

بررسی تجربی و مقایسه آن با روابط فیزیکی در شیرهای کنترل جریان آبراهه های تخلیه کننده تحتانی سدوز

ایمان جعفری^۱، کیوان ناصرپور^۲، عیسی جودکی فر^۳، حسن بصیرت تبریزی^۴

^۱ رئیس دفتر فنی ناحیه دز، شرکت نصب، تعمیر و نگهداری نیروگاه های برق آبی خوزستان، اندیمشک، iman_jafari@yahoo.com
^۲ کارشناس مکانیک، شرکت نصب، تعمیر و نگهداری نیروگاه های برق آبی خوزستان، اندیمشک، keyvannaserpoor990@gmail.com
^۳ کارشناس مکانیک، شرکت نصب، تعمیر و نگهداری نیروگاه های برق آبی خوزستان، اندیمشک، eisa1368jodakifar@gmail.com
^۴ استاد تمام، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، hbasirat@aut.ac.ir

چکیده

شیرها، افت شدیدی در جریان خروجی ایجاد می گردد و با استفاده از آن می توان در برابر فشار سیال بالادست سد در هنگام تخلیه مقاومت ایجاد نمود. معمولاً به علت موقعیت جغرافیایی و نصب تا سیات در پایین دست سد، قطر و شکل جت سیال خروجی از این شیرها با استفاده از مجاری خروجی تعدیل می گردد. اما بکارگیری مجاری خروجی با پدیده نامطلوب جریان برگشتی همراه است و اجتناب از آن مستلزم بررسی جریان خروجی است. در این زمینه مطالعات تجربی بسیاری صورت گرفته است. کاواشیما مطالعه جامعی در خصوص پدیده جریان برگشتی در حالت استفاده از مجرای خروجی برای شیر هاول-بانگر انجام داده است [۱]. مطابق نتایج این تحقیق محل برخورد جت سیال به قسمت مخروطی مجرای خروجی عامل تعیین کننده در وقوع جریان برگشتی است و همواره باید طراحی به گونه ای صورت گیرد که جت سیال به قسمت استوانه ای شکل مجاری خروجی برخورد کند. همچنین در تحقیق تجربی دیگر پرتیمن به بررسی محل قرارگیری مجرای خروجی نسبت به شیر هاول-بانگر و تاثیر آن بر پدیده جریان برگشتی پرداخت [۲]. کاهش وقوع جریان برگشتی موضوع مطالعات بسیاری بوده است. کوزیناکوف و همکاران باز طراحی مجرای خروجی برای کاهش اثرات مخرب ناشی از کاویتاسیون در سطح مجرای خروجی یک شیر هاول-بانگر را با استفاده از روش های عددی ارائه دادند [۳]. پریموز و همکاران مدلی فیزیکی برای آشکار سازی و تحقیق جریان برگشتی یک شیر هاول-بانگر واقع در یک نیروگاه برق آبی را توسعه دادند و با نصب حلقه های برگرداننده جریان در قسمت ورودی مجرای خروجی مانع از برگشت جریان به سمت بالادست شدند [۴]. باک و همکاران استفاده از تیغه های تلف کننده انرژی جریان را در قسمت مجرای خروجی مورد بررسی قرار دادند [۵]. مقیمی و همکاران به صورت همزمان مدلسازی عددی و

در این تحقیق مدلسازی فیزیکی شیرهای جدید تنظیم جریان آبراهه های تحتانی سدوز انجام شده است. مدلسازی فیزیکی با هدف آشکار سازی جریان نامطلوب برگشتی در گشودگی های مختلف دروازه شیر پیش از نصب نهایی آنها برنامه ریزی شده است. مدل فیزیکی با مقیاس هندسی ۱ به ۱۰ و دقیقاً مشابه مدل اصلی شیر تنظیم جریان و مجرای خروجی آن ساخته شد. مطابق نتایج بدست آمده در تمامی درصد های گشودگی مابین ۵ تا ۸۰ و با فواصل ۵ درصدی، جریان برگشتی مشاهده گردید و سپس استفاده از حلقه های برگرداننده جریان برگشتی با هدف کاهش اثرات مخرب این پدیده بررسی گردید. حلقه های برگرداننده جریان در قسمت مخروطی مجرای خروجی نصب می شوند. نتایج تحقیقات تجربی آشکار ساخت که برگرداننده های جریان به عنوان روشی کارآمد در کاهش جریان برگشتی با حداقل ایجاد تغییرات در هندسه شیر و مجرای خروجی قابل استفاده می باشند. همچنین نتایج سنجش دبی عبوری از مدل در گشودگی های مختلف حاکی از دقت بالای مدلسازی فیزیکی با حداکثر ۵/۴ درصد خطا است.

واژه های کلیدی

شیر هاول-بانگر، مدلسازی فیزیکی، تشابه اوپلری، جریان برگشتی

مقدمه

مدلسازی فیزیکی کارآمدترین روش برای تحلیل جریان خروجی از شیرهایی است که در مجاری تحتانی سدها مورد استفاده قرار می گیرند. شیرهای رایج نصب شده روی این مجاری از نوع هاول-بانگر هستند. با تعبیه یک عضو مخروطی شکل در مسیر جریان این

مکش هوا در بالای بدنه شیر در نظر گرفته شده است. مکش هوا به درون پوسته شیر باعث جلوگیری از کاهش فشار و آسیب رسانی به حلقه های آب بندی شیر ناشی از پدیده مخرب کاویتاسیون می شود. مشخصات ابعادی و کارکردی شیر تنظیم جریان جدید و مجرای خروجی آن در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): مشخصات ابعادی و کارکردی شیر تنظیم جریان و مجرای خروجی

۱۴۵۲	طول شیر (mm)	۱۵۵۰	قطر ورودی شیر (mm)
۱۴	حداکثر فشار بالادست سد (Bar)	۳۸۰۰	قطر خروجی مجرای خروجی (mm)
۵۰	حداکثر دبی (m ³ /s)	۸۳۵	طول بخش مخروطی مجرای خروجی (mm)
۵۰	ارتفاع محل نصب تا تراز پایاب (m)	۱۵۰۰	طول بخش استوانه ای مجرای خروجی (mm)

وجود جریان برگشتی نامطلوب در طرح جدید شیر تنظیم جریان محتمل است. به گونه ای که در خلال بهره برداری، علاوه بر پرسیدن محفظه داخلی شیر تنظیم جریان، متناسب با درصد گشودگی، مقداری از سیال نیز از طریق دریچه های هوادهی به بیرون از محفظه شیر راه می یابد. از آنجاییکه محفظه شیر تنظیم جریان در برگیرنده دروازه و سیستم هیدرولیکی عملگر آن می باشد و سیال خروجی همراه رسوبات غلیظ انباشته شده در بالادست سد است، مطمئناً در چنین شرایطی سیستم هیدرولیک با اشکالات اساسی مواجه خواهد شد. علاوه بر آن پرسیدن محفظه شیر و خروج جریان از دریچه های هوادهی، باعث عدم امکان هوادهی به سیستم برای کاهش اثرات مخرب پدیده کاویتاسیون در حلقه های آب بند شیر خواهد شد. بنابراین پیش از نصب نهایی این مجموعه شیرها، مدل سازی فیزیکی شیرهای تنظیم جریان جدید همراه با مجرای خروجی، به منظور تحقیق وجود جریان های برگشتی احتمالی و ارائه طرح های اصلاحی جهت کاهش آن، به صورت تجربی مورد مطالعه قرار گرفت.

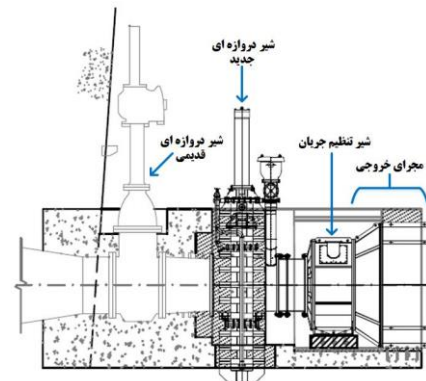
مدلسازی فیزیکی

مدلسازی مجموعه شیرآلات جدید آبراهه های تحتانی سد، با هدف تحقیق تجربی جریان برگشتی در مجموعه شیر هاول-بانگر و مجرای خروجی جدید طرح ریزی شده است. بدین منظور ساخت مدل ۱:۱۰ شیر تنظیم جریان در دستور کار قرار گرفت. لازم به ذکر است، از آنجاییکه شیرهای دروازه ای قدیمی و جدید در زمان بهره برداری از مجموعه شیرآلات، در حالت کاملاً باز قرار دارند و مجرای داخلی این شیرها و آبراهه یک مسیر نسبتاً پیوسته را شکل می دهد، جهت ساده سازی طرح مدل و بدون کاهش دقت نتایج، از مدل سازی فیزیکی این دو شیر چشم پوشی می شود. همچنین با توجه به اینکه بخش اعظم افت جریان در شیر کنترل جریان رخ می دهد و سهم بسیار ناچیزی از افت جریان در خلال عبور از آبراهه و سایر شیرآلات ایجاد می گردد، با

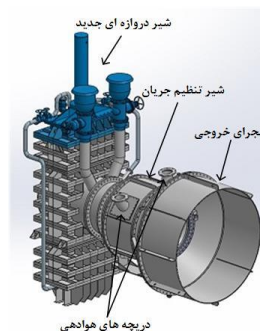
تجربی را برای بررسی جریان هوا به درون کانال جریان عبوری توسعه دادند [۶]. در این تحقیق، مدل سازی فیزیکی یک شیر هاول-بانگر از مجموعه شیرهای آبراهه های تحتانی سد مورد بررسی قرار گرفته است. مدل سازی این شیر با هدف آشکارسازی جریان برگشتی احتمالی در شیر و ارائه راهکاری عملی برای کاهش آن طرح ریزی شده است.

تشریح مسئله

در طرح بهسازی مجموعه شیرهای آبراهه های تحتانی سد، شیر تنظیم جریان قدیمی با یک شیر جدید از نوع هاول-بانگر تعویض می گردد. همچنین در طرح جدید یک شیر دروازه ای دیگر، قبل از شیر تنظیم جریان جدید با هدف ایجاد مانع در برابر نشتی های شیر دروازه ای قدیمی و فراهم سازی شرایط مطمئن تر برای تعمیر و نگهداری شیر تنظیم جریان تعبیه شده است (شکل ۱). طرح مجرای خروجی شیرهای تنظیم جریان جدید بر خلاف نوع قدیمی به بدنه شیر متصل است. مجرای خروجی قدیمی تنها از یک قسمت استوانه ای تشکیل یافته است اما مجرای خروجی جدید شامل یک قسمت مخروطی و یک قسمت استوانه ای است. این مجموعه از طریق قطر کوچک قسمت مخروطی به بدنه شیر تنظیم جریان متصل شده است (شکل ۲).



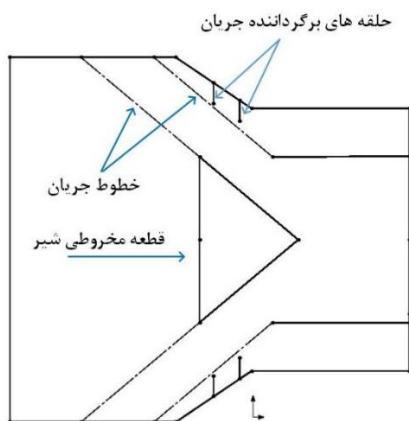
شکل (۱): طرح جدید مجموعه شیرهای آبراهه تحتانی



شکل (۲): طرح شیر تنظیم جریان و مجرای خروجی جدید

بنابراین شیر تنظیم جریان جدید و مجرای خروجی به صورت یک مجموعه یکپارچه عمل می کنند. از آنجاییکه مجرای خروجی به شیر اتصال دارد و امکان مکش هوا در این طرح وجود ندارد، دو مسیر برای

محیط بیرونی جت خروجی از دروازه شیر با قسمت مخروطی شیر هاول-بانگر بدست آمده است. به گونه ای که جت خروجی هیچگونه تماسی با حلقه های برگرداننده جریان نداشته باشند. بنابراین آزمایشات تجربی در سه حالت: ۱- مجرای خروجی ساده، ۲- مجرای خروجی همراه با یک ردیف حلقه برگرداننده جریان برگشتی و ۳- مجرای خروجی همراه با دو ردیف حلقه برگرداننده جریان برگشتی در در صدهای گشودگی مابین ۵ تا ۸۰ در صد و با فواصل ۵ در صدی برنامه ریزی شده است.



شکل (۳): محل نصب حلقه های برگرداننده جریان برگشتی در قسمت مخروطی مجرای خروجی

در طرح هایی که مجرای خروجی به شیر تنظیم جریان متصل نیست، اندازه گیری مقدار جریان برگشتی با جداسازی محدوده زیر شیر و مجرای خروجی از محیط پیرامون و جمع آوری سیال برگشتی به راحتی امکان پذیر است. اما در طرح هایی که مجرای خروجی و شیر تنظیم جریان به یکدیگر متصل هستند، امکان اندازه گیری مستقیم جریان برگشتی بدون ایجاد تغییر در طرح ممکن نخواهد بود.

در این مطالعه به عنوان یک روش جایگزین، سنجش دبی هوای ورودی به محفظه شیر از طریق دریچه های هوادهی و مشاهدات عینی جریان برگشتی از طریق دریچه های هوادهی و مقایسه تغییرات آنها در گشودگی های مختلف دروازه شیر انتخاب گردید. نتایج آزمایشات تجربی متعدد آشکار ساخت که میزان جریان برگشتی و مکش هوا از طریق دریچه های هوادهی با یکدیگر رابطه عکس دارند. جاییکه میزان مکش هوا در بیشینه مقدار خود قرار دارد، جریان برگشتی کمتری مشاهده می گردد. همچنین در محاسبه طول پرتابه چند نکته حائز اهمیت است. نخست اینکه چون در مقیاس حقیقی، ارتفاع شیر تا تراز کف پایین دست حدود ۵۰ متر است، بنابراین در مدل نیز می بایست فاصله قائم ۵ متری از شیر تا کف تراز پایین دست مدل رعایت شود. چنانچه رعایت این ارتفاع با توجه به امکانات موجود و محدودیت های محیطی آزمایشگاه امکان پذیر نباشد، می بایست با فرض حرکت سیال به صورت یک ذره و استفاده از معادلات سینماتیک ذرات، سیر حرکتی

دقت بسیار بالایی می توان از تغییر قطر آبراهه و مواعی که در مسیر قرار دارند، صرف نظر نمود.

مدلسازی فیزیکی مورد نظر، با استفاده از روش تشابه اوپلری طرحریزی شده است. تشابه اوپلری بر مبنای عدد بدون بعد اوپلر و به صورت نسبت نیروهای فشاری به نیروهای اینرسی تعریف می شود معادله (۱).

$$Eu = \frac{\text{نیروهای فشاری}}{\text{نیروهای اینرسی}} = \frac{\Delta P}{\rho V^2} \quad (1)$$

علاوه بر آن باید در بحث تشابه اوپلری شیر تنظیم جریان این نکته را در نظر داشت که، جریان عبوری در هر دو حالت شیر اصلی و مدل باید به صورت کاملاً آشفته باشد و عدد رینولدز به ترتیب در شیر اصلی و مدل بزرگتر از 10^7 و 10^5 باشد [۷].

در مدلسازی فیزیکی پیش رو حداکثر فشار ورودی به شیر تنظیم جریان نمونه اصلی با توجه به بیشینه تراز آب دریاچه و تراز محل نصب شیر، ۱۴ بار در نظر گرفته می شود. بنابراین بر اساس توضیحات ارائه شده، فشار ورودی به شیر تنظیم جریان مدل فیزیکی ۱/۴ بار محاسبه می شود. در نتیجه مطابق روابط (۲) تا (۴) و با در نظر گرفتن اینکه سیال عامل در دو حالت طرح اصلی و مدل یکسان (آب) است، مقادیر مقیاس های فشار و دانسیته به ترتیب ۰/۱ و ۱ در نظر گرفته می شوند. و با جایگذاری در رابطه (۱)، مقیاس سرعت ۰/۳۱۶ محاسبه می شود.

$$\lambda_p = \frac{P_{\text{Prototype}}}{P_{\text{Model}}} = \quad (2)$$

$$\lambda_\rho = \frac{\rho_{\text{Fluid-Prototype}}}{\rho_{\text{Fluid-Model}}} \quad (3)$$

$$\lambda_v = \frac{V_{\text{Prototype}}}{V_{\text{Model}}} \quad (4)$$

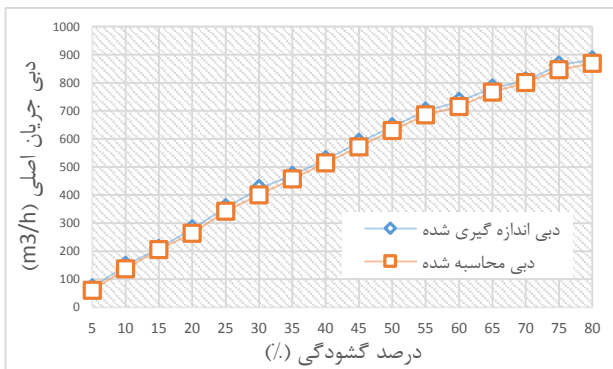
با در اختیار داشتن مقیاس سرعت، دبی جریان اصلی در گشودگی های مختلف دروازه شیر (اطلاعات سازنده شیر) و مشخصات هندسی شیر اصلی و مدل، دبی عبوری از مدل فیزیکی محاسبه می گردد.

با توجه به اینکه شرکت سازنده (شرکت ننجینی) حداکثر گشودگی شیر را در بالاترین تراز آب دریاچه ۸۰ درصد اعلام نموده است، آزمایشات تجربی در گشودگی های مابین ۵ تا ۸۰ در صد و با فواصل ۵ درصدی طرحریزی می شوند. تحقیق جریان برگشتی از طریق ساخت مدل با مقیاس ۱ به ۱۰ از شیر هاول-بانگر و مجرای خروجی آن انجام می شود. با هدف تعدیل جریان برگشتی و کاهش اثرات نامطلوب آن، دو ردیف حلقه های برگرداننده جریان برگشتی مطابق شکل (۳) در قسمت مخروطی مجرای خروجی پیش بینی شده است. مطابق این طرح به ترتیب یک و دو ردیف حلقه برگرداننده جریان، با فواصل ۳ سانتیمتری از میانه قسمت مخروطی مجرای خروجی شیر مدل نصب می شوند. ارتفاع برگرداننده های جریان ۲ سانتیمتر و ضخامت آنها ۵ میلیمتر است. فاصله نصب این حلقه های برگرداننده جریان و ارتفاع آنها از طریق فرض محافظه کارانه موازی بودن امتداد

مقیاس سرعت با حداکثر خطا ۵/۴ درصد در گشودگی ۳۰ درصد قرار دارد.



شکل (۵): مدل فیزیکی شیر هاول-بانگر و تجهیزات آزمون مدلسازی فیزیکی



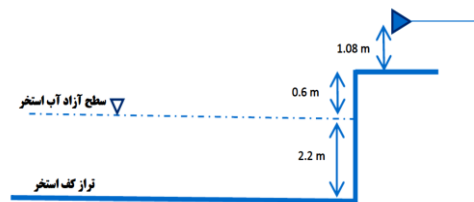
شکل (۶): مقایسه نتایج دبی های اندازه گیری شده و محاسبه شده مدل

وجود جریان برگشتی در درصدهای گشودگی مختلف شیر هاول-بانگر مدل در فواصل ۵ درصدی و از گشودگی ۵ تا ۸۰ درصد با فراهم سازی فشار استاتیک ورودی به شیر بررسی می گردد. این فشار استاتیک از کسر فشار دینامیکی از حداکثر فشار ۱/۴ بار حاصل می شود. نتایج تجربی حاکی از آن است که در تمامی درصدهای گشودگی، جریان برگشتی درون پوسته پوششی شیر از طریق لوله های هوادهی قابل رویت می باشد. میزان جریان برگشتی در گشودگی های مابین ۲۵ تا ۴۵ درصد بیشترین مقدار خود را دارا می باشد. به گونه ای که مقداری از این جریان به بیرون از محفظه شیر از طریق لوله های هوادهی راه می یابد. مسلماً وقوع این حجم از جریان برگشتی علاوه بر احتمال بالای آسیب رسانی به سیستم هیدرولیکی عملگر شیر، جریان مکش هوا برای تعدیل پدیده کاویتاسیون را نیز به صورت کامل مختل می کند. مقادیر دبی مکش هوا از طریق دریچه های هوادهی در نمودار شکل (۷) نمایش داده شده است.

بنابراین در چنین شرایطی دو گزینه جهت تعدیل این حجم از جریان برگشتی وجود دارد. ۱- تغییر طرح مجرای خروجی و ۲- استفاده از حلقه های برگرداننده جریان. تغییر در طراحی به معنی تغییر در

ذره را پیش بینی نمود. در مدل مورد نظر این تحقیق، از آنجاییکه فاصله مابین مرکز خروجی شیر و سطح آب استخر در پایین دست، ۱/۶۸ متر است، استفاده از مدل سینماتیک ذرات برای محاسبه طول پرتابه الزامیست شکل (۴). در این حال ابتدا با استفاده از طول پرتابه اندازه گیری شده تا سطح آب، سرعت خروجی سیال با استفاده از معادله (۵) بدست می آید [۸]. پس از آن با استفاده از سرعت خروجی بدست آمده و جایگذاری ارتفاع ۵ متر در سمت چپ معادله (۵)، طول پرتابه بدست خواهد آمد. θ زاویه پرتابه نسبت به سطح افق است (در مدل مورد نظر این زاویه ۰ درجه است).

$$Y = X \tan(\theta) - \frac{gX^2}{2u^2} \sec^2(\theta) \quad (5)$$



شکل (۴): ابعاد مورد نیاز برای محاسبه طول پرتابه

تجهیزات آزمون

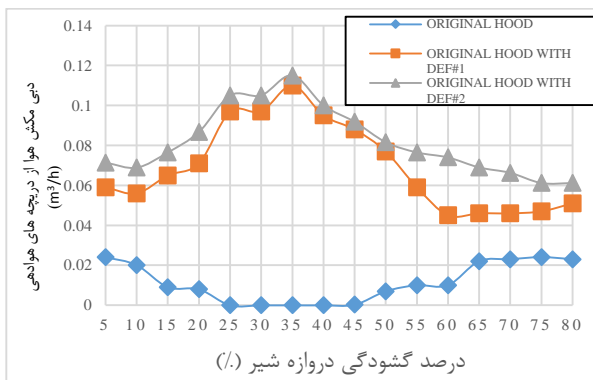
دبی مورد نیاز آزمون از طریق دو عدد پمپ سانتریفیوژ محصول شرکت پمپیران با مدل ۱۵۰-۳۱۵ تامین می گردد. این دو پمپ به منظور افزایش دبی، به صورت موازی نصب شده اند. کنترل فشار ورودی به شاخه شیر مدل، با استفاده از شاخه کنار گذر مجهز به شیر تنظیم دبی عبوری انجام می شود.

فشار خروجی هر یک از دو پمپ و همچنین فشار ورودی به شیر مدل، از طریق فشارسنج هایی با دقت ± 0.1 بار سنجیده می شود. دبی شاخه کنار گذر با استفاده از دبی سنج با دقت $10 \text{ m}^3/\text{h}$ اندازه گیری می شود. همچنین دبی شاخه شیر مدل که دارای اهمیت بالاتری است با استفاده از دبی سنج التراسونیک پرتابل با دقت $0.1 \text{ m}^3/\text{h}$ ثبت می گردد. دبی هوای ورودی به دریچه های هوادهی شیر مدل با استفاده از یک انیمومتر با دقت 0.1 m/s اندازه گیری می شود. آب مورد نیاز برای آزمون شیر مدل از طریق استخری به حجم 3 m^3 ۳۰۰ تامین می گردد. اندازه گیری ها بر اساس استاندارد [۹] ساماندهی شده اند. مدل فیزیکی شیر هاول-بانگر و مجموعه تجهیزات آزمون آن در شکل (۵) نمایش داده شده است.

تجزیه و تحلیل نتایج آزمون

در ابتدا به منظور اطمینان حاصل کردن از دقت مدلسازی فیزیکی، مقادیر دبی های اندازه گیری شده و دبی های محاسبه شده با بکارگیری معادله (۴) در حداکثر فشار بالادست ۱/۴ بار با یکدیگر مقایسه می شوند. نتایج این مقایسه در نمودار شکل (۶) ارائه شده است. آشکار است که مدلسازی فیزیکی در تطابق بسیار خوبی از نظر

زوایای میانی ۲۵ تا ۵۰ درصد عملاً جریان برگشتی محسوسی به صورت عینی مشاهده نمی گردد.



شکل (۸): مقادیر مکش هوا از طریق دریچه های هوادهی در سه حالت ۱- طرح اصلی ۲-مجرای خروجی همراه با یک برگرداننده و ۳-مجرای خروجی همراه با دو برگرداننده

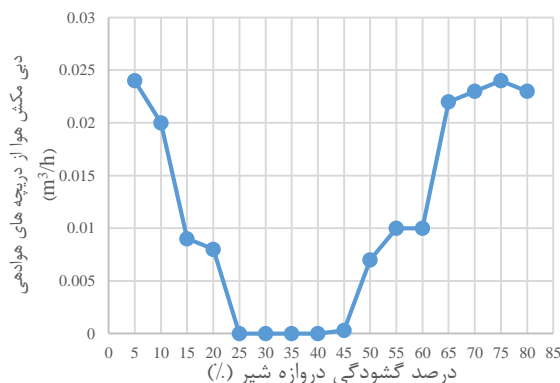
در شکل (۹)، نتایج عینی جریان برگشتی در گشودگی ۴۰ درصد برای سه حالت مورد بررسی نمایش داده شده است. در این تصویر به شکل محسوسی تاثیر بکارگیری حلقه های برگرداننده جریان قابل مشاهده می باشد. همچنین در شکل (۱۰)، میزان جریان برگشتی در حالت نصب دو حلقه برگرداننده جریان برای گشودگی ۸۰ درصد -جاییکه بیشینه جریان برگشتی در حالت بکارگیری حلقه های برگرداننده جریان ظاهر می شود- و حالت طرح اصلی نمایش داده شده است. آشکار است که حالت ۲ شباهت بسیاری به گشودگی ۴۰ درصد -جاییکه حداقل مقدار جریان برگشتی و حداکثر دبی مکش هوا را دارا می باشد- دارد. اما با اندکی دقت می توان لایه های نازکی از جریان برگشتی را در تصویر مشاهده نمود.



شکل (۹): مشاهدات عینی تفاوت جریان برگشتی در گشودگی ۴۰ درصد برای سه حالت (۱) طرح اصلی، (۲) بکارگیری یک ردیف حلقه برگرداننده و (۳) بکارگیری دو ردیف حلقه برگرداننده

همچنین اندازه گیری تجربی طول پرتابه آشکار می سازد که علاوه بر تحقیق تجربی تاثیر بکارگیری حلقه های برگرداننده بر جریان

زاویه قسمت مخروطی مجرای خروجی است (کاهش زاویه). این تغییر ضمن تحمیل هزینه های گزاف، منجر به افزایش طول مجرای خروجی خواهد شد و با توجه به محدودیت عرض محل نصب شیرهای مذکور و بیرون زدگی شیرها از عرشه محل نصب، این روش امکان پذیر نمی باشد. بنابراین در این تحقیق استفاده از حلقه های برگرداننده جریان به عنوان یک روش جایگزین به منظور تعدیل هر چه بیشتر جریان برگشتی مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل (۷): دبی مکش هوا از طریق دریچه های هوادهی شیر مدل طرح اصلی

اولین ردیف حلقه های برگرداننده جریان در فاصله میانی قسمت مخروطی مجرای خروجی نصب شده است. تحقیق تجربی جریان برگشتی آشکار ساخت که تا حد بسیار قابل قبولی از مقدار جریان برگشتی قابل رویت از طریق دریچه های هوادهی کاسته می شود. به گونه ای که علاوه بر حذف راه یابی جریان برگشتی به بیرون از بدنه شیر تا حد بسیار قابل توجهی از میزان جریان برگشتی کاسته می شود. همچنین به شکل محسوسی میزان مکش هوا از طریق دریچه های هوادهی افزایش می یابد. مطابق نمودار شکل (۸) و مشاهدات عینی، میزان جریان برگشتی برعکس طرح اصلی در زوایای گشودگی مابین ۲۵ تا ۴۵ درصد در حداقل و دبی مکش هوا در حداکثر مقادیر خود قرار دارند. به گونه ای که در گشودگی ۳۵ درصد به مقدار بیشینه $0.11 \text{ m}^3/\text{h}$ افزایش می یابد. در این حالت مطابق مقادیر دبی مکش هوا و مشاهدات عینی، بیشترین مقادیر برگشت جریان در گشودگی های مابین ۵۵ تا ۸۰ درصد رخ می دهد. بنابراین بکارگیری حلقه های برگرداننده جریان، دامنه حداکثری جریان برگشتی را از گشودگی های مابین ۲۵ تا ۴۵ درصد به ۶۰ تا ۸۰ درصد و البته با مقادیر بسیار پایینتر و با نرخ تقریباً ثابت جابجا می کند. در ادامه تحقیق تجربی علاوه بر حلقه برگرداننده اول، حلقه برگرداننده دوم نیز برای کاهش حجم جریان برگشتی باقیمانده به خصوص در گشودگی های بیشتر از ۵۰ درصد بررسی گردید. مطابق شکل (۸)، اضافه شدن حلقه برگرداننده دوم، در گشودگی های کمتر از ۲۵ درصد و گشودگی های بیشتر از ۵۰ درصد تاثیر مثبتی در تعدیل هر چه بیشتر جریان برگشتی دارد. اما در زوایای میانی مابین ۲۵ تا ۵۰ درصد تفاوت زیادی در دبی مکش هوا وجود ندارد. البته خاطر نشان می گردد که در

فهرست علائم

سرعت سیال, m/s	V	نسبت تشابه اویلر	Eu
فاصله افقی ذره سیال, m	X	فشار سیال, Bar	P
ارتفاع ذره سیال, m	Y	دبی سیال, m ³ /h	Q
علائم یونانی			
مقیاس مدلسازی	λ	زاویه خروج سیال, درجه	θ
		چگالی, kg/m ³	ρ
زیرنویس			
مقیاس سرعت	V	هوا	a
مقیاس دانسیته	ρ	مقیاس فشار	P

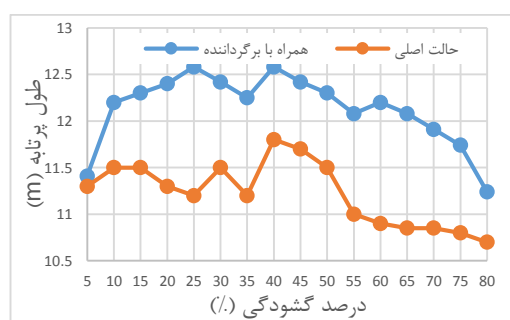
مراجع و منابع

- [1] Kawashima, M. 1984, "Hydraulic characteristics of hollow cone valve with hood", *Fuji Electric Review*, 22(2), 72-75.
- [2] Prettyman, B.J., 2014, "Consideration for hood placement and design downstream from fixed cone valve", MS Thesis, Utah State University, See also URL <https://digitalcommons.usu.edu/etd/2119>
- [3] Kozinakov, D., Stojkovski, V., Kostikj, Z., (2018), "Surface damages caused by cavitation at hood of Howell-Bunger valve and redesign to avoid them", *journal of mechanical and production engineering research and development*, 8(1), 613-620.
- [4] Rodich, P., Novak, G., "Physical hydraulic model study of the Howell-Bunger valve at the Upper Mamquam powerhouse by-pass outlet", Institute for Hydraulic Research, Hajdrihova 28, 1115 Ljubljana, Slovenia.
- [5] Buck, B.S., Johnson, M.C., Sharp, Z.B., 2011 "Improving Concrete Containment Structures Associated with Fixed-Cone Valves", MS Thesis, Utah State University, See also URL <http://digitalcommons.usu.edu/gradreports/6>
- [6] Moghimi, Kalantar, M., Molavi, E., 2018, "Experimental and numerical investigation of bottom outlet hydraulic model", *Journal of computational applied research in mechanical engineering*, 8(2), 153-164.
- [7] Floriana M. Renna, Oronzo Pizzutolo, Pedro A. Manso, 2006, "Dynamic behavior of jets issued from howell-bunger valves", International Junior Researcher and Engineer Workshop on Hydraulic Structures, Report CH61/06, Div. of Civil Eng., The University of Queensland, Brisbane, Australia - ISBN 1864998687.
- [8] Meriam, J.L., Kraige, L.G., 2012, "Engineering mechanics dynamics", Wiley publisher, 7th edition.
- [9] ANSI-ISA, 1988, "Control Valve Capacity Test Procedure". ANSI/ISA - S75.02, Research Triangle Park, NC (USA).

برگشتی، تاثیر آنها بر طول پرتابه شیر نیز ارزیابی گردیده است. نتایج تجربی حاکی از آن است که تعداد حلقه های برگرداننده در طول پرتابه تاثیرگذار نمی باشد بنابراین در شکل (۱۱)، نتایج بدست آمده از طول پرتابه در حالت طرح اصلی و حالت بکارگیری حلقه های برگرداننده جریان نمایش داده شده است. آشکار است که بکارگیری حلقه های برگرداننده موجب افزایش طول پرتابه در تمامی درصدهای گشودگی می شود و در گشودگی ۴۰ درصد دارای بیشینه ۱۲/۵۸ متر است. این مقدار ۶/۶ درصد نسبت به بیشینه طول پرتابه ۱۱/۸ متر در حالت طرح اصلی در همان درصد گشودگی بیشتر است.



شکل (۱۰): تصویر فضای داخلی محفظه شیر در گشودگی ۸۰ درصد در حالت (۱) طرح اصلی و حالت (۲) همراه با دو برگرداننده



شکل (۱۱): طول پرتابه در دو حالت (۱) طرح اصلی و (۲) همراه با برگرداننده

نتیجه گیری

در این تحقیق وقوع جریان برگشتی در شیرهای تنظیم جریان آبراهه های تحتانی سدوز با استفاده از مدل سازی فیزیکی مورد ارزیابی قرار گرفته است. بر این اساس تحقیق تجربی روی مدل ۱:۱۰ از شیرهای مذکور انجام شده است. بر اساس نتایج تجربی در تمامی درصدهای گشودگی پدیده جریان برگشتی مشاهده می گردد و در درصدهای میانی ۲۵ تا ۴۵ درصد بخشی از جریان برگشتی از طریق دریچه های هوادهی به بیرون از محفظه شیر راه پیدا می کند. بنابراین استفاده از دو ردیف حلقه های برگرداننده جریان به عنوان روشی برای تعدیل جریان برگشتی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که حلقه های برگرداننده جریان میزان جریان برگشتی را به حداقل مقدار می رسانند به گونه ای که نه تنها سیال به بیرون از بدنه شیر راه نمی یابد بلکه میزان مکش هوا برای کنترل پدیده کاویتاسیون در تمامی درصدهای گشودگی افزایش می یابد. همچنین طول پرتابه در بیشینه مقدار -گشودگی ۴۰ درصد- ۰/۷۸ متر افزایش می یابد.