

## مطالعه آزمایشگاهی عملکرد شیر کنترل دبی: اثر خستگی فنر و مونتاژ قطعات

فاطمه طیبی<sup>۱</sup>، محمد بی‌جن خان<sup>۲\*</sup> و هادی رضانی اعتدالی<sup>۳</sup>

۱، ۲ و ۳- به ترتیب: دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی؛ استادیار؛ و دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۷/۶

### چکیده

در سامانه‌های آبیاری تحت فشار، توزیع یکنواخت آب اهمیت بالایی دارد. یکی از ابزارهایی که به این منظور به کار می‌رود شیر کنترل دبی است. شیر کنترل دبی مورد مطالعه در این تحقیق قطعه‌ای است دوکی شکل و به واسطه وجود یک فنر، به نحوی در روزه‌ای با قطر مشخص حرکت می‌کند که با تغییر فشار، همواره دبی تقریباً ثابتی از خود عبور دهد. مبانی طراحی شیر کنترل دبی مورد مطالعه سال ۲۰۱۵ ارائه شد اما تاکنون به تولید صنعتی نرسیده است. این نوع شیر می‌تواند در سامانه‌های آبیاری نواری کم‌فشار به کار رود. خستگی فنر و نحوه نصب قطعات ممکن است عملکرد شیر کنترل دبی را تحت تأثیر قرار دهد. در این تحقیق به بررسی آزمایشگاهی این عوامل بر عملکرد این شیر پرداخته شده است و محدوده مجاز تغییرات آنها به شکلی که تأثیر قابل توجهی روی عملکرد شیر کنترل دبی نداشته باشد به دست آمد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که اگر فاصله نصب دوک از روزه،  $h$  و سختی فنر،  $k$ ، به ترتیب تا ۸۲ و ۱۵ درصد بیشتر از مقادیر طراحی تغییر کند، عملکرد شیر کنترل دبی کمتر از ۵ درصد تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. تغییرات سختی فنر که ناشی از خستگی آن در دوره کارکرد شیر کنترل دبی است، می‌تواند بر عملکرد شیر کنترل دبی تأثیر گذارد. نتایج تحقیق همچنین نشان داد که برای شیرهای کنترل دبی  $0/4$  و  $0/6$  لیتر بر ثانیه، به ترتیب تنها ۶ و ۳ درصد می‌توان خستگی فنر را نسبت به مقدار طراحی کمتر در نظر گرفت.

### واژه‌های کلیدی

تغییرات فشار، دبی ثابت، خستگی فنر، شیر کنترل دبی

### مقدمه

ابزارهای کنترل جریان در لوله‌های تحت فشار به کار گرفته می‌شوند.

رحمیر و دریسکل (Rahmeyer & Driskell, 1985) نحوه محاسبه ضریب دبی شیرهای کنترل جریان و دو روش محاسبه ضریب دبی را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که برای طراحی شیرهای کنترل دبی لازم است ضریب جریان مناسب انتخاب شود. جریان‌های غیرماندگار درون لوله‌های تحت فشار و افزایش ناگهانی فشار داخل لوله‌ها از دلایل ترکیدن آنها و وارد شدن خسارت به

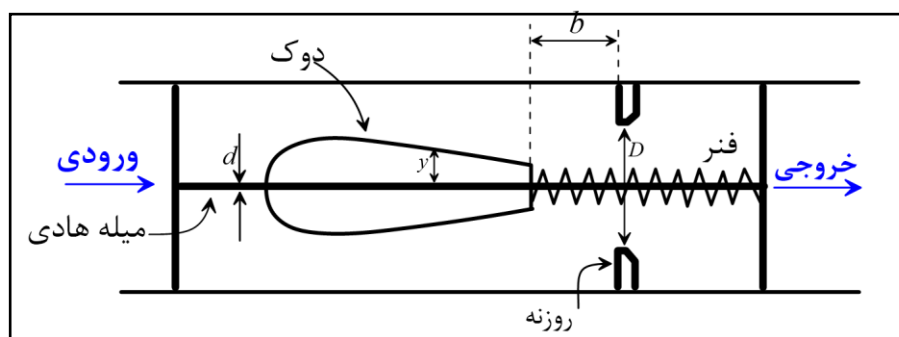
یکی از مسائل بهره‌برداری در سیستم‌های آبیاری، ثابت نگه‌داشتن دبی با وجود تغییر فشار است. از دلایل تغییر فشار که در زمین‌های کشاورزی وجود دارد می‌توان به تغییرات شیب زمین، افت‌های هیدرولیکی طولی و موضعی، و مقادیر برداشت متفاوت اشاره کرد. از این‌رو سازوکاری که بتواند با وجود تغییرات فشار، دبی تقریباً ثابتی تأمین کند بسیار کاربردی خواهد بود. شیر توپی، شیر پروانه‌ای، شیر کره‌ای و شیرهای سوزنی معمولاً به‌عنوان

بخش سوپاپ شیر، آن را اصلاح کردند. این محققان شیر اصلاح شده را آزمایش و با یک مدل اصلاح نشده دیگر مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات طراحی بر کاهش میزان خلأزایی موثر است.

ژانگ و وانگ (Zhang & Wang, 2015)، برای اولین بار اصول بنیادی طراحی نوعی شیر کنترل دبی را ارائه دادند (شکل ۱)؛ این نوع شیر تاکنون به تولید صنعتی نرسیده است. شیر پیشنهادی، از دو نگهدارنده در ورودی و خروجی، فنر، دوک، میله هادی و یک روزنه تشکیل شده است. زمانی که سیال به انتهای دوک برخورد کند، نیروی وارده دوک را حرکت می‌دهد و فنر فشرده می‌شود. در نتیجه، دوک به روزنه می‌رسد و شیر کنترل دبی شروع به کار می‌کند.

سامانه هستند (Brunone & Morelli, 1999; Nerella & Rathnam, 2015). فریرا و همکاران (Ferreira et al., 2018) روی رفتار شیر توپی<sup>۱</sup> در شرایط جریان ماندگار و غیر ماندگار تحقیق کردند و به این نتیجه رسیدند که رفتار شیر توپی علاوه بر شرایط فیزیکی آن، مانند میزان بازشدگی، به شدت وابسته به رژیم جریان است. بر این اساس، آنها رفتار هیدرولیکی شیرهای توپی را به دو دسته استاتیکی و دینامیکی تقسیم کردند.

ژو و همکاران (Xu et al., 2018) در بررسی اثر خلأزایی روی شیر کنترل فشار از طریق محاسبات دینامیکی، تغییراتی در طراحی این شیر دادند و برای کاهش خلأزایی در ورودی شیر با اضافه کردن یک روزنه در مرکز جت خروجی از شیر و ایجاد شیارهایی نازک در



شکل ۱- نمایی از شیر کنترل دبی و اجزای تشکیل‌دهنده آن

Fig. 1- Schematic view and components of a MCOP

که در آن،  $\Delta P$  = اختلاف فشار بین بالادست و پایین‌دست قطعه دوکی شکل؛  $\rho$  = جرم حجمی آب؛  $Q$  = دبی جرمی؛  $\alpha$  = ضریب دبی؛ و  $A$  = ناحیه مؤثر سطح مقطع جریان که با رابطه ۲ بیان می‌شود.

ژانگ و وانگ (Zhang & Wang, 2015) برای طراحی شیر کنترل دبی، ابتدا شکل دوک و تأثیر آن را بر میزان جریان عبوری بررسی و برای محاسبه میزان جریان عبوری از روزنه از رابطه ۱ استفاده کردند.

$$A = \pi \left[ \left( \frac{D}{2} \right)^2 - y^2 \right] \quad (2)$$

$$Q = \alpha A \sqrt{2\rho\Delta P} \quad (1)$$

$$\Delta P = \frac{F_s}{\pi \left[ y^2 - \left( \frac{d}{2} \right)^2 \right]} = \frac{KL}{\pi \left[ y^2 - \left( \frac{d}{2} \right)^2 \right]} \quad (6)$$

اگر اختلاف فشار لازم برای رسیدن قطعه دوکی به محل روزنه برابر  $\Delta P_1$  باشد و  $b$  فاصله انتهایی دوک از روزنه در نظر گرفته شود، رابطه دبی عبوری از شیر کنترل به صورت رابطه ۷ است.

$$Q = \alpha \pi \left[ \left( \frac{D}{2} \right)^2 - y_0^2 \right] \sqrt{2\rho \Delta P_1} \quad (7)$$

$$\Delta P_1 = \frac{Kb}{\pi \left[ y_0^2 - \left( \frac{d}{2} \right)^2 \right]} \quad (8)$$

که در آن،

$y_0$  کمترین شعاع مقطع عرضی دوک. از ترکیب رابطه‌های ۷ و ۸، رابطه ۹ به دست می‌آید.

$$b = \frac{\pi \left[ \frac{(D^2 - d^2)}{4} - \frac{Q}{\alpha \pi \sqrt{2\rho \Delta P_1}} \right] \times \Delta P_1}{K} \quad (9)$$

به‌ازای اختلاف فشارهای بیشتر از  $\Delta P_1$  اگر جابه‌جایی فنر  $x$  باشد، مقدار کل جابه‌جایی دوک  $L$  از رابطه ۱۰ به دست می‌آید.

$$L = x + b \quad (10)$$

با قرار دادن رابطه‌های ۸ و ۱۰ در رابطه ۱، رابطه ۱۱ برای محاسبه شکل دوک به دست می‌آید (Zhang & Wang, 2015).

$$y = \sqrt{\left( \frac{D}{2} \right)^2 + \frac{T}{2} \left[ \frac{T}{x+b} - \sqrt{\left( \frac{T}{x+b} \right)^2 + \frac{D^2 - d^2}{x+b}} \right]} \quad (11)$$

که در آن،

$y$  = شعاع مقطع عرضی دوک و  $D$  = قطر داخلی روزنه (شکل ۱).

با توجه به تعادل نیروهای فنر و فشار هیدرواستاتیکی جریان، رابطه ۳ بیان می‌شود (Zhang & Wang, 2015).

$$F_s = KL = F_p \quad (3)$$

که در آن،

$K$  = ضریب سختی فنر و  $L$  = طول فشردگی فنر. نیروی ناشی از اختلاف فشار بین بالادست و پایین دست قطعه دوکی شکل،  $\Delta P$  به صورت رابطه ۴ است و با فرض اینکه  $A$  سطح مقطع عبوری سیال باشد، می‌توان از رابطه ۵ برای محاسبه آن استفاده کرد (Zhang & Wang, 2015).

$$F_p = \Delta P \cdot A_0 \quad (4)$$

$$A_0 = \pi \left[ y^2 - \left( \frac{d}{2} \right)^2 \right] \quad (5)$$

که در آنها،

$A_0$  = مساحت مقطع عرضی دوک و  $d$  = قطر میله هادی.

از ترکیب رابطه‌های  $\Delta P$  به صورت رابطه ۶ به دست می‌آید (Zhang & Wang, 2015).

که در آن، پارامتر  $T$  نیز از رابطه ۱۲ به دست می‌آید.

$$T = \frac{Q}{\alpha \sqrt{2\pi\rho K}} \quad (12)$$

ژانگ و وانگ (Zhang & Wang, 2015) برای محاسبه  $T$ ،  $\alpha$  را برابر ۰/۷۵ در نظر گرفتند و با استفاده از شبیه‌سازی عددی فرضیه  $\alpha=0.75$  را بررسی کردند و رابطه اصلاح شده را به شکل رابطه ۱۳ برای محاسبه  $\alpha$  پیشنهاد دادند.

$$\alpha = 1.7122\beta^2 - 2.4047\beta + 1.5771 \quad (13)$$

یادآوری می‌شود روش طراحی ژانگ و وانگ (Zhang & Wang, 2015) تنها برای شیر کنترل با دبی ۰/۴ لیتر بر ثانیه و اختلاف فشار ۶ تا ۷۰ کیلوپاسکال قابل استفاده است.

رضازاده و همکاران (Rezazadeh *et al.*, 2019) بر اساس مطالعات آزمایشگاهی، محدوده کارکرد شیر کنترل دبی را تا ۰/۶ لیتر بر ثانیه و اختلاف فشار را تا ۲۰ متر آب توسعه دادند. این محققان اصول طراحی شیر کنترل دبی را برای دبی‌های ۰/۴ و ۰/۶ لیتر بر ثانیه، به ترتیب برای محدوده فشار کارکردهای ۱ تا ۷ و ۲/۶ تا ۲۰ متر آب ارائه کردند. برای این منظور، ابتدا به مطالعه منحنی‌های دبی- اختلاف فشار روزنه‌ای پرداختند که قطعات استوانه‌ای شکل با قطرهای مختلف وسط آن را پر کرده باشد. پس از آن با استفاده از نتایج به دست آمده، شکل اولیه منحنی دوک را ارائه کردند و نشان دادند که رابطه منحنی دوک را می‌توان با استفاده از نتایج آزمایشگاهی به گونه‌ای اصلاح کرد که به عملکرد بهتر شیر کنترل منجر شود.

این نوع شیر کنترل دی تاکنون به تولید صنعتی نرسیده است و از این‌رو بررسی اثر عوامل مختلف مؤثر بر عملکرد آن می‌تواند اطلاعات مفیدی برای تولید انبوه آن در اختیار قرار دهد. از عواملی که ممکن است عملکرد شیر کنترل دبی را تحت تأثیر قرار دهد می‌توان به حساسیت آن نسبت به سختی فنر اشاره کرد. سختی فنر به دلایلی از جمله خستگی آن در اثر کارکرد طولانی‌مدت و تغییرات محتمل در هنگام ساخت، می‌تواند با مقادیر طراحی متفاوت باشد. همچنین در هنگام مونتاژ قطعات شیر این امکان وجود دارد که موقعیت قرار دادن دوک نسبت به روزنه با مقدار طراحی کمی متفاوت باشد. هدف از این تحقیق، بررسی آزمایشگاهی حساسیت شیر کنترل دبی نسبت به تغییرات سختی فنر و موقعیت نصب دوک نسبت به روزنه در زمان مونتاژ است. این عوامل، چه به لحاظ کاربرد این نوع شیر کنترل دبی و چه به لحاظ رعایت مسائل فنی هنگام ساخت آن، مهم هستند که بررسی آنها تاکنون در مطالعات پیشین مغفول مانده است.

## مواد و روش‌ها

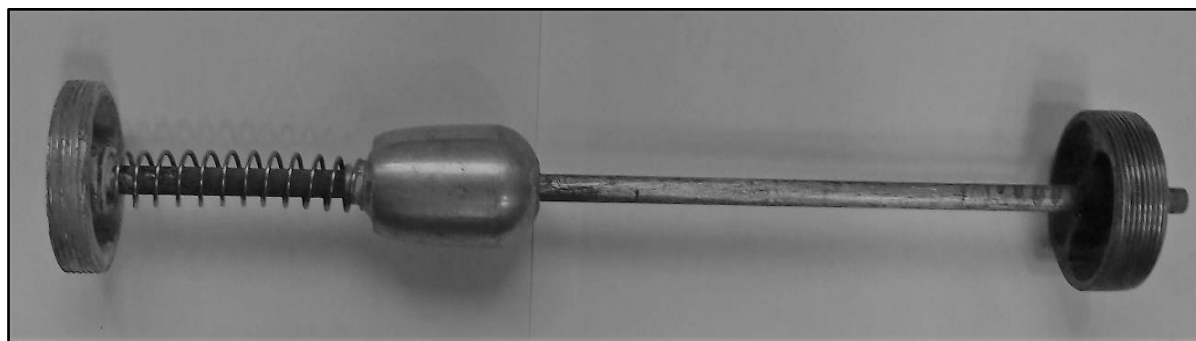
### مجموعه آزمایشگاهی

این پژوهش در مجموعه آزمایشگاهی در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) اجرا شد. مجموعه آزمایشگاهی شامل یک پمپ گریز از مرکز حلزونی با ارتفاع پمپاژ ۳۷/۵ متر، دبی ۱۲۰ لیتر در دقیقه و حوضچه مکش به حجم ۲۰ متر مکعب است. برای تنظیم دبی، از یک درایو تنظیم دور موتور و برای اندازه‌گیری فشار از یک فشارسنج دیجیتال ساخت شرکت Rosemont آمریکا استفاده شد. با توجه به کاتالوگ فشارسنج،

داده‌برداری شامل دو بخش است: ۱- بررسی تغییرات سختی فنر نسبت به فنر اصلی، ۲- تغییر مکان دوک نسبت به موقعیت اصلی آن. مقادیر مختلف سختی،  $K$ ، و فاصله انتهایی دوک از روزنه،  $b$ ، در جدول ۱ آورده شده است. نمایی از کلیه اجزای شیر کنترل دبی که در این تحقیق طراحی و ساخته شده‌اند، برای دبی طراحی ۰/۴ لیتر بر ثانیه در شکل ۲ آورده شده است.

محدوده اختلاف فشار قابل اندازه‌گیری در دامنه  $\pm 2/5$  بار و با دقت ۰/۱۵ درصد است.

دبی عبوری از شیر با استفاده از یک دبی‌سنج ونتوری اندازه‌گیری شد که قبلاً به صورت حجمی واسنجی شده بود. آزمایش‌ها برای دبی‌های طراحی ۰/۴ و ۰/۶ لیتر بر ثانیه اجرا شد که اصول طراحی آنها را رضازاده و همکاران (Rezazadeh et al., 2019) ارائه داده‌اند.



شکل ۲- نمونه‌ای از اجزای شیر کنترل دبی طراحی و ساخته شده برای دبی ۰/۴ لیتر بر ثانیه  
Fig. 2- An example of a constructed MCOP's components for the discharge of 0.4 l/s

به کار گرفته شود. در آزمایش‌ها برای شیر کنترل دبی طراحی ۰/۴ و ۰/۶ لیتر بر ثانیه، با توجه به دبی متوسط خروجی از شیر و در محدوده فشار کارکرد آنها، سرعت به ترتیب ۰/۲ و ۰/۲۸ متر بر ثانیه محاسبه شد.

برای داده‌برداری، ابتدا شیرهای کنترل دبی با مشخصات فیزیکی مطابق با جدول ۱ ساخته و روی مجموعه آزمایشگاهی نصب شدند. اجزای شیر کنترل دبی درون لوله‌ای یک اینچی نصب گردید. این اندازه از لوله به عنوان لوله‌ای فرعی در آبیاری تیپ می‌تواند

جدول ۱- مشخصات آزمایش‌های اجرا شده در این تحقیق

Table 1. Characteristics of the experiments carried out in this study

$b$ (mm)	$K$ (N/m)	شیر کنترل دبی (لیتر بر ثانیه) MCOP (lit/s)
$b^*=1.86$	$K^*=685.45$	0.4
0.5	534.87	
4	766.56	
6		
$b^*=2.75$	$K^*=915.58$	0.6
1.75	608.69	
4	1104.6	
5		

$b^*$  و  $K^*$ ، به ترتیب مربوط به مقادیر طراحی فاصله دوک از روزنه و سختی فنر است.

$b^*$  and  $K^*$  are the design values of the float distance from orifice, and the spring elasticity respectively

$Q_i$  = دبی مشاهده شده (لیتر بر ثانیه) به‌ازای مقداری مشخص از اختلاف فشار  $AP$ ؛  $Q_d$  = دبی طراحی (لیتر بر ثانیه)؛ پانویس‌های  $p$  و  $N$  مربوط به شرایطی هستند که دبی عبوری از شیر به‌ترتیب بیشتر و کمتر از دبی طراحی باشند؛ و  $n$  = تعداد داده‌های آزمایشگاهی برداشت شده است. بر این اساس، هر اندازه مقادیر  $DPID$  و  $DNID$  کمتر باشد، دبی عبور یافته بسیار نزدیک به دبی طراحی است و عملکرد شیر کنترل طراحی شده مطلوب‌تر است. مقدار  $DNID$  همواره عددی است منفی و  $DPID$  نیز یک مقدار مثبت دارد. برای مثال، اگر فرض شود تمام داده‌های مشاهداتی در محدوده  $\pm 5\%$  درصد از دبی طراحی قرار داشته باشند ( $Q_i = 0.95Q_d$  یا  $Q_i = 1.05Q_d$ )، در این حالت مقدار  $DPID = 5\%$  و  $DNID = -5\%$  خواهد شد. با جاگذاری این مقادیر در رابطه ۱۵، شاخص  $PI = 10$  به‌دست خواهد آمد.

## نتایج و بحث

### تأثیر فاصله نصب دوک تا روزنه

فاصله اصلی قرارگیری انتهای دوک از روزنه،  $b$ ، برای دبی‌های طراحی  $0.4$  و  $0.6$  لیتر بر ثانیه به‌ترتیب برابر  $1/86$  و  $2/75$  میلی‌متر است (Rezazadeh et al., 2019). اطلاع از حساسیت شیر کنترل دبی نسبت به تغییر فاصله دوک از روزنه می‌تواند هنگام ساخت این نوع شیر کنترل دبی مفید باشد. به این منظور، شیرهای کنترل دبی با مقادیر مختلف  $b$ ، مطابق با جدول ۱، ساخته و در آزمایشگاه ارزیابی شدند. برای دبی طراحی  $0.4$  لیتر بر ثانیه، دبی در مقابل اختلاف فشار متناظر با مقادیر مختلف فاصله نصب دوک از روزنه در شکل ۳ آورده شده است. دیده می‌شود که در شیر کنترل با  $b=6$  میلی‌متر، به اختلاف فشار بالایی نیاز است تا دوک

برای هر یک از شیرهای کنترل دبی، ابتدا جریان ورودی با درایو تنظیم دور موتور پمپ تنظیم و پس از آن اختلاف فشار قبل و بعد از شیر کنترل دبی برداشت شد. دبی متناظر نیز با استفاده از ونتوری متر قرائت شد. این مراحل تا زمانی ادامه پیدا کرد که اختلاف فشار بین قبل و بعد از شیر کنترل دبی کمی بیشتر از مقدار طراحی شود.

برای بررسی تأثیر عوامل مختلف روی عملکرد شیر کنترل دبی لازم است تا از یک معیار برای کمی‌سازی نحوه کارکرد آن استفاده شود. آتش‌پرور و همکاران (Atashparvar et al., 2019) شاخص  $PI$  را مطابق رابطه ۱۴ برای کمی‌کردن عملکرد شیرهای کنترل دبی ارائه دادند.

$$PI = |DPID + DNID| + DPID + |DNID| \quad (14)$$

که در آن،

$DPID$  = مجموع انحراف‌های مثبت و  $DNID$  = مجموع انحراف‌های منفی نسبت به دبی طراحی. این شاخص‌ها را بی‌جن‌خان و همکاران (Bijankhan et al., 2017) به‌صورت رابطه‌های ۱۵ و ۱۶ تعریف کرده‌اند.

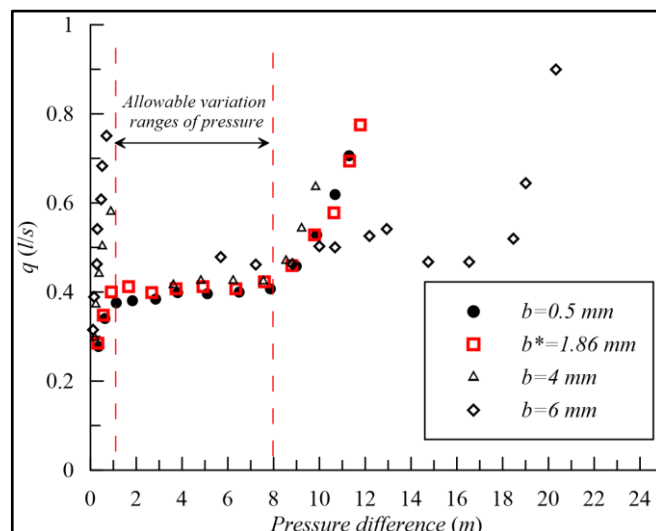
$$DPID = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(Q_i - Q_d) * \Delta P_{Pi}}{Q_d}}{\sum_{i=1}^n \Delta P_{Pi}} * 100 \quad (15)$$

$$DNID = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(Q_i - Q_d) * \Delta P_{Ni}}{Q_d}}{\sum_{i=1}^n \Delta P_{Ni}} * 100 \quad (16)$$

که در آنها،

همچنان دوک در روزنه می ماند و شیر کنترل دبی در مدار باقی خواهد ماند. در  $b=6$  میلی متر، شیر با دبی  $0.46$  لیتر بر ثانیه و اختلاف فشار  $16/53$  متر همچنان عمل می کند. برای حالتی که فاصله نصب دوک کمتر از مقدار طراحی باشد ( $b=0.5$  میلی متر)، همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود، چه در شروع به کار شیر و چه در پایان آن، اختلاف چشمگیری مشاهده نمی شود و شیر مانند شیر اصلی کار می کند.

حرکت کند و به روزنه برسد. در نتیجه، همان طور که در شکل دیده می شود، تا رسیدن دوک به روزنه، دبی عبوری از شیر تا  $0.75$  لیتر بر ثانیه افزایش می یابد. برای شیر ساخته شده با مقدار  $b=1/86$  میلی متر به ازای حداکثر مقدار اختلاف فشار طراحی ( $\Delta P=7$  متر)، جریان عبوری از شیر تقریباً معادل دبی طراحی است، اما بعد از آن دبی عبوری شروع به افزایش می کند. در شیرهای دیگر با فاصله های نصب فنر بیش از  $1/86$  میلی متر، ( $b=4$  و  $b=6$  میلی متر) این گونه نیست و در فشارهای بالاتر

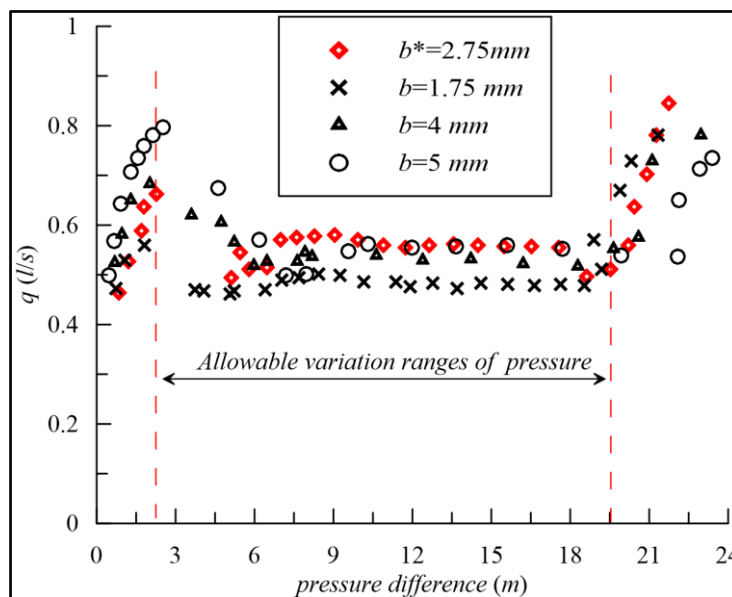


شکل ۳- بررسی اثر تغییر فاصله دوک تا روزنه روی عملکرد شیر کنترل دبی  $0.4$  لیتر بر ثانیه ( $b^*$ ، فاصله اصلی دوک از روزنه)

Fig. 3- Effect of the float distance from the orifice on the performance of a MCOP with the design discharge of 0.4 l/s ( $b^*$  is the original distance of the float from the orifice)

محدوده اختلاف فشار بین  $2/6$  تا  $3/5$  متر، یک ناحیه گسستگی وجود دارد به طوری که با افزایش اختلاف فشار فاصله دوک از روزنه اختلاف فشار بیشتری برای رسیدن آن به روزنه باید اعمال شود. از این رو، پس از رسیدن به اختلاف فشار مورد نظر، روزنه به صورت ناگهانی بسته می شود و در نتیجه دبی متناظر نیز کاهش می یابد.

برای دبی  $0.6$  لیتر بر ثانیه نیز، با توجه به شکل ۴، نتایج به دست آمده نشان می دهد که با افزایش فاصله دوک از روزنه، میزان دبی نسبت به مقدار طراحی افزایش می یابد. شیر کنترل دبی با  $b=5$  میلی متر دیرتر وارد مدار می شود و در اختلاف فشارهای کم، دبی بیشتری نسبت به سایر شیرهای کنترل آزمون شده از خود عبور می دهد. با توجه به شکل ۴ مشاهده می شود که در



شکل ۴- بررسی اثر تغییر فاصله دوک تا روزنه در شیر کنترل ۰/۶ لیتر بر ثانیه ( $b^*$ ، فاصله اصلی دوک از روزنه)

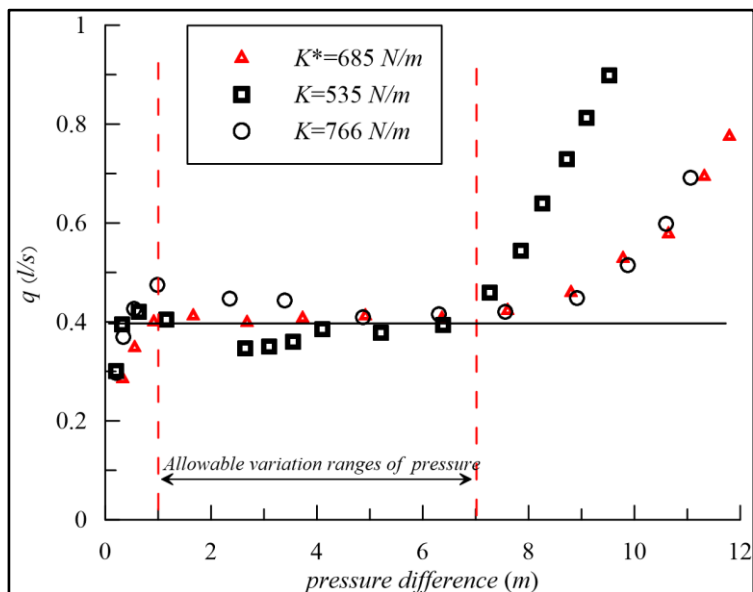
Fig. 4- Effect of the float distance from the orifice for the design discharge of 0.6 l/s

تأثیر ضریب سختی فنر روی عملکرد شیر کنترل دبی

بیشتر نسبت به فنر اصلی. برای شیر کنترل با دبی طراحی ۰/۴ لیتر بر ثانیه، دبی‌های برداشت شده در مقابل اختلاف فشار به‌ازای مقادیر مختلف سختی فنر در شکل ۵ آمده است. در فنر با سختی کمتر، شیر زودتر به دبی مورد نظر می‌رسد و در فشار کمتری نسبت به فشار طراحی، دبی مورد نظر را عبور می‌دهد. شیر، در فنر با سختی بیشتر، دبی‌های بالاتری عبور می‌دهد تا به محدوده کارکرد برسد. در حالت کلی مشاهده می‌شود که در فنر با  $K$  کمتر، میزان دبی خروجی از شیر حتی در محدوده کارکرد کمتر از میزان اصلی آن است و در  $K$  بزرگتر نیز دبی خروجی در محدوده کارکرد بیشتر از دبی طراحی است.

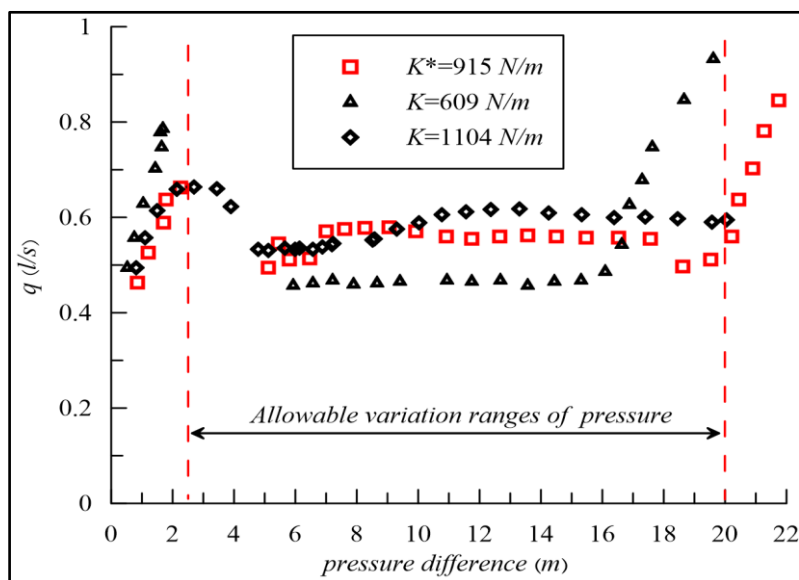
ضریب سختی فنر به‌دلایل مختلف ممکن است با مقدار طراحی اختلاف داشته باشد که مهمترین آنها تغییرات سختی فنر به‌علت پدیده خستگی آن و تغییرات سختی فنرها در هنگام ساخت آن‌ها است. مقادیر طراحی سختی فنر برای شیرهای کنترل دبی با دبی‌های طراحی ۰/۴ و ۰/۶ لیتر بر ثانیه با توجه به استاندارد DIN 2098 به‌ترتیب برابر با  $K=685$  و  $K=915$  نیوتن بر متر است (Rezazadeh *et al.*, 2019). برای بررسی این موضوع در هر یک از دبی‌های طراحی، دو آزمایش اجرا شد: یکی با در نظرگرفتن فنری با سختی کمتر و دیگری با سختی





شکل ۵- دبی در مقابل اختلاف فشار برای شیر کنترل دبی ۰/۴ لیتر بر ثانیه به ازای مقادیر مختلف سختی فنر ( $K^*$ ، سختی فنر اصلی)  
 Fig. 5- Discharge versus the pressure difference for a MCOP of the design discharge of 0.4 l/s and with different spring elasticity ( $K^*$  is the original spring elasticity)

برای طراحی ۰/۶ لیتر بر ثانیه نیز مقادیر دبی برداشت شده در مقابل اختلاف فشار به ازای مقادیر مختلف سختی فنر در شکل ۶ آورده شده است. در این شکل، یک بار شیر با سختی فنر بیشتر (۱۱۰۴ نیوتن بر متر) و بار دیگر با سختی فنر کمتر (۶۰۹ نیوتن بر متر) آزمایش شده است.



شکل ۶- دبی در مقابل اختلاف فشار برای دبی ۰/۶ لیتر بر ثانیه به ازای مقادیر مختلف سختی فنر ( $K^*$ ، سختی فنر اصلی)  
 Fig. 6- Discharge versus the pressure difference for a MCOP of the design discharge of 0.6 l/s and with different spring elasticity ( $K^*$  is the original spring elasticity)

تحقیق از شاخص  $PI$  استفاده شده است که از محاسبه  $DPID$  و  $DNID$  به دست می‌آید. نزدیک‌تر بودن این شاخص به صفر، نشان‌دهنده عملکرد بهتر شیر در کل محدوده طراحی است. برای مثال، اگر تغییرات دبی در محدوده  $\pm 5\%$  درصد باشد با استفاده از رابطه‌های ۱۵ و ۱۶،  $PI$  برابر ۱۰ خواهد شد.

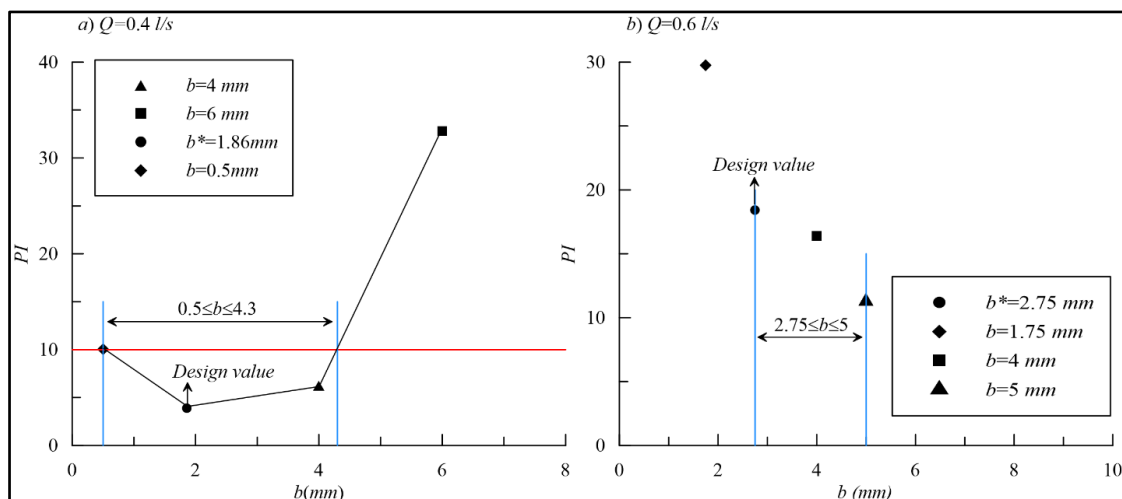
#### مونتاز نامناسب قطعات شیر کنترل دبی

در ارزیابی عملکرد شیر کنترل دبی در زمانی که فاصله دوک از روزنه تغییر می‌کند مقادیر شاخص  $PI$  محاسبه شد. تغییرات شاخص  $PI$  در مقابل فاصله دوک از روزنه در شکل ۷ رسم شده است.

در شکل ۶ دیده می‌شود که با افزایش ضریب سختی در اختلاف فشارهای بیشتر از ۱۰ متر، دبی عبوری از شیر کنترل دبی بیشتر از مقادیر متناظر با ضریب سختی اصلی فنر (۹۱۵ نیوتن بر متر) است. برای فنر با سختی کمتر نیز میزان دبی خروجی بعد از شروع به کار شیر کمتر از مقدار طراحی و در حدود ۰/۴۶ لیتر بر ثانیه است. در شکل ۶ نیز ناحیه گسستگی، بنا به همان دلایل پیشین، دیده می‌شود.

#### ارزیابی عملکرد شیر کنترل دبی

ارزیابی عملکرد شیرهای کنترل دبی نیازمند کمی‌سازی رفتار آن‌ها است. برای این منظور، در این



شکل ۷- نمودار  $PI$  مربوط به تغییر فاصله دوک در شیر کنترل دبی ( $b^*$ ، فاصله اصلی دوک از روزنه)

Fig. 7-  $PI$ -values of changing the distances of the float of MCOP

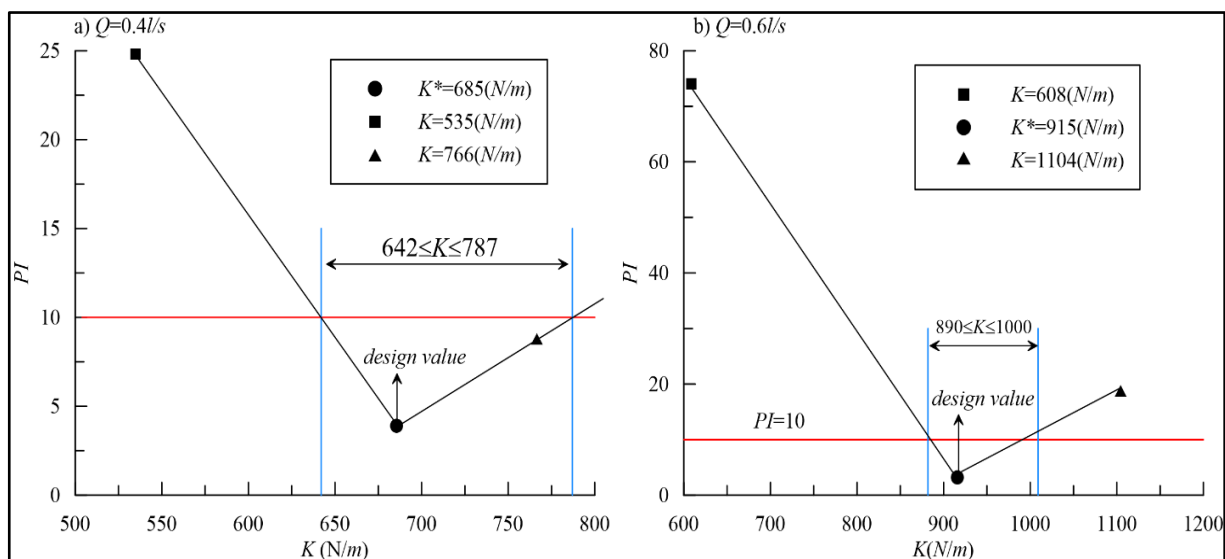
توجه به مقادیر طراحی و آزمایش‌های صورت گرفته در این تحقیق، محدوده قابل قبول تغییرات فاصله نصب دوک از روزنه برای دبی ۰/۶ لیتر بر ثانیه از ۲/۷۵ تا ۵ میلی‌متر پیشنهاد می‌شود. یادآوری می‌شود که افزایش فاصله دوک از روزنه بیش از ۵ میلی‌متر ممکن است باعث کاهش عملکرد بار دیگر به سمت بالا حرکت کند (مشابه شکل ۷a).

همان‌طور که در شکل ۷a مشاهده می‌شود، وقتی  $b$  بین ۰/۵ تا ۴/۳ میلی‌متر باشد، مقادیر  $PI$  کمتر از ۱۰ درصد خواهد بود. در شکل ۷b نیز نشان داده شده است که شاخص  $PI$  برای فاصله اصلی دوک از روزنه بیشتر از ۱۰ درصد به دست آمده است و برای  $b$ های کمتر از مقدار طراحی، شاخص عملکرد حدود ۳۰ درصد است. با افزایش مقدار  $b$ ، با

شکل‌های  $\gamma_a$  و  $\gamma_b$  مشاهده می‌شود، برای شیرهای کنترل دبی  $0.4$  و  $0.6$  لیتر بر ثانیه، زمانی که سختی فنر به ترتیب در محدوده‌های  $642$  تا  $787$  نیوتن بر متر و  $890$  تا  $1000$  نیوتن بر متر تغییر کند، شاخص  $PI$  کمتر از  $10$  درصد خواهد بود.

### ارزیابی تأثیر تغییرات سختی فنر بر اساس شاخص $PI$

تغییرات شاخص  $PI$  در مقابل سختی فنرهای مختلف در شکل ۸ رسم شده است. با استفاده از این شکل می‌توان محدوده مجاز تغییرات سختی فنر را تعیین کرد. همان‌طور که در



شکل ۸- نمودار  $PI$  مربوط به خستگی فنر در شیر کنترل دبی ( $K^*$ , سختی فنر اصلی)

Fig. 8-  $PI$ -values of changing the MCOP's spring elasticities

برای بیان بهتر محدوده تغییرات مجاز سختی فنر و فاصله نصب دوک از روزنه، است. کلیه نتایج به صورت خلاصه در جدول ۲ آورده شده

جدول ۲- محدوده مجاز تغییرات فاصله نصب دوک از روزنه و سختی فنر برای شیرهای کنترل دبی  $0.4$  و  $0.6$  لیتر بر ثانیه

Table 2- Allowed limits of the orifice distance and spring elasticity variations for MCOPs of the design discharges of  $0.4$  and  $0.6$  l/s

محدوده مجاز تغییرات سختی فنر، $K$ (%) Allowable variation ranges of the spring elasticity		محدوده مجاز تغییرات فاصله نصب دوک از روزنه، $b$ (%) Allowable variation ranges of the distance of installing the float from the orifice		نوع شیر کنترل دبی Type of MCOP (lit/s)
-	+	-	+	
6	15	73	132	0.4
3	21	0	82	0.6

دوک از روزنه و تغییرات سختی فنر پرداخته شد. نتایج تحقیق نشان داد که اگر فاصله نصب دوک از روزنه،  $b$ ، و سختی فنر،  $K$ ، به ترتیب تا ۸۲ و ۱۵ درصد بیشتر از مقادیر طراحی در نظر گرفته شود عملکرد شیر کنترل دبی کمتر از ۵ درصد تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. تغییرات سختی فنر که ناشی از خستگی آن در طول مدت زمان کارکرد شیر کنترل دبی است می‌تواند عملکرد شیر را به شدت تحت تأثیر قرار دهد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که برای شیرهای کنترل دبی ۰/۴ و ۰/۶ لیتر بر ثانیه، به ترتیب تنها ۶ و ۳ درصد می‌توان خستگی فنر را نسبت به مقدار طراحی کمتر در نظر گرفت. در نتیجه، به لحاظ کاربردی لازم است تا به هنگام بهره‌برداری از این گونه شیرهای کنترل دبی در زمان‌های مشخص عملکرد آن‌ها بررسی و فنر، اگر لازم باشد، عوض شود.

با توجه به این جدول، مشاهده می‌شود که اگر پارامترهای  $b$  و  $K$  به ترتیب تا ۸۲ و ۱۵ درصد بیشتر از مقادیر طراحی در نظر گرفته شوند، عملکرد شیر کنترل دبی کمتر از ۵ درصد تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. در خصوص سختی فنر باید توجه شود که کمتر شدن آن، به احتمال زیاد بر اثر خستگی فنر، می‌تواند عملکرد شیر کنترل دبی را به صورتی قابل توجه تحت تأثیر قرار دهد. مطابق با نتایج آزمایشگاهی این تحقیق، برای شیرهای کنترل دبی ۰/۴ و ۰/۶ لیتر بر ثانیه، به ترتیب تنها ۶ و ۳ درصد می‌توان خستگی فنر را نسبت به مقدار طراحی کمتر در نظر گرفت (جدول ۳).

### نتیجه‌گیری

نوعی از شیر کنترل دبی که اصول طراحی آن به تازگی منتشر شده است در آزمایشگاه بررسی و به خطاهای احتمالی ناشی از نصب نامناسب موقعیت

### مراجع

- Atashparvar, S., Bijankhan, M., & Mahdavi Mazdeh, A. (2019). Application of constant flow rate control valve in pump discharge regulation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 147(7), [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001393](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001393).
- Bijankhan, M., Mehrzad, M., & Kouchakzadeh, S. (2017). Volumetric water delivery using baffle sluice modules: new approach. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 143(10), [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001231](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001231).
- Brunone, B., & Morelli, L. (1999). Automatic control valve-induced transients in operative pipe system. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(5), pp. 534-542.
- Ferreira, J., Martins, N. & Covas, D. (2018). Ball valve behavior under steady and unsteady conditions. *American Society of Civil Engineers*, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001434](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001434).
- Rezazadeh, P., Bijankhan, M., & Mahdavi-Mazdeh, A. (2019). An experimental study on a flow control device applicable in pressurized networks. *Journal of Flow Measurement and Instrumentation*, 68, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2019.01.017>.
- Rahmeyer, W., & Driskell, L. (1985). Control valve flow coefficients. *Journal of Transportation Engineering*, 111(4), pp. 358-364.
- Nerella, R., & Rathnam, E. V. (2015). Fluid transients and wave propagation in pressurized conduits due to valve closure. *Procedia Engineering*, 127, pp. 1158-1164.

مطالعه آزمایشگاهی عملکرد شیر کنترل دبی: اثر سختی ...

- Xu, H., Wang, H., Hu, M., Jiao, L., & Li, Ch. (2018). Optimal design and experimental research of the anti-cavitation structure in the water hydraulic relief valve. *Journal of Pressure Vessel Technology*, 140(5): 051601-09. <https://doi.org/10.1115/1.4040893>.
- Zhang, X. K., & Wang, D. (2015). A flow control device for incompressible fluids. *Flow Measurement and Instrumentation*, 41, pp. 165-173. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2014.12.008>.

# Experimental Study of Parameters Affecting the Performance of Discharge Control Valve: Effects of the Spring Fatigue and Valve Assembly

F. Tayyebi, M. Bijankhan\* and H. Ramezani-Etedali

\* Corresponding Author: Assistant Professor, Water Sciences and Engineering Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: bijankhan@ut.ac.ir

Received: 5 April 2019; Accepted: 28 September 2019

## Extended Abstract

### Introduction

Water distribution uniformity is a key in pressurized irrigation systems. Pressure fluctuations due to topographical changes, local and frictional head losses, and different water uses are considered of great concerns. Any mechanical device with the ability to keep an almost constant flow delivery, irrespective of the pressure fluctuations is of great practical importance. In this regard, a flow control valve is a useful tool. A flow control valve is a mechanical choked orifice plate structure including a float-spring mechanism inserted in an ordinary orifice (Zhang and Wang 2015). Such a valve is not yet produced commercially.

In this study, the effect of the spring elasticity mainly due to spring fatigue is investigated experimentally on the valve performance. Also, the changes in the installation location of the float, when the valve is in rest condition, may affect its performance. To quantify this effect a detailed experimental plan was performed.

### Methodology

This study presents an experimental approach for testing the effects of the spring fatigue and spring installation location on the performance of the discharge control valve. In this regard, an experimental model was constructed at Imam Khomeini Intentional University, IKIU. It consists of a centrifugal pump, a motor drive to adjust the pump's rotational speed, and a Rosemont digital pressure gauge. The flow rate was measured by a calibrated Venturi meter. Two design discharges of 0.4 and 0.6 l/s were considered and the valves were fabricated based on the design guidelines proposed by Rezazadeh et al. (2019).

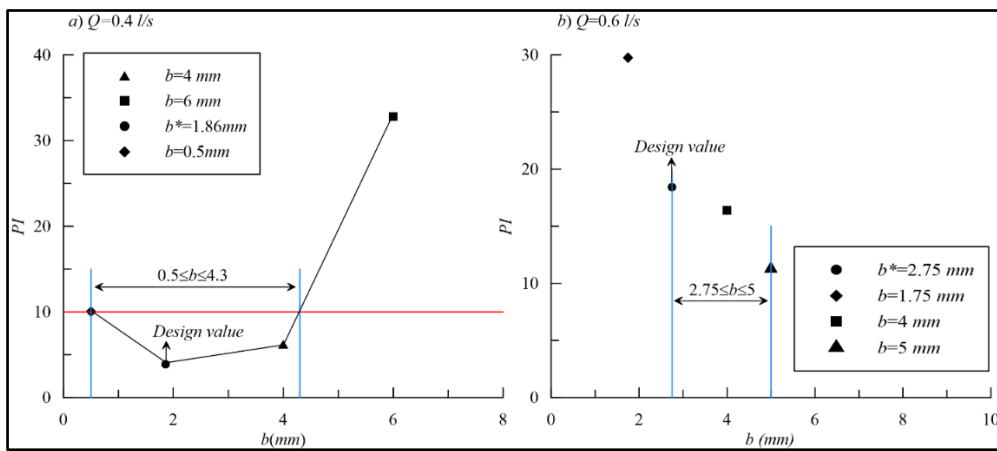
In order to quantify the valve performance PI index was used (Atashparvar *et al.*, 2019).

$$PI = |DPID + DNID| + DPID + |DNID| \quad (1)$$

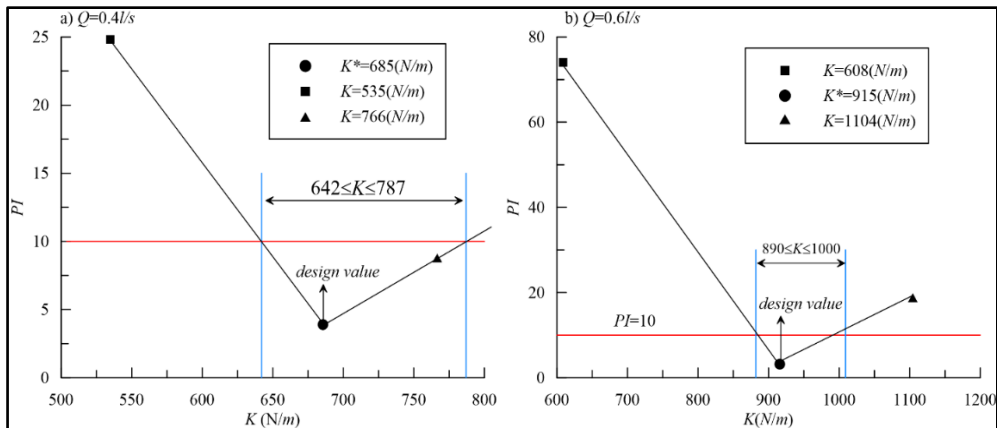
In the above equation, DPID and DNID are the total/summation of the positive and negative discharge deviations from the design value respectively.

**Results and Discussion**

According to the experimental curves of valves' discharge variations, PI values were calculated to identify the effects of the spring fatigue and inappropriate valve assembly (Fig. 1 and Fig. 2). The results indicated that, if the distance of the float to the orifice location,  $b$ , varies in the ranges of  $0.5 \leq b \text{ (mm)} \leq 4.3$  and  $2.75 \leq b \text{ (mm)} \leq 5$  for  $Q=0.4$  and  $0.6 \text{ l/s}$  respectively, the valve performance is affected marginally (Fig. 1). It is found that for the design discharge values of  $0.4$  and  $0.6 \text{ l/s}$  the spring elasticity can decrease no more than 3% and 6% respectively (Fig. 2).



**Fig. 1- PI-values of changing the distances of the float of MCOP**



**Fig. 2- PI-values of changing the MCOP's spring elasticities**

**Conclusions**

Water distribution uniformity plays a pivotal role in pressurized irrigation systems. In this regard, flow control valve is a useful tool. The control valve studied in this investigation consists of a float moving into an orifice of a given diameter. The mechanism makes it possible to have a semi constant flow rate, being irrespective of the pressure fluctuations. Although the design criteria of the valve were proposed in 2015, it is not yet produced in commercial scale.

Discharge control valve can be used in tape irrigation systems. Spring fatigue and inappropriate assembly can affect the valve performance. In this study, the effect of these parameters on the performance of the control valve were investigated experimentally. The results indicated that, if the distance of the float to the orifice location,  $b$ , and the spring elasticity,  $K$ , were 82% and 15% greater than their design values, the valve performance is affected by less than 5%. Spring elasticity variations due to the spring fatigue can affect the valve performance significantly. It is found that, for the design discharge values of 0.4 and 0.6 l/s the spring elasticity can decrease no more than 3% and 6% respectively.

**Keywords:** Constant Flow Rate, Flow Control Valve, Pressure Changes, Spring Fatigue