

شبیه‌سازی افت فشار موضعی جریان در شیرهای خودکار سیستم‌های آبیاری بارانی

پریسا قره‌باغی^۱، حجت احمدی^{۲*}، محمد همتی^۳، وحید رضوردی نژاد^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۹/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۸

چکیده

تخمین نادرست افت فشار در داخل شیر خودکار یکی از دلایل پایین بودن فشار در آبپاش‌ها می‌باشد که می‌تواند منجر به عملکرد نامناسب آبپاش‌ها گردد. لذا با بررسی افت فشار و مطالعه الگوی جریان می‌توان نسبت به اصلاح و کاهش میزان افت جریان در آن اقدام نمود. در این مطالعه با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)، رفتار جریان داخل شیر خودکار برای به دست آوردن نحوه توزیع سرعت و فشار و رابطه بین افت فشار و میزان دبی، تحت دبی‌های ۱/۳۵، ۲، ۲/۵، ۳، ۳/۸ بر ثانیه بررسی شده است. بدین منظور ابعاد بخش‌های مختلف یک شیر خودکار با استفاده از ریزسنج دیجیتالی تعیین شد. سپس جریان درون شیر خودکار توسط مدل‌های تلاطمی مختلف شبیه‌سازی گردید. نتایج حاصل از حل عددی نشان داد که داده‌های به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی در مدل تلاطمی K-ε Standard مطابقت بیشتری با داده‌های آزمایشگاهی دارد و متوسط خطاهای نسبی پیش‌بینی در پنج دبی در این مدل برابر با ۲/۵ درصد و مقدار متوسط ضریب افت فشار موضعی بر اساس این مدل برابر با ۸/۸۶ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: افت فشار موضعی، شیر خودکار، سیستم آبیاری بارانی، دینامیک سیالات محاسباتی

مقدمه

یکنواخت صورت گیرد و درنهایت موجب توزیع یکنواخت آب و افزایش راندمان آبیاری گردد. عدم طراحی صحیح به دلیل نداشتن روابط و پارامترهای موردنیاز باعث گردیده است تا برخی طراحی‌ها به صورت کلیشه‌ای از نمودارها و جداول کاتالوگ‌ها صورت گیرد که ممکن است با مقادیر واقعی مغایرت داشته باشد (مجد سلیمی و همکاران، ۱۳۹۴). رشیدی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی میزان افت فشار موضعی انواع شیرهای خودکار و کمربندها در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت پرداختند. ایشان تعداد ۸۴ عدد شیر خودکار چدنی، پلیمری و آلومینیومی در سایزهای ۲، ۱/۵ و ۱ اینچ از کارخانه‌های مختلف تهیه کرده و مقدار افت فشار موضعی را در این شیرها در پنج دبی متفاوت اندازه‌گیری کردند و درنهایت به نتایج بسیار سودمندی دست یافتند که برخی نتایج عبارتند از: افت فشار موضعی در شیرهای خودکار مستقل از جنس آن‌ها بوده و به مکانیسم داخلی آن‌ها بستگی دارد، در اغلب موارد، ضرایب افت فشار موضعی حاصل از آزمایش‌ها بیشتر از ضرایب موجود در کارخانه‌های سازنده می‌باشد پس نمی‌توان جهت برآورد افت فشار تنها به کاتالوگ کارخانه‌های سازنده اکتفا نمود. مطالعه رفتار جریان در شیر خودکار در آزمایشگاه نیاز به زمان و هزینه بسیار دارد. نرم‌افزارهایی مانند Flow 3D، Fluent و Ansys به دلیل پایین بودن هزینه و بالا بودن سرعت در محاسبات و در اختیار قرار دادن اطلاعات کامل می‌توانند گزینه مناسبی جهت کمک به کاهش روند تولید و مطالعه هیدرولیک

یکی از مسائل مهم در طراحی سیستم آبیاری تحت فشار، طراحی این سیستم‌ها برای تامین آب با صرف حداقل انرژی است (Francis, 2002). به طوری که برای طراحی صحیح بایستی میزان افت در هر یک از اجزای سیستم به طور دقیق مشخص شود و تلاش گردد که میزان افت در طول مسیر و در هر یک از اجزای سیستم حداقل مقدار ممکن را داشته باشد. شیرهای خودکار به عنوان یکی از اجزای پرکاربرد در سیستم‌های آبیاری تحت فشار برای آب‌گیری آبپاش‌ها از لوله‌های جانبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین پس از اتمام عملیات آبیاری و خاموش کردن پمپ و خارج کردن لوله متحرک خروجی، شیر خودکار بسته شده و مانع از بازگشت آب به داخل سیستم لوله کشی می‌شود. شیر خودکار به گونه‌ای طراحی شده است که به سرعت و سهولت به خطوط انتقال آب در سیستم آبیاری بارانی متصل شود و بدون نشتی و با حداقل افت فشار، جریان آب را به سمت آبپاش‌ها هدایت کند و باعث شود خروج آب از آبپاش به صورت

۱- کارشناسی ارشد سازه آبی، دانشگاه ارومیه

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه

۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه

۴- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه

(Email: hojjat.a@gmail.com)

*- نویسنده مسئول:

فشار با استفاده از روش دینامیک سیال محاسباتی مورد آنالیز قرار گرفت. در این مطالعه جریان داخل شیر در بازشدگی‌ها و افت فشارهای متفاوت بررسی شد. نتایج نشان دادند که مدل تلاطمی K-ε Standard از این رو از مدل K-ε Realizable استفاده گردید (Chattopadhyay et al., 2012).

در این تحقیق رفتار جریان داخل شیر خودکار، جهت بررسی توزیع سرعت و فشار شبیه‌سازی شد. برای این منظور از نرم‌افزار Ansys Fluent به دلیل کارایی بالای آن در مسائل مربوط به سیالات استفاده شد. پس از شبکه‌بندی و بررسی مدل‌های تلاطمی مختلف، مدلی که نتایج حاصل از آن مشابهت بیشتری به نتایج آزمایشگاهی داشت به‌عنوان مدل مناسب در این مطالعه، برای شبیه‌سازی جریان مورد استفاده قرار گرفت. مهم‌ترین اهداف این تحقیق شامل: بررسی رفتار جریان در شیر خودکار هیدرولیکی با استفاده از سه مدل آشفتگی K-ε Standard، K-ε Realizable و K-ε RNG و پی بردن به چگونگی توزیع سرعت و فشار، همچنین به دست آوردن رابطه دبی و افت فشار موضعی و همچنین محاسبه ضریب افت فشار موضعی و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی بود.

مواد و روش‌ها

شیر خودکار

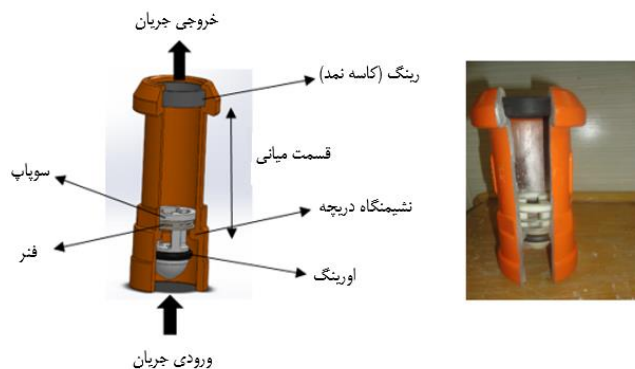
در این تحقیق یک نمونه از شیر خودکار ۲ اینچ آلومینیومی ساخت یکی از شرکت‌های داخلی برای مطالعه انتخاب گردید. نمونه شیر خودکار انتخابی به‌صورت طولی برش داده شد و اجزای متحرک و داخلی شیر خودکار بیرون کشیده شد تا بتوان به‌راحتی ابعاد آن‌ها را اندازه گرفت. برای به دست آوردن اندازه‌ها از ریزسنج دیجیتالی با دقت اندازه‌گیری ± 0.01 میلی‌متر استفاده گردید. پس از تعیین ابعاد و اندازه تمام اجزای شیر، شکل و هندسه آن در محیط نرم‌افزار Solid work ترسیم شد (شکل ۱). اجزای شیر خودکار از ورودی به خروجی آن عبارتند از: رزوه جهت اتصال شیر خودکار به لوله متحرک ورودی، فاصله بین رزوه تا دریچه داخلی، دریچه داخلی که قطر آن کمتر از قطر اسمی شیر خودکار می‌باشد، سوپاپ که بر روی نشیمنگاه دریچه داخلی نصب گردیده و دارای فنر و واشر (اورینگ) می‌باشد، قسمت میانی شیر خودکار (فاصله بین دریچه داخلی تا کاسه‌نمد) جهت قرارگیری سوپاپ و پایه آبپاش، رینگ (کاسه‌نمد) جهت آب‌بندی پایه آبپاش که درون شیار مربوطه قرار می‌گیرد (آقایی راد و رهبر، ۱۳۸۱).

جریان باشند (دلقدی و همکاران، ۱۳۸۹). یکی از مهم‌ترین فاکتورها در شبیه‌سازی درست جریان در روش‌های عددی و مدل‌های نظیر فلونت انتخاب مدل آشفتگی متناسب با هندسه و الگوهای جریان است؛ که در این خصوص محققان مختلفی به مطالعه جریان درون انواع شیرها و قطعات مختلف مشابه پرداختند.

صفوی‌منش و همکاران (۱۳۹۵) به مدل‌سازی جریان آشفتگی یک زانویی مخلوط‌کننده با استفاده از نرم‌افزار فلونت پرداختند. در این تحقیق سطوح سرعت و دما و نمودارهای توزیع دما در خروجی بررسی گردید. نتایج نشان داد که با ورود سیال از لوله فرعی به داخل لوله اصلی زانویی در قسمت خم زانویی، سیال به حداکثر سرعت خود می‌رسد. بعلاوه هدایت سیال به سمت خم بوده و در این قسمت سیال تحت تاثیر تغییرات زیادی است.

وو و همکاران با استفاده از دو روش مستقیم و غیرمستقیم در CFD به شبیه‌سازی پارامترهای فشار جریان در شیر کنترل فشار برای سیستم ذخیره سوخت در خودرو پرداختند. مقایسه نتایج حاصل از حل عددی و نتایج آزمایشگاهی دقت بالای CFD در شبیه‌سازی را نشان دادند (Wu et al., 2015). ادواردسن و همکاران به مطالعه عددی و آزمایشگاهی افت فشار تک‌فازی در شیر تنظیم روغن پرداختند. در این مطالعه به‌صورت آزمایشگاهی افت فشار در مقاطع مختلف شیر و برای نرخ جریان‌های متفاوت آب، هوا و روغن اندازه‌گیری شد. برای شبیه‌سازی سه‌بعدی از CFD استفاده گردید و مدل‌های تلاطمی متفاوت مقایسه گردید و در ادامه یک مدل تک‌بعدی بر اساس روش المان طیفی طراحی شد. هر دو شبیه‌سازی مقایسه خوبی را با داده‌های تجربی ارائه دادند (Edvardsen et al., 2015). کیان و همکاران به بررسی عددی و آزمایشگاهی سختی فنر بر روی جریان و حرکت هسته شیر در شیر کره‌ای کنترلی پیلوتی پرداختند. آن‌ها شبیه‌سازی را در نرم‌افزار Fluent و با استفاده از مدل آشفتگی K-ε RNG انجام دادند. آن‌ها تاثیرات سختی فنر بر روی پارامترهای جریان و حرکت هسته شیر و زمان بازو بسته شدن شیر را بیان کردند و در نهایت یک معادله اصلاح‌شده برای فنر را ارائه دادند (Qian et al., 2017). ونگ و همکاران بر مبنای تئوری آشفتگی K-ε Standard به شبیه‌سازی عددی پارامترهای جریان در یک مسیر پیچ‌وخم دار روی یک دیسک از شیر کنترل فشار آزمایشگاهی پرداختند. نتایج نشان داد که مسیر پیچ‌وخم دار به‌طور موثری باعث کاهش فشار می‌شود و با وجود کاهش فشار جریان در این مسیر دندانه‌دار رو به پایین، فشار بیشتر از فشار بخار اشباع محلی بوده و در نتیجه کلویتاسیون اتفاق نمی‌افتد (Wang et al., 2016).

طی مطالعاتی در سال ۲۰۱۲ ساختار جریان داخل یک شیر تنظیم



شکل ۱- برش طولی شیر خودکار ۲ اینچ آلومینیومی در دو حالت (الف): نمونه آزمایشگاهی (ب): مدل هندسی

روند کار آزمایشگاهی

جهت انجام آزمایش تعداد ۸۴ عدد شیر خودکار چدنی، پلیمری و آلومینیومی در سایزهای ۱/۵، ۱ و اینچ تهیه شده است. سپس دبی‌های ماکزیمم، مینیمم و سه دبی میانی در تمامی خطوط اندازه‌گیری شد. ماکزیمم دبی قابل عبور در خط دو اینچ معادل ۳/۸ لیتر بر ثانیه و مینیمم دبی نیز معادل ۱/۳۵ لیتر بر ثانیه اندازه‌گیری گردید. برای دبی‌های میانی نیز ۲ و ۲/۵ و ۳ لیتر بر ثانیه منظور گردید. و نهایتاً افت فشار موضعی در هر خط، در دبی‌های مینیمم تا ماکزیمم بررسی گردیده است. جهت تعیین افت فشار موضعی شیر خودکار مورد آزمایش در محل مربوطه نصب و سپس لوله متحرک با فشار به داخل شیر خودکار هدایت شده است تا شیر خودکار به‌طور کامل باز شود. پس از روشن نمودن پمپ و ثابت شدن جریان و عدم وجود ضربان شیرهای خروجی و ورودی و شیر کنترل برای دستیابی به دبی ماکزیمم تنظیم گردید و پس از یک دقیقه از ثابت شدن جریان در دبی موردنظر، افت فشار تا چهار رقم اعشار از فشارسنج تفاضلی قرائت گردید.

هندسه مسئله، شبکه و شرایط مرزی

برای شبه‌سازی و تحلیل جریان در شیر خودکار از Ansys Fluent نسخه ۱۶ که نرم‌افزار دینامیک سیالات محاسباتی است استفاده شد. برای این منظور مدل دامنه جریان در شیر خودکار با استفاده از قابلیت قالب‌گیری در نرم‌افزار Solid work ۲۰۱۷ به صورت سه‌بعدی ترسیم شده و با استفاده از Ansys meshing به صورت بی‌سازمان^۱ شبکه‌بندی شد. جزئیات دامنه جریان در شکل ۲ نشان داده شده است. شبکه‌هایی با اندازه ۴ میلی‌متر و ۳ ردیف لایه مرزی در نظر گرفته شده است و شبکه‌ها به سمت سطوح کوچک، ریزتر شدند. شرط مرزی ورودی و خروجی به صورت سرعت ورودی و فشار خروجی تعریف شده است که سرعت ورودی در

دبی‌های مختلف متفاوت بوده و همچنین با فرض تخلیه جریان به محیط آزاد، فشار خروجی برابر با صفر در نظر گرفته شده است. به‌علاوه آب ماده‌ای تراکم‌ناپذیر و جریان به صورت دائمی فرض شد. بردارهای سرعت در جدارها صفر و برای دیواره شرط مرزی عدم لغزش^۲ تعریف شده است. با استناد به مطالعاتی که وو و همکاران بر روی شیر کنترل فشار موجود در سیستم ذخیره سوخت خودرو انجام دادند، در این تحقیق برای کوپل بین فشار و سرعت از الگوریتم سیمپل-سی^۳ استفاده شده است (Wu et al., 2015). همچنین در این پژوهش از حل گر فشار مینا^۴ استفاده شد. گسسته‌سازی معادلات حاکم پیوستگی و مومنتوم نیز از روش بالادست مرتبه دوم^۵ صورت گرفته است. همچنین مطابق شکل ۳، برای اطمینان از کافی بودن تعداد تکرار محاسباتی، تغییرات فشار ورودی و سرعت خروجی برحسب تعداد تکرار محاسباتی مانیتور شدند. با توجه به این که شبکه به صورت بی‌سازمان بوده برای گسسته‌سازی گرادیان متغیرها از روش گرین-گوس بر مبنای حل در گره‌ها^۶ استفاده شده است. در شکل ۴ شبکه‌بندی هندسه دامنه جریان به خوبی نشان داده شده است.

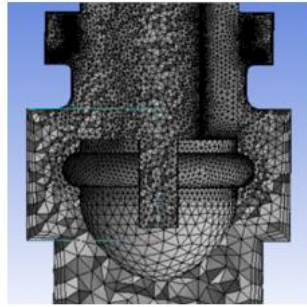
هدف اصلی این تحقیق، اعتبارسنجی نتایج حاصل از حل عددی با نتایج آزمایشگاهی می‌باشد. پس از بررسی استقلال نتایج از شبکه، به منظور پی بردن به مدل تلاطمی مناسب در این تحقیق، تاثیر ۳ مدل تلاطمی K-ε Standard، K-ε Realizable و K-ε RNG بر روی میزان افت فشار موضعی در دبی‌های ماکزیمم، میانی و مینیمم بررسی شده است.

معادلات حاکم و حل مسئله

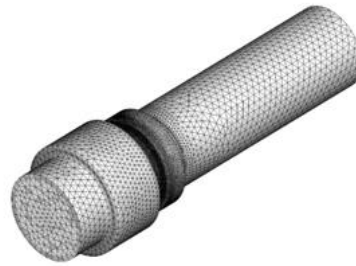
قوانین فیزیکی بقا در حل معادلات به صورت معادله بقا جرم،

- 2- No slip
- 3- Simple- C
- 4- Pressure-based
- 5- Second Order
- 6- Green-gauss node based

- 1- Un structure



(ب)



(الف)

شکل ۴- (الف): نمایی از شبکه‌بندی دامنه جریان داخل شیر خودکار (ب): نمایی از شبکه‌بندی جریان در محدوده سوپاپ و فتر

(m/s) و d قطر ورودی (m) می باشد.

مقدار افت فشار موضعی نیز از اختلاف فشار استاتیکی در ورودی و خروجی شیر محاسبه می‌گردد. ضریب افت فشار موضعی، پارامتر مرتبط با افت فشار موضعی می‌باشد که باید محاسبه گردد. برای این منظور از رابطه (۹) می‌توان جهت محاسبه این ضریب استفاده کرد:

$$\Delta P = k \left(\frac{V^2}{2g} \right) \Rightarrow \Delta P = k \left(\frac{Q^2}{2gA^2} \right) \quad (9)$$

که در آن k همان ضریب افت فشار موضعی و ΔP افت فشار استاتیکی با واحد (mH_2O) می‌باشد. برای شیر خودکارهای دو اینچی سطح مقطع اسمی معادل 0.02 مترمربع می‌باشد. برای بررسی دقت مدل عددی و ارزیابی نتایج حاصله از شبیه‌سازی عددی و مقایسه آن با داده‌های واقعی و مشاهده‌ای از پارامترهای آماری NSE, NRMSE, استفاده شده است. NSE یک ضریب نرمال شده آماری است که نسبت مقدار نسبی واریانس باقی مانده را به واریانس داده‌های اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد (Nash and Sutcliffe., 1970). NSE به عنوان یک شاخص نسبی برای بررسی توافق و یا عدم توافق بین داده‌های مشاهده شده و مقادیر پیش‌بینی شده می‌باشد و از رابطه ۱۲ محاسبه شد (Mahnamfar and Altunkaynak., 2017):

$$\text{خطای نسبی} = \frac{(y_i^{obs} - y_i^{sim})}{y_i^{obs}} \quad (10)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (obs - sim)^2}{n}} \Rightarrow NRMSE = \frac{RMSE}{obs} \quad (11)$$

$$NSE = 1 - \left(\frac{\left[\sum_{i=1}^n (y_i^{obs} - y_i^{sim})^2 \right]}{\left[\sum_{i=1}^n (y_i^{obs} - y_{mean}^{obs})^2 \right]} \right) \quad (12)$$

که در آن y_i^{obs} داده‌های مشاهده شده و y_i^{sim} و y_{mean}^{obs} به ترتیب داده‌های شبیه‌سازی و متوسط داده‌های مشاهده شده است. همچنین n تعداد داده‌های مورد مقایسه و \overline{obs} میانگین مقادیر مشاهداتی است. برای یک مدل‌سازی ایده‌آل مقدار خطای نسبی

در این مطالعه نیز مدل K- ϵ Standard انتخاب شد. معادلات حاکم در این مدل به صورت روابط ۳ تا ۷ می‌باشد (Meneveau and Katz., 2000):

معادله k

$$\rho \frac{\partial u_j k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\frac{\mu_e}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k - \rho \epsilon \quad (3)$$

معادله ϵ

$$\rho \frac{\partial u_j \epsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\frac{\mu_e}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{K} G_k - C_{\epsilon 2} \rho \frac{\epsilon^2}{K} \quad (4)$$

$$\mu_e = \mu + \mu_t \quad (5)$$

$$\mu_t = \frac{C_\mu \rho k^2}{\epsilon} \quad (6)$$

$$G_k = \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (7)$$

در معادلات ۱ تا ۷، K انرژی سینتیک آشفتگی، ϵ سرعت اتلاف انرژی، u سرعت جریان، P فشار، x بردار مکان، ρ دانسیته سیال، μ لزجت سیال، C_μ ، $C_{\epsilon 1}$ ، $C_{\epsilon 2}$ ، σ_k و σ_ϵ ضرایب تصحیح هستند. ضرایب ذکر شده به صورت زیر در نظر گرفته شدند: (Soe and Khaing., 2014 و FLUENT 16., 2014):

$C_\mu = 0.09$, $C_{\epsilon 1} = 1.44$, $C_{\epsilon 2} = 1.92$, $\sigma_\epsilon = 1.3$, $\sigma_k = 1$ همچنین با در دست داشتن مقدار دبی حجمی ورودی، مقدار سرعت در ورودی نیز محاسبه شد و به عنوان شرط مرزی ورودی به نرم‌افزار معرفی گردید. زمانی که اطلاعات کافی در مورد خصوصیات تلاطم در مرز ورودی وجود نداشته باشد، مقدار عددی شدت تلاطم برابر با پنج درصد در نظر گرفته می‌شود (FLUENT 15., 2013). در این تحقیق با در دست داشتن مقدار سرعت ورودی، ویسکوزیته و چگالی برای محاسبه شدت تلاطم، از رابطه ۸ استفاده شد.

$$\text{شدت تلاطم} = 0.16 * \left(\frac{\rho v d}{\mu} \right)^{-\frac{1}{8}} \quad (8)$$

که در آن رابطه:

μ لزجت دینامیکی سیال و برابر با $0.001003 (kg/m - s)$ ، ρ چگالی سیال و برابر با $998/2 (kg/m^3)$ ، v سرعت ورودی

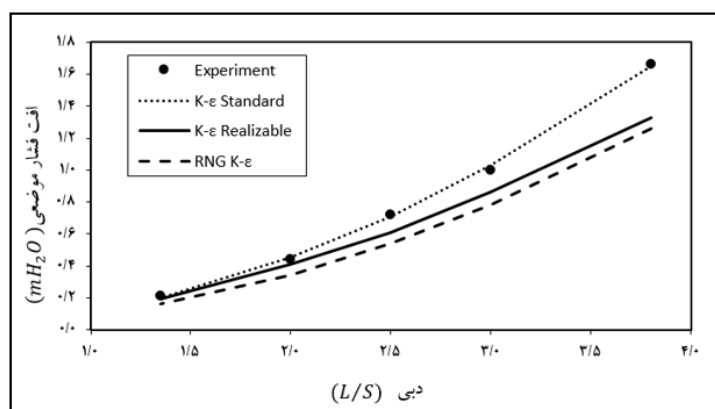
به روابط ۱۰ الی ۱۲ مقدار NRMSE و NSE و متوسط خطای نسبی در هر سه مدل تلاطمی محاسبه شده و نتایج در جدول ۳ گزارش شده است.

شکل ۵ نشان می‌دهد که مدل تلاطمی Standard K-ε نسبت به دو مدل دیگر در هر پنج دبی نتایج نزدیک‌تری به نتایج آزمایشگاهی داشته است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار افت فشار موضعی در هر سه مدل نرم‌افزاری، در دبی مینیمم اختلاف کمی نسبت به نتایج آزمایش داشته و با افزایش مقدار دبی حجمی این اختلاف بیشتر شده است. همچنین با افزایش دبی حجمی عبوری از داخل شیر و به عبارتی با افزایش عدد رینولدز، افت فشار موضعی نیز افزایش می‌یابد. نتایج ارائه شده در جدول ۱ نشان می‌دهد که رابطه بین افت فشار و دبی به صورت یک رابطه توانی می‌باشد. جدول ۲ نشان می‌دهد که خطای متوسط پیش‌بینی برای مدل K-ε Standard برابر با ۰/۱۹ درصد و برای مدل K-ε Realizable برابر با ۱۷/۳۹ و در مدل K-ε RNG مقدار ۲۳/۶۷ درصد می‌باشد که بیانگر این مطلب است که مدل K-ε Standard با دقت بسیار خوبی قادر به شبیه‌سازی جریان درون شیر خودکار می‌باشد. مقدار λ حاصل از مقایسه نتایج نیز نشان می‌دهد که مدل K-ε Realizable و K-ε RNG مقدار افت فشار موضعی را نسبت به مدل K-ε Standard کمتر تخمین می‌زنند.

می‌بایستی کمتر از ۱۰ درصد باشد، همچنین بازه کیفی (NRMSE) برای یک مدل‌سازی به صورتی است که در $NRMSE < 10$ شبیه‌سازی ایده‌آل و در $NRMSE < 30$ شبیه‌سازی ضعیف می‌باشد. بعلاوه شاخص ناش-سوتکالیف میزان انطباق داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی را ارزیابی می‌کند. دامنه تغییرات این ضریب بین ۱ و $-\infty$ بوده به طوری که ۱ بیشترین و بهترین انطباق را نشان می‌دهد و با کاهش مقدار این ضریب، دقت مدل هم کاهش پیدا می‌کند و نتایج مدل تا زمانی قابل قبول است که مقدار این ضریب بیشتر از صفر باشد (Morisi.,2007).

واسنجی و صحت سنجی مدل

به منظور اعتبار سنجی نتایج، رابطه دبی-افت فشار برای داده‌های به دست آمده از آزمایشگاه و مدل عددی در شکل ۵ نشان داده شده است. طبق نتایج، رابطه توانی و ضریب همبستگی R^2 برای رابطه دبی و افت فشار در مدل‌های مختلف در جدول ۱ گزارش شده است. برای مقایسه دویه نتایج حاصل از مدل‌ها از برازش رگرسیونی $Y = \lambda X$ استفاده شده است که رابطه λ شیب خط برازش می‌باشد. مقدار خطای متوسط پیش‌بینی (E_p) را می‌توان با رابطه $E_p = |(1 - \lambda)| \times 100$ تعریف نمود. پارامترهای ضریب همبستگی R^2 ، λ و E_p در جدول ۲ ارائه شده است. بعلاوه با توجه



شکل ۵- اعتبار سنجی میزان افت فشار موضعی

جدول ۱- توان و ضریب همبستگی مدل‌ها در رابطه دبی - افت فشار

توان	R^2	مدل
۲/۰۱۳۲	۰/۹۹۴۱	آزمایشگاه
۲/۰۴۱۲	۱	K-ε Standard
۱/۸۷۵۶	۰/۹۹۹۷	K-ε Realizable
۱/۹۹۸۶	۰/۹۹۹۸	K-ε RNG

جدول ۲- ضرایب رگرسیون مقایسه مدل‌ها

مدل‌های مورد مقایسه	λ	E_r	R^2
آزمایشگاه - K-ε Standard	۱/۰۰۱۹	۰/۱۹	۰/۹۹۹۳
آزمایشگاه - K-ε Realizable	۰/۸۲۶۱	۱۷/۳۹	۰/۹۹۵۲
آزمایشگاه - K-ε RNG	۰/۷۶۳۳	۲۳/۶۷	۰/۹۹۹۶

جدول ۳- مقادیر NRMSE و NSE در سه مدل تلاطمی K-ε Standard, K-ε Realizable, K-ε RNG

پارامتر آماری	K-ε Standard	K-ε Realizable	K-ε RNG
(%) NRMSE	۲	۲۰	۲۹
NSE	۰/۹۹۹	۰/۸۹	۰/۸
متوسط خطاهای نسبی در پنج دبی (%)	۲/۵	۱۱	۲۱

با مقایسه مقادیر موجود در جدول ۴ مشاهده می‌شود که مدل K-ε Standard نسبت به سایر مدل‌ها از دقت بیشتری برخوردار بوده به طوری که مقادیر افت مربوط به مدل مذکور نسبت به سایر مدل‌ها به داده‌های آزمایشگاهی نزدیک‌تر بوده و با دارا بودن خطای ۱ درصد در دبی ماکزیمم تطابق بسیاری خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد. این در حالی است که خطای حاصل از مدل‌های K-ε Realizable و RNG در K-ε در این دبی به ترتیب برابر با ۲۰ و ۲۴ درصد بوده است. در نتیجه می‌توان گفت که مدل تلاطمی مناسب جهت شبه‌سازی جریان در این مطالعه، مدل K-ε Standard می‌باشد.

مقایسه مقادیر موجود در جدول ۳ بیانگر انطباق خوب بین نتایج مشاهداتی و مدل K-ε Standard و ایده‌آل بودن این مدل به منظور شبه‌سازی جریان درون شیر خودکار می‌باشد.

نتایج و بحث

بررسی میزان افت فشار در مدل‌های تلاطمی

نتایج مربوط به افت فشار موضعی به دست آمده از سه مدل K-ε Realizable, K-ε Standard, K-ε RNG و همچنین داده‌های آزمایشگاهی مربوطه در جدول ۴ ارائه گردیده است.

جدول ۴- افت فشار حاصل از اندازه‌گیری در آزمایشگاه و ۳ مدل تلاطمی K-ε Standard, K-ε Realizable, K-ε RNG

دبی (l/s)	اندازه‌گیری شده	(K-ε Standard)	(K-ε Realizable)	(K-ε RNG)
۳/۸	۱/۶۶	۱/۶۵	۱/۳۳	۱/۲۶
۳	۱	۱/۰۳	۰/۸۶	۰/۷۸
۲/۵	۰/۷۲	۰/۷۱	۰/۶۱	۰/۵۴
۲	۰/۴۴	۰/۴۵	۰/۴۱	۰/۳۴
۱/۳۵	۰/۲۱	۰/۲	۰/۱۹	۰/۱۶

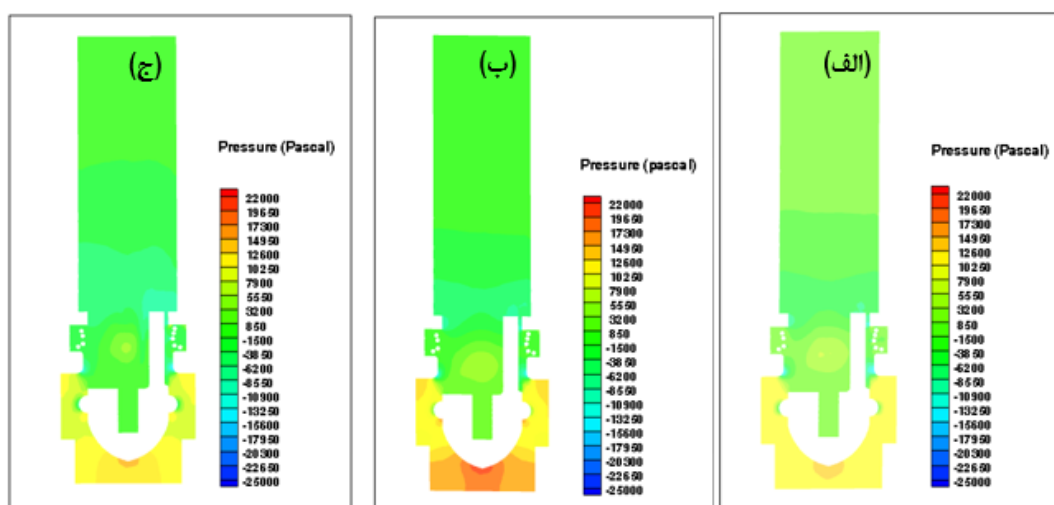
بررسی الگوی جریان در مدل‌های مطالعاتی

نحوه توزیع فشار و سرعت جریان در سه مدل تلاطمی و در سطح مقطع طولی شیر در شکل‌های ۶ و ۷ آمده است. همچنین شکل ۸ الگوی جریان و جهت خطوط جریان در یک مقطع از شیر خودکار بررسی شده را نشان می‌دهد. با توجه به الگوی توزیع فشار نشان داده شده در شکل ۶، اختلافی در نتایج مربوطه به سه مدل مشاهده می‌شود که به دلیل تفاوت در تئوری مربوط به آشفتگی سه مدل استفاده شده است. هرچند که الگوی توزیع فشار در سه شکل تقریباً یکسان به نظر می‌رسد ولی در مقدار فشارها تفاوت قابل توجه است به طوری که در مدل K-ε Standard تغییرات فشار در محل سوپاپ شیر بیشتر از دو مدل دیگر می‌باشد باین حال همان گونه که در شکل

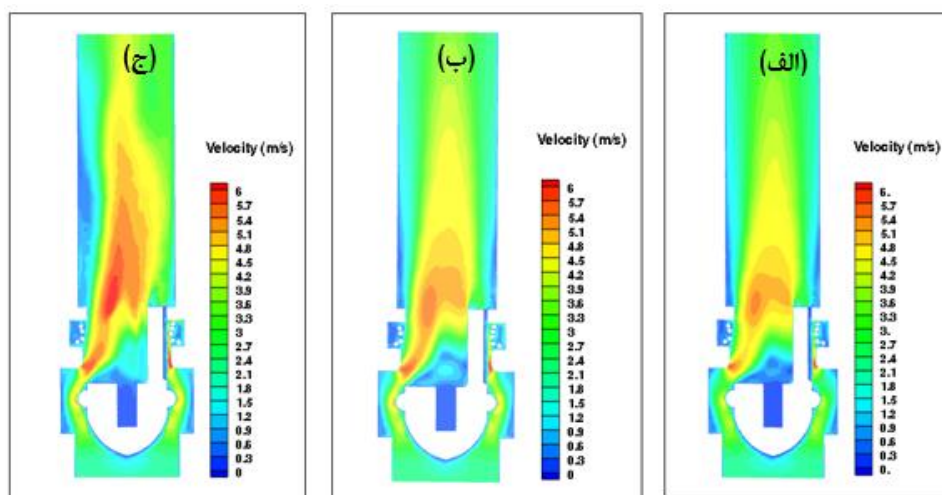
۶ مشخص است، فشار در طول مسیر، از قسمت ورودی تا خروجی شیر خودکار، کاهش می‌یابد و در خروجی نزدیک به صفر می‌شود. به علاوه بیشترین میزان افت فشار در طول یک چهارم ورودی شیر خودکار می‌باشد. نکته دیگر اینکه افت فشار در اثر ورودی و خروجی در دو مدل دیگر، ناچیز بوده و بخش عمده فشار در طول مسیر مستهلک می‌شود در حالی که در بخش ورودی و اطراف سوپاپ بیشترین افت فشار در مدل K-ε استاندارد رخ داده است. در واقع به دلیل تغییرات مسیر جریان و وجود سوپاپ، فشار در ناحیه سوپاپ باید به میزان بیشتری نسبت به سایر نواحی کاهش یابد که مدل K-ε Standard نسبت به سایر مدل‌های تلاطمی این کاهش را بهتر نمایش داده است. به عبارت دیگر هنگامی که جریان به سوپاپ می‌رسد

فشار، سرعت افزایش می‌یابد. در نتیجه بیشترین مقدار سرعت نیز در ناحیه سوپاپ رخ می‌دهد. شکل ۸ جهت خطوط جریان در دبی ۳/۸ لیتر بر ثانیه را در داخل شیر خودکار نمایش می‌دهد. با مقایسه سه شکل ارائه شده مربوط به سه مدل آشفتگی مختلف، بیشترین تغییرات سرعت در طول مسیر جریان و همچنین در شعاع جریان مربوط به مدل RNG K-ε می‌باشد در حالی که در مدل K-ε استاندارد این تغییرات حداقل مقدار خود را دارا می‌باشد. با توجه به تراکم زیاد خطوط جریان به منظور وضوح بیشتر خطوط جریان در مقطعی از شیر بزرگ‌نمایی شده است. بررسی توزیع سرعت در سطح عمود بر جهت جریان در محل سوپاپ که بیشترین تغییرات فشار در این بخش اتفاق افتاده برای مدل K-ε استاندارد در شکل ۹ نشان داده شده است.

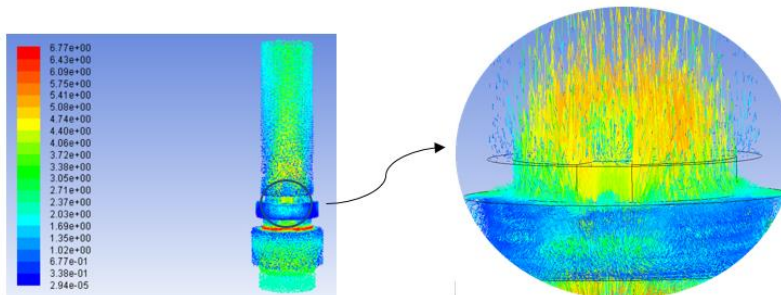
به دلیل تنگ‌شدگی مجرای جریان و تغییر جهت جریان، افت موضعی بسیاری اتفاق می‌افتد و باعث استهلاک انرژی هیدرولیکی می‌شود. طبق مطالعات صورت گرفته توسط قره‌باغی و همکاران (۱۳۹۶)، میزان تاثیر هر یک از اجزای متحرک داخلی شیر خودکار بر مقدار افت فشار موضعی به‌طور کمی بررسی گردید و نتایج نشان داد که بین $\pm 1\%$ درصد میزان افت فشار موضعی در شیرهای خودکار به دلیل وجود سوپاپ می‌باشد. بررسی الگوی جریان و مقادیر سرعت در شکل ۷ نشان می‌دهد که سرعت جریان از بخش میانی به نزدیکی دیواره‌ها کاهش می‌یابد. همچنین به علت کاهش قطر در خروجی، مقدار سرعت در خروجی نیز نسبت به ورودی بیشتر می‌باشد. به علاوه با مقایسه شکل‌های ۶ و ۷ به راحتی می‌توان دریافت که با کاهش



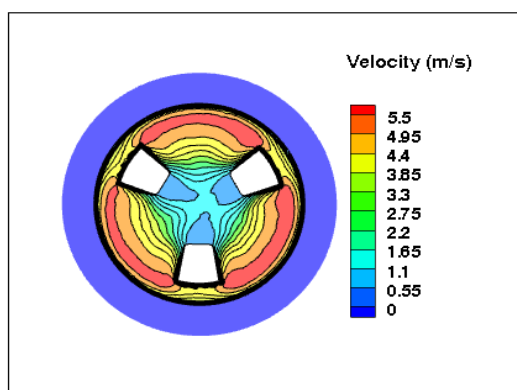
شکل ۶- توزیع فشار در مدل‌های تالامی (الف). K-ε Standard (ب). K-ε Realizable (ج). K-ε RNG در دبی ماکزیمم



شکل ۷- توزیع سرعت در مدل‌های تالامی (الف). K-ε Standard (ب). K-ε Realizable (ج). K-ε RNG در دبی ماکزیمم



شکل ۸- بردارهای سرعت در شیر خودکار در دبی ۳/۸ لیتر بر ثانیه مدل K-ε Standard



شکل ۹- توزیع سرعت در مقطع عرضی در فاصله یک‌چهارم طول شیر از ورودی

ماکزیمم، میانی و مینیمم بکار رفته در آزمایشگاه طبق رابطه ۹ و با به کار بردن نتایج افت فشار موضعی حاصل از مدل K-ε Standard محاسبه گردیده و متوسط ضریب افت فشار موضعی نیز از طریق میانگین حسابی ۵ عدد حاصله به دست آمده است. در جدول ۵ نتایج حاصل از حل عددی با نتایج حاصل از آزمایشگاه مقایسه شده و درصد خطا نسبی بین مقادیر عددی و آزمایشگاهی ارائه شده است. با توجه به نتایج نشان داده شده در جدول ۵ می‌توان گفت که ضرایب افت فشار موضعی حاصل از حل عددی بسیار نزدیک به نتایج حاصل آزمایشگاهی می‌باشد.

همان‌گونه که از این شکل مشخص است تغییرات سرعت در یک مقطع عرضی از سوپاپ بین ۰ تا ۵/۵ متر بر ثانیه متغیر می‌باشد. به‌گونه‌ای که سرعت در بین سه‌پایه‌ها کمتر و در مجاورت آن‌ها بیشتر می‌باشد علت اصلی آن وجود سوپاپ به‌صورت یک مانع در جهت جریان بوده و در این محل بردارهای سرعت حدود ۹۰ درجه تغییر جهت داده و می‌توان گفت در جهت جریان تمام بار سرعت به بار فشاری تبدیل می‌گردد. علاوه بر نتایج فوق، طبق شکل ۹ توزیع سرعت در مقطع بررسی شده کاملاً متقارن می‌باشد که دلیل آن برابر بودن زاویه بین پایه‌های سوپاپ بوده و دلیل بر صحت نتایج می‌باشد.

بررسی ضریب افت فشار موضعی

ضریب افت فشار موضعی (K) برای هر کدام از دبی‌های

جدول ۵- ضرایب افت فشار موضعی

دبی (لیتر بر ثانیه)	ضریب افت فشار تجربی	ضریب افت فشار (عددی)	خطای نسبی (درصد)
۳/۸	۹	۸/۹۷	-۰/۳
۳	۸/۷۴	۹	۲/۹۷
۲/۵	۸/۹۹	۸/۸۸	۱/۳۲
۲	۸/۷	۸/۸۹	۲/۱۸
۱/۳۵	۸/۸۹	۸/۵۷	۳/۶

کمریندها در سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، شماره ۸۲-۴.

صفوی منش، س.، جریره، م. و رجبی، م. ۱۳۹۵. مدل‌سازی جریان آشفته یک زانویی مخلوط کننده با استفاده از نرم‌افزار فلونت. اولین کنفرانس بین‌المللی دستاوردهای نوین پژوهشی در مکانیک، مکترونیک و بیومکانیک، تهران، کنفدراسیون بین‌المللی مخترعان جهان (IFIA)، دانشگاه جامع علمی کاربردی.

صنعی نژاد، م. ۱۳۸۳. مقدمه‌ای بر مفاهیم جریان‌های آشفته و مدل‌سازی آن‌ها. ویرایش سوم، فصل سوم، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، تهران.

قره‌باغی، پ.، احمدی، ح.، همتی، م. و رضوردی نژاد، و. ۱۳۹۶. بررسی عددی میزان افت فشار و الگوی جریان در شیر خودکار، شانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.

مجد سلیمی، ک.، صلواتیان، س. ب. و امیری، ا. ۱۳۹۴. ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک اجراشده در باغ‌های چای استان گیلان، نشریه آب، خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۹: ۳۳۶-۳۴۹.

Chattopadhyay, H., Kundu, A., saha, B.K and Gangopadhyay, T. 2012. Analysis of flow structure inside a spool type pressure regulating valve. Energy Conversion and Management. 53.1: 196-204.

Edvardsen, S., Alberto Dorao, C and Jorgen Nydal, O. 2015. Experimental and numerical study of single-phase pressure drop in downhole shut-in valve, Journal of Natural Gas Science and Engineering. 22: 214-226.

Francis, A.L. 2002. Evaluation of the technical performance of a low cost drip irrigation system for small holder farmers. University Of Ghana, Chapter One.

FLUENT 15. 2013. User's Guide, ANSYS, Inc.

FLUENT 16. 2014. Theory Guide, ANSYS, Inc.

Hinze, J.O. 1975. Turbulence. McGraw-Hill Publishing Co. New York.

Mahnamfar, F and Altunkaynak, A. 2017. Comparison of numerical and experimental analyses for optimizing the geometry of OWC systems, Ocean Engineering. 130: 10-24.

Meneveau, C and Katz, J. 2000. Scale-invariance and turbulence models for Large-Eddy-Simulation. Annual Review of Fluid Mechanics. 32, no 1.1-32

همچنین متوسط ضرایب افت فشار آزمایشگاهی برابر با ۸/۸۷ و متوسط این ضرایب در حل عددی نیز برابر با ۸/۸۶ می‌باشد، در نتیجه خطا برابر با ۰/۱ درصد می‌باشد مطابق نتایج به دست آمده از آزمایش‌ها بر روی شیر خودکارهای مختلف هم‌اندازه، دامنه تغییرات ضریب افت فشار موضعی از ۵/۵۱ الی ۱۲/۳۹ منطقی بوده و همان‌طور که مشخص است مقادیر عددی ضریب افت فشار موضعی در بازوی معرفی شده می‌باشد پس می‌توان به منطقی بودن نتایج به دست آمده از حل عددی پی برد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق بیانگر آن است که بیشترین میزان افت فشار در طول یک‌چهارم اولیه شیر خودکار است همچنین توزیع سرعت در مقطع عرضی به صورت متقارن می‌باشد. مقدار افت فشار در اثر ورودی و خروجی شیر ناچیز بوده و بخش عمده فشار در طول مسیر مستهلک می‌شود. می‌توان گفت به طور تقریبی ۹۰ درصد میزان استهلاک فشار در این نوع از شیرها به علت وجود سوپاپ می‌باشد. زمانی که جریان به سوپاپ می‌رسد به دلیل کاهش سطح مقطع عبور جریان افت موضعی زیادی اتفاق می‌افتد که عمده‌ترین دلیل استهلاک انرژی هیدرولیکی می‌باشد. نتایج نشان داد که رابطه دبی و فشار در شیر خودکار به صورت توانی با توان نزدیک به دو می‌باشد. همچنین تعیین گردید که متوسط خطاهای نسبی در سه مدل تلاطمی K-ε Standard، K-ε Realizable و K-ε RNG نسبت به نتایج آزمایشگاهی به ترتیب برابر با ۲/۵، ۲۰ و ۲۴ درصد می‌باشد. در نتیجه مدل K-ε Standard خطای کمتری را در برآورد افت فشار موضعی و به دنبال آن ضریب افت فشار موضعی در شیر خودکار باعث می‌شود.

منابع

آقایی راد، ا. و رهبر، ا. ۱۳۸۱. استاندارد تجهیزات آبیاری تحت فشار، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۶۸: ۲۲۳.

دلغندی، م.، برومند نسب، س. و بهزاد، م. ۱۳۸۹. بررسی و تحلیل خصوصیات هیدرولیک جریان در مجاری ریز قطره‌چکان‌های ماریچی با استفاده از نرم‌افزار FLUENT، نشریه آب و خاک. ۲۴: ۴: ۶۹۹-۷۱۴.

دلغندی، م.، برومند نسب، س.، بهزاد، م. و قلمباز، م. ۱۳۸۸. مطالعه هیدرولیک جریان درون قطره‌چکان‌ها با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی، مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۳: ۱: ۶۸-۵۷.

رشیدی، م. س.، رضا وردی نژاد، و.، رضایی، ح. و معروف پور، ع. ۱۳۹۳. بررسی میزان افت فشار موضعی انواع شیرهای خودکار و

- Soe,th.m and Khaing,s.y. 2017. Comparison of turbulence models for computational fluid dynamics simulation of wind flow on cluster of buildings in mandalay, international journal of scientific and research publications. 7.8: 337-350.
- Wang,H.M., Zhao,Y., Wang,J.X., Kong,X.SH., Liu,H., Li,K.L and Wang,X.F. 2016. Numerical simulation of flow characteristics for a labyrinth passage in a pressure valve, Journal of Hydrodynamics. 28.4: 629-636.
- Wu,D., Li,S.H and Wu,P. 2015. CFD simulation of flow-pressure characteristics of a pressure control valve for automotive fuel supply system, Energy Conversion and Management. 101: 658-665.
- Moriasi,D.N., Arnold,J.G., Van Liew,M.W., Harmel,R.D and Veith,T.L. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulation, American society of agriculture and biological engineers. 50.30: 885-900.
- Nash,J.E., and Sutcliffe,J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models: Part 1. A discussion of principles, Journal of Hydrology. 10.3: 282-290.
- Qian,J.Y., Gao,Z.X., Wang,J.K and Jin,Z.J. 2017. Experimental and numerical analysis of spring stiffness on flow and valve core movement in pilot control globe valve, International Journal of Hydrogen Energy. 42: 17192- 17201.

Simulation of Flow Local Pressure loss in Quick Valves for Sprinkler Irrigation Systems

P. Gharebaghi¹, H. Ahmadi^{2*}, M. Hemmati³, V. R.verdinejad⁴

Received: Dec.01, 2017

Accepted: Feb.07, 2017

Abstract

The improper estimation of the pressure loss inside the quick valve is one of the reasons for low pressure in the sprinklers, which can lead to improper operation of the sprinklers. By studying the pressure loss and flow pattern, it will be possible to modify and reduce the amount of flow pressure loss in quick valve. In this study, using Computational Fluid Dynamics (CFD), flow behavior in the quick valve has been investigated to obtain the speed and pressure distribution and relation between pressure loss and flow rate in 1.35, 2, 2.5, 3, 3.8 liters per second discharges. For this purpose, the dimensions of different sections of a quick valve are determined using a digitally caliper, then the flow inside the valve has been simulated by various turbulent models. The results of the numerical solution showed that simulation results in the K-ε Standard turbulence model are more in line with the experimental results and the average of prediction error rate in five flow rates is 2.5 percent and the average amount of local pressure loss coefficient is 8.86 based on this model.

Keywords: Local pressure loss, Quick valve, Sprinkler Irrigation Systems, Computational Fluid Dynamic

1- MSc Student of Hydraulic Structure, Urmia University

2- Associate Professor of Water Engineering Department, Urmia University

3- Assistant Professor of Water Engineering Department, Urmia University

4- Associate Professor of Water Engineering Department, Urmia University

(*- Corresponding Author Email:h.ahmadi@urmia.ac.ir, hojjat.a@gmil.com)