نوشتن معادله انرژی بین مقاطع  $M1u$  و  $Ou$  (مطابق با شکل ۱) افت انرژی در محل ورودی شیر کنترل دبی که ناشی از وجود یک سپری در بالادست آن است، بدست می‌آید. شکل (۵) میزان تغییرات افت ضریب انرژی ناشی از سپری بالادست ( $K_H$ ) را برای دبی ۵ و ۱۰ لیتر بر ثانیه نشان می‌دهند. در هر دو شکل



شکل ۵- تغییرات ضریب افت در سپری بالادست ( $K_H$ ) در مقابل اختلاف فشار، الف) شیر کنترل دبی ۵ لیتر بر ثانیه ب) شیر کنترل دبی ۱۰ لیتر بر ثانیه

اختیار داشت. نتایج آزمایشگاهی این تحقیق نشان داد که با افزایش فشار سیستم، افت ضریب انرژی در کل سازه به صورت صعودی افزایش می‌یابد. این امر سبب می‌شود تا شیر کنترل بتواند همواره دبی برابر دبی طراحی از خود عبور دهد. در اختلاف فشارهای پایین (که هنوز دوک در محل اصلی خود مستقر نشده است) افت ناشی از سپری بالادست سهم قابل توجهی از افت کل سازه را به خود اختصاص می‌دهد. اما با افزایش اختلاف فشار، میزان افت انرژی در کل سازه سهم بسیار بیشتری از افت ناشی از سپری بالادست را به خود اختصاص می‌دهد. در نهایت با استفاده از آنالیز ابعادی، پارامترهای بدون بعد مؤثر در افت شیر کنترل دبی شناسایی شدند و یک رابطه تجربی برای محاسبه ضریب افت کل سازه ارائه شد. تعارض منافع

## نتیجه‌گیری

شیر کنترل دبی سازه‌ای است که به نوسانات فشار در بالادست و پایین دست شبکه حساس نیست و قادر است تا همواره دبی تقریباً ثابتی را از خود عبور دهد. از این رو، شیر کنترل دبی می‌تواند برای تقسیم عادلانه‌ی آب در بین اراضی کاربرد فراوانی داشته باشد. در این مطالعه نوعی از شیرهای کنترل دبی مورد بررسی آزمایشگاهی قرار گرفت. نتایج نشان داد که این سازه قادر است تا در محدوده اختلاف فشار طراحی، دبی تقریباً ثابتی را تحویل دهد. با توجه به سابقه مطالعات هیچ اطلاعاتی از ضرایب افت شیر کنترل دبی بررسی شده در این تحقیق وجود ندارد. حال آنکه در تمام برنامه‌های مرتبط با مدل‌سازی خطوط تحت فشار انتقال آب برای معرفی شیرها لازم است تا اطلاعات مربوط به افت آنها را در

## REFERENCES

- Atashparvar, S., Bijankhan, M., and Mahdavi Mazdeh, A. (2019). "Application of constant flow rate control valve in pump discharge regulation." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, (Accepted for publication).
- Barenblatt, G. I. (1979). Similarity, self-similarity and intermediate asymptotics. Consultants Bureau, NY.
- Barenblatt, G. I. (1987). *Dimensional analysis*. Gordon & Breach, Science Publishers, Amsterdam, Netherlands.
- Bijankhan, M., Di Stefano, C., Ferro, V., and Kouchakzadeh, S. (2014). "New stage-discharge relationship for weirs of finite Crest length." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 140(3).
- Ferreira, J. P. B. C. C., Martins, N. M. C., and Covas, D. I. C. (2018). "Ball Valve Behavior under Steady and Unsteady Conditions." 144(4), 1–12.
- Gorev, N. B., Kodzheshirova, I. F., and Sivakumar, P. (2016). "Modeling of Flow Control Valves with a Nonzero Loss Coefficient." *Journal of Hydraulic Engineering*, (10.1061/ (ASCE) HY. 1943-7900.0001197), 06016017-1–3.
- Rahmeyer, W., and Driskell, L. (1985). "CONTROL VALVE FLOW COEFFICIENTS By." *Journal of Transportation Engineering*, 111(4), 358–364.
- Rezazadeh, P., Bijankhan, M., and Mahdavi Mazdeh, A. (2019). "An Experimental study on a flow control device applicable in pressurized networks." *Flow Measurement and Instrumentation*.
- Sharp, Z. B., Johnson, M. C., and Barfuss, S. L. (2018). "Optimizing the ASME Venturi Recovery Cone Angle to Minimize Head Loss." *Journal of Hydraulic Engineering*, 144(1), 1–9.
- Di Stefano, C., Ferro, V., and Bijankhan, M. (2016). "New theoretical solution of the outflow process for a weir with complex shape." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 142(10).
- Zhang, X. kai, and Wang, D. (2015). "A flow control device for incompressible fluids." *Flow Measurement and Instrumentation*, Elsevier, 41, 165–173.