

## بررسی تأثیر سرعت بر جدایی ستون آب با بکارگیری روش CFD

سکینه صفری<sup>۱</sup>، مهدی اژدری مقدم\*<sup>۲</sup>، عبدالحمید بحرپیما<sup>۳</sup>، محمد گیوه‌چی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکترا، گروه عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

۲- استاد، گروه عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۳- دانشیار، گروه عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

۴- استادیار، گروه عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

Email: mazhdary@eng.usb.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۲/۹/۱۲]

تاریخ دریافت: [۱۴۰۱/۱۱/۱۱]

### چکیده

پدیده جدایی ستون آب یکی از رژیم‌های جریان گذرا می‌باشد که تحت شرایطی مانند بسته شدن ناگهانی شیر یا خاموشی پمپ در شبکه آبرسانی ایجاد می‌شود. نوسانات فشاری شدید و خسارات ناشی از پدیده مذکور شناسایی و ارائه راهکار جلوگیری از آن را الزامی می‌کند. در همین راستا در این مقاله با استفاده از روش دینامیک سیالات محاسباتی، به بررسی امکان رخ دادن جدایی ستون آب در یک شبکه آبرسانی حلقوی پرداخته شده است. در ادامه تأثیر سرعت ورودی بر فشارهای ایجاد شده ناشی از جدایی ستون آب مورد بررسی قرار گرفت. برای اعتبارسنجی نرم‌افزار، سیستم حلقوی ارائه شده توسط وانگ و همکاران (۲۰۱۷) انتخاب شد. بعد از اطمینان از کارایی نرم‌افزار برای مدل کردن پدیده مذکور، شبیه‌سازی با سرعت‌های مختلف انجام گرفت. بررسی نتایج شبیه‌سازی‌ها بیانگر رخ دادن جدایی ستون آب در شبکه مورد نظر بود. همچنین نتایج حاکی از آن بود که با افزایش سرعت ورودی مقدار ماکزیمم فشار در شبکه افزایش و مقدار مینیمم آن کاهش می‌یابد. به گونه‌ای که با افزایش ۱۲ درصدی سرعت ورودی مقدار فشار ماکزیمم ۱۱/۸ درصد و مقدار مینیمم ۱۴/۲۶ درصد تغییر می‌کنند. به بیان دیگر، با کنترل سرعت به عنوان عاملی مؤثر بر نوسانات فشار جدایی ستون آب، می‌توان از ایجاد این پدیده و خسارات ناشی از آن جلوگیری می‌شود.

**کلمات کلیدی:** جریان گذرا، جدایی ستون آب، سرعت، سیستم حلقوی، CFD.

۱- مقدمه

شبکه‌های آبرسانی جزء مهمترین زیرساخت‌ها در هر کشوری محسوب می‌شود [1]. برای طراحی این شبکه‌ها می‌توان ترکیب متفاوتی از ارتفاع مخزن، نوع پمپ و اندازه قطر لوله را انتخاب نمود ولی نکته مهم آن است که مهندس طراح باید گزینه‌ای را انتخاب کند که در بحرانی‌ترین شرایط جوابگوی نیاز آبی مصرف‌کنندگان باشد؛ علاوه بر این باید در طراحی خود پیشرفت شهر و نیازهای اضطراری را هم در نظر بگیرد [2]. جریان گذرا یکی از عوامل ایجاد شرایط بحرانی در شبکه‌های آبرسانی می‌باشد.

جریان گذرا<sup>۱</sup> جریانی است که تغییرات فشار و سرعت نسبت به زمان، در آن بسیار سریع می‌باشد. هر اغتشاشی در خطوط لوله از جمله تغییر شرط مرزی می‌تواند ویژگی‌های جریان را از حالت ماندگار به حالت جریان گذرا تغییر دهد. باز یا بستن سریع شیرها و یا ازکار افتادن پمپ ناشی از قطعی برق نمونه دیگری از عوامل ایجاد جریان گذرا می‌باشند [3]. جریان گذرا می‌تواند نیروهای فشار زیاد و افزایش سرعت مایعات را در یک سیستم لوله کشی ایجاد کند [4]. این جریان ممکن است پیامدهایی از جمله: بیشترین فشار در سیستم، وقوع شرایط خلاً محلی، لرزش هیدرولیکی لوله، تأثیر بر کیفیت آب و سلامتی، را در شبکه توزیع آب به همراه داشته باشد [5].

رژیم جریان گذرا را بر اساس وضعیت فیزیکی مایع و بیشترین فشار در سه طبقه مجزا شامل رژیم چکش آبی، رژیم جدایی ستون فعال و رژیم جدایی ستون غیر فعال تقسیم‌بندی می‌شود. جداسازی ستون در رژیم اخیر انتظار نمی‌رود، در حالی که در حالت رژیم فعال جدایی ستون آب می‌تواند فشاری بیش از حد مقادیر فشار در حالت فشار چکش آبی ایجاد کند [6, 7].

در توضیح پدیده جدایی ستون آب می‌توان این‌گونه بیان کرد که اگر در یک سیستم توزیع آب، فشار از فشار بخار مایع کمتر شود، حفره جریان ایجاد شده و ستون آب تقریباً به دو بخش مجزا تقسیم می‌شود. عدم تعادل در ناحیه جریان حفره‌ای

باعث ایجاد یک حفره بخار محلی می‌شود که در آن جریان خروجی بیشتر از جریان ورودی می‌باشد. هنگامی که جریان ورودی به حفره بیش از جریان خروجی شود یا به عبارت دیگر فشار در سیستم افزایش یابد، حفره شروع به خرد شدن می‌کند تا حجم آن به صفر برسد و دو ستون به هم متصل شوند. پس از فروپاشی حفره، تبادل مومنتوم بین ستون‌ها می‌تواند موج فشاری زیادی در کل سیستم هیدرولیکی ایجاد کند [6]. مقدار این افزایش فشار مستقیماً به تفاوت بین سرعت برخورد دو ستون و سرعت موج در لوله‌ها بستگی دارد که این تفاوت سرعت خود با بیشینه کردن حجم حفره هوا افزایش می‌یابد [6]. رخ دادن موارد واقعی از پدیده جدایی ستون آب [6, 8] نشان می‌دهد که افزایش فشار ناشی از پدیده مذکور می‌تواند آسیب‌های مالی و جانی به همراه داشته باشد. به این ترتیب بررسی جریان گذرا و پدیده جدایی ستون آب دارای اهمیت ویژه‌ای است.

بررسی تحقیقات گذشته بیانگر آن است که از دهه ۷۰ میلادی جریان گذرا در شبکه‌های آبرسانی، پروژه مربوط به نیروگاه‌های آبی و سیستم انتقال تحت فشار سیالات، مورد توجه ویژه قرار گرفته است. در ادامه به چندین نمونه از کارهای انجام شده پژوهشگران اشاره می‌شود.

پدیده جدایی ستون آب اولین بار توسط ژئوکوسکی<sup>۲</sup> در سال ۱۹۰۰ میلادی شناسایی و از دیدگاه کیفی بررسی شد [9]. برگانت<sup>۳</sup> و سیمپسون<sup>۴</sup> (۱۹۹۹) تحقیقی با هدف توسعه رویکردی برای شناسایی رژیم‌های جداسازی ستون آب برای طیف وسیعی از پارامترها، از جمله سرعت جریان اولیه، هد فشار و شیب لوله انجام دادند. در این تحقیق با دو روش آزمایشگاهی و حل عددی جریان متغیر سریع ناشی از بسته شدن شیر تویی را بررسی کردند. برای حل عدد روش‌های مدل حفره بخار گسسته (DVC<sup>۵</sup>)، مدل حفره گاز گسسته (DGCM<sup>۶</sup>) و مدل حفره بخار تعمیم یافته (GIVCM<sup>۱</sup>) بکار

2 Joukowsky

3 Bergant

4 Simpson

5 Discrete Vapor Cavity Model

6 Discrete Gas Cavity Model

1 Transients

ملکپور<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۴) به شناسایی شرایط ایجاد جدایی ستون آب در طول پر شدن سریع خط لوله پرداخته‌اند. در این راستا از روش‌های عددی منحنی مشخصه برای حل معادلات حاکم، مدل حفره گاز گسسته (DGCM) و بیان جداسازی ستون استفاده کرده‌اند. یافته‌های پژوهش بیانگر آن بود که پروفیل V شکل خط لوله به دنبال آن نقاط زانو مستلزم بروز جداسازی ستون آب هستند و مقدار افزایش فشارها ناشی از آن به شدت به ویژگی‌های هندسی و هیدرولیکی پروفیل بستگی دارد [12].

توایمن کوئیلودران<sup>۵</sup> (۲۰۱۸) به تجزیه و تحلیل پدیده جدایی ستون آب بر اساس مدل جدایی حفره بخار (DVCM) با توجه به روش منحنی مشخصه اعمال شده روی یک سیستم پمپاژ واقعی پرداخته است. بررسی حساسیت پارامترهای موثر بر مدل با تأکید ویژه بر طول حفره هوا و چگونگی تقسیم شبکه، بیانگر آن است که نتایج به پارامترهای اولیه و شکل چگونگی تفکیک شبکه بستگی دارد. یکی از معایب DVCM این است که فروپاشی چند حفره ممکن است موجب افزایش ناگهانی فشار در هنگام افزایش تعداد شبکه نسبتاً زیاد شود. به همین دلیل وقتی که تعداد دسترسی‌ها محدود می‌شود، مدل DVCM نتایج دقیقی را به دست می‌آورد [13].

با توجه به فشارهای بیش از حد ناشی از چکش آبی در سیستم‌های لوله‌کشی آب، شبیه‌سازی آن اهمیت ویژه‌ای دارد. ژانگ<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۸) با هدف پیش‌بینی فشار گذرا ناشی از بسته شدن شیر در یک لوله گرانشی با حباب هوای مداوم، یک مدل عددی بر اساس Lax-Wendroff Method (LWM) معرفی کردند. در مقایسه با روش‌های قبلی، این مطالعه با در نظر گرفتن تأثیر سرعت جریان لوله بر انتشار موج برای شبیه‌سازی فرآیندهای گذرا، گزینه دیگری را فراهم کرده است. در کنار حل عددی یک سری آزمایش برای بهینه‌سازی مدل عددی انجام شده است. بر اساس نتیجه آزمایشی، یک تابع اصطکاک اضافی برای ارزیابی تأثیر محتوای هوا در میرایی ارائه

گرفته شد. نتایج عددی حاصل از سه مدل جداسازی ستون با نتایج اندازه‌گیری‌ها برای تعدادی از رژیم‌های جریان که با بسته شدن سریع یک شیر پایین دست در دستگاه آزمایشگاهی خط لوله شیب‌دار آغاز شده‌اند، مقایسه شد. نتایج مقایسه نشان دادند که مدل حفره بخار آب تعمیم یافته GIVCM پدیده‌های جداسازی ستون واقعی را بهتر از دو مدل دیگر تحلیل می‌کند و در نتیجه، بینش بهتر در مورد رویداد گذرا را امکان‌پذیر می‌سازد. در نهایت طبقه‌بندی جدیدی از جداسازی ستون به صورت رژیم فعال، غیر فعال و چکش آبی ارائه شد [7].

مدل حفره بخار گسسته (DVCM) به طور گسترده برای شبیه‌سازی جریان گذرا به کار برده می‌شود. این مدل ممکن است به علت فروپاشی چند حفره بخار، پالس‌های فشار ناگهانی ایجاد کند. برگانت و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی دقیق راهکار پیشنهادی برای رفع عیب مدل DVCM پرداخته‌اند. آنها با تنظیم زمان برای شروع و فروپاشی حفره در مدل، به عنوان روشی برای بهبود مدل، تأثیر آن روی موج‌های فشار را مشاهده کردند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که تنظیم زمان انقباض حفره تأثیر بیشتری بر نوسانات فشار نسبت به تنظیم زمان برای باز شدن حفره دارد [10].

آدامکوفسکی<sup>۲</sup> و لواندوفسکی<sup>۳</sup> (۲۰۰۹) در کار تحقیقاتی یک روش جدید بر مبنای مدل حفره بخار مجزا (DVCM)، برای محاسبه افزایش فشار ناشی از جدایی ستون آب، را معرفی کرده‌اند. مدل پیشنهادی جدید (DVCM جدید) بهبود قابل توجهی در قابلیت اطمینان پیش‌بینی‌ها در مقایسه با DVCM‌های موجود (به ویژه در فشارهای ماکزیمم در ابتدای دوره تحلیل)، را به ارمغان می‌آورد. علاوه بر این، نویسندگان این مقاله به اعتبارسنجی اولیه برای مدل پیشنهادی با نتایج مدل آزمایشگاهی، پرداخته‌اند. نتایج مثبت این بررسی‌ها و مزایای DVCM جدید، این روش را می‌تواند در کدهای تجاری ترکیب کرد [11].

4 Malekpour  
5 Twyman Quilodrán  
6 Zhang

1 Generalized Interface Vapor Cavitation Model  
2 Adamkowski  
3 Lewandowski

ملکپور و شی<sup>۳</sup> (۲۰۱۸) [17]، ژئو و همکاران (۲۰۱۸) [18]، تودینی<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۲۱) [19]، اشاره نمود. وارد<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۲۰) رویدادهای گذرا چکش آب و جداسازی ستون در یک سیستم خط لوله آب به صورت سه بعدی بررسی کردند. در این تحقیق از نرم افزار ANSYS Fluent برای شبیه سازی جریان گذرا استفاده شده است. برای اعتبارسنجی روش تحقیق نتایج عددی با نتایج یک کار آزمایشگاهی انجام شده توسط برگانت و سیمپسون در سیستم مخزن-لوله-شیر مقایسه شد. مقایسه ها نشان می دهد که روش حاضر نتایج مطلوبی را به همراه دارد. در واقع مدل سه بعدی به تصویب رسیده از نظر فیزیکی نسبت به مدل های یک بعدی موجود برتر است زیرا محدودیت مدل های یک بعدی را برطرف می کند. علاوه بر این، مدل های یک بعدی به دلیل تغییر چگالی دو فاز قادر به پیش بینی اثر طبقه بندی نیستند. در نتیجه، مدل سه بعدی بهتر از مدل های یک بعدی می تواند پدیده جداسازی ستون مایع و اتصال مجدد آن در لوله ها را تجسم کند [20].

محمدی و آقائی (۱۴۰۰) در پژوهشی به بررسی ضربه قوچ حاصل از بسته شدن سریع شیر در سیالات مختلف پرداخته اند. آنها با به کارگیری نرم افزار ANSYS Fluent شبیه سازی برای دو سیال روغن با لزجت بالا و رژیم آرام و آب با رژیم آشفته انجام داده اند. در این پژوهش تأثیر پارامترهای ضخامت لوله، طول لوله و جنس لوله بر شدت ضربه قوچ بررسی شد. تجزیه و تحلیل نتایج نشان داد که با کاهش ضخامت لوله و طول آن می توان شدت ضربه قوچ را به طور قابل توجهی کاهش داد [21].

برای درک فیزیکی بهتر پدیده جدایی ستون آب شبیه سازی عددی با بکارگیری روش های CFD<sup>۶</sup> پیشنهاد می شود. از جمله نرم افزارهایی که بدین منظور استفاده می شود نرم افزار ANSYS Fluent است؛ که توسط وانگ و همکاران (۲۰۱۶) [22]، یانگ و همکاران (۲۰۱۷) [23] و ژانگ و همکاران (۲۰۲۱) [24]، برای

شد. در نتیجه با معرفی عملکرد اصطکاک اضافی، مدل بهبود یافته می تواند با دقت بیشتری میزان میرایی چکش آب را در لوله گرانشی با حباب هوای مداوم شبیه سازی کند. مقایسه نتایج آزمایش ها با مدل عددی نشان داد روش بهبود یافته LWM در پیش بینی دقیق فرآیندهای چکش آب به ویژه در سیستم آبرسانی حاوی هوا، توانایی خوبی دارد [14].

برای آشکار کردن سازوکار رشد کاویتاسیون و فروپاشی در بالادست و پایین دست خط لوله آب-هیدرولیک، جیانگ<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۸) روش تفاضل محدود<sup>۲</sup> (FDM) را برای تعیین فشار گذرا ناشی از تغییرات ناگهانی در سرعت سیال پیشنهاد کردند. در مرحله اول، مدل دینامیکی حجم کاویتاسیون در طول فشار گذرا به دست آورد. سپس، مدت زمان ظهور کاویتاسیون و تغییرات حجم مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. علاوه بر این، مدل نیروی اصطکاک با اقلام ناپایدار ثابت و وابسته به فرکانس در مدل دینامیکی پیشنهاد کردند. با مقایسه نتایج تجربی (برای حالت با کاویتاسیون نتایج سانادا و همکاران (۱۹۹۰) و حالت بدون کاویتاسیون نتایج ویتکوفسکی و همکاران (۲۰۰۶))، نتایج شبیه سازی محاسباتی تأیید شد تا نشان دهد که FDM پیشنهادی برای تخمین فشار گذرا دارای دو مزیت زیر است:

الف) FDM با نتایج تجربی سازگار است و بهبود نسبت به MOC از نظر اختلاف فاز و بزرگی پیک های فشار.

ب) FDM نه تنها بزرگی پیک های فشار، بلکه تغییرات در حجم کاویتاسیون را برای هماهنگی فشار گذرا با و بدون کاویتاسیون تخمین می زند.

با توجه به نتایج، مقادیر FDM بسیار مطلوب تر از MOC است [15].

در بیشتر پژوهش های انجام شده روی جریان گذرا و جدایی ستون آب با ارائه مدل های عددی و اصلاح آنها به تحلیل جریان پرداخته اند. از جمله این پژوهش ها می توان به ابوزیاده و همکاران (۲۰۱۳) [4] ژئو و همکاران (۲۰۱۸) [16]،

3 She  
4 Todini  
5 Warda  
6 Computational Fluid Dynamics

1 Jiang  
2 Finite Difference Method

شبیه‌سازی دویعدی و سه بعدی پدیده مورد نظر استفاده شده است.

بررسی تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد سرعت جریان یکی از عوامل تأثیرگذار در ویژگی‌های جریان گذرا می‌باشد ولی در پژوهش‌های گذشته به بررسی تأثیر سرعت بر جریان گذرا و پدیده جدایی ستون آب پرداخته نشده است. از طرفی در بیشتر این موارد فقط معرفی پدیده جدایی ستون آب و تحلیل عددی آن مطالعه شده است. با توجه به خلا دانشی درباره جدایی ستون آب و عوامل موثر بر آن در این مقاله سعی بر آن شده است تا با بکارگیری نرم‌افزار ANSYS Fluent به بررسی تأثیر سرعت جریان بر پدیده جدایی ستون آب پرداخته شود.

## ۲- مدل عددی

یکی از قدرتمندترین نرم‌افزارها برای شبیه‌سازی عددی سیال در روش CFD، نرم‌افزار ANSYS Fluent می‌باشد. در این نرم‌افزار روش حجم محدود در هندسه گسسته‌سازی شده محیط جریان، برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی انواع جریان‌های آرام و آشسته استفاده می‌شود [25].

در زیر مراحل مدل‌سازی با این نرم‌افزار به صورت خلاصه آورده شده است:

۱- ایجاد مدل: برای رسم هندسه مورد بررسی از نرم‌افزار Design Modeling استفاده شد که امکان اجرای هندسه سه بعدی را به کاربر می‌دهد.

۲- مش‌بندی شبکه حل: یکی از حساس‌ترین مراحل شبیه‌سازی انتخاب مش مناسب برای مدل کردن هندسه می‌باشد. بعد از رسم هندسه در نرم‌افزار Design Modeling هندسه وارد مرحله بعدی یعنی meshing می‌شود. با انجام حساسیت‌سنجی مش، مش با شکل چهار وجهی<sup>۱</sup> و اندازه متوسط برای شبیه‌سازی انتخاب شد چراکه علاوه بر مدل کردن درست هندسه شبکه، از نظر حجم محاسباتی و زمان شبیه‌سازی معقول‌تر می‌باشد. مش مورد نظر دارای ۸۹۶۴۴ گره و ۴۰۳۵۲۰

1 Tetrahedron

المان و میانگین کیفیت شبکه ایجاد شده در شبکه برابر ۰/۸ می‌باشد.

## ۳- انتخاب مدل آشفتگی مناسب

انتخاب مدل آشفتگی صحیح برای یک جریان، همواره یکی از مسائل اساسی در شبیه‌سازی‌های عددی بوده و هست. برای انتخاب مدل آشفتگی مطلوب کاربر باید بین دقت نتایج مدل‌سازی و هزینه محاسباتی (شامل میزان و حجم محاسبات، همگرایی حل و زمان حل) تعادلی برقرار کند [26]. از آنجایی که یکی از شرایط مهم در شبیه‌سازی‌های مد نظر، شرایط جریان دوفازی می‌باشد در نتیجه انتخاب مدل آشفتگی بر اساس میزان همگرایی در این شرایط انجام می‌گیرد. شبیه‌سازی با شرایط یکسان برای سه مدل آشفتگی انجام گرفته است که در جدول (۱) مشخصات شبیه‌سازی انجام شده برای انتخاب مدل آشفتگی آورده شده است.

جدول ۱. خلاصه اطلاعات شبیه‌سازی با مدل آشفتگی متفاوت

Simulation specifications	Simulation time(hours)	Results
Two-phase flow K- $\omega$ SST	20	The convergence chart has high volatility, which is in the range of 0.01
Two-phase flow K- $\epsilon$ RNG	20	Convergence is about 0.01
Two-phase flow K- $\epsilon$ Standard	20	Convergence has reached $10^{-4}$

Table 1. Summary of simulation information with different turbulence models

طبق نتایج ارائه شده در جدول (۱) زمان شبیه‌سازی برای هر سه مدل آشفتگی یکی بود، پس مدل آشفتگی بر اساس همگرایی حل انتخاب می‌شود. برای تحقیق مورد نظر مدل آشفتگی K- $\epsilon$  Standard به عنوان مدل آشفتگی شبیه‌سازی انتخاب می‌شود.

۴- ویژگی‌های سیال: در این شبیه‌سازی دو سیال آب و هوا که مشخصات آن در جدول (۲) آمده، معرفی می‌شود.

جدول ۲. مشخصات سیال

Fluids	Viscosity ( $kg/m.s$ )	density ( $kg/m^3$ )
Air	$1.789 \times 10^{-5}$	1.225
Water	0.001003	998.2

Table 2. Fluid specifications

#### ۷-۱- درستی آزمایشی نرم افزار

برای درستی آزمایشی نرم افزار ANSYS Fluent مقاله وانگ و همکاران (۲۰۱۷) انتخاب شد. وانگ و همکاران با استفاده از یک مدل الاستیک، به صورت عددی پر شدن سریع خط لوله حلقوی را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده اند. سیستم مورد مطالعه در مقاله مرجع در شکل (۲) نشان داده شده است که متشکل از ۴ لوله با طول های ۶،۳، ۹ و ۱۰ متر با قطر ثابت ۱۰۰ میلی متر می باشد. جریان آب توسط یک مخزن با ارتفاع ۱۳ متر تأمین می شود. همه لوله ها دارای ضریب اصطکاک دارسی- وایزباخ ۰/۰۲ و سرعت موج یکسان ۱۰۰۰ متر بر ثانیه هستند. یک شیر کنترل با ضریب افت هد ۰/۸ در فاصله ۱ متری مخزن نصب می شود. در ابتدا شیر کنترل به طور کامل بسته می شود [28]. طبق داده های مقاله مرجع شرط مرزی ورودی و خروجی فشار برای شبیه سازی اعمال شد.

طبق مراحل ذکر شده در بخش ۲، شبیه سازی جریان برای دو حالت وجود هوا و بدون حضور هوا انجام شد. نتایج شبیه سازی انجام شده با داده های مقاله مرجع مورد مقایسه قرار گرفت. در شکل (۳) طول ستون آب هر یک از لوله ها، برای حالتی است که در شبکه مورد بررسی هوا وجود دارد و به صورت جداگانه نشان داده شده است. در واقع این نمودارها بیانگر زمان پر شدن هر یک از لوله ها می باشد.

همانطور که در شکل (۳) مشاهده می شود متوسط خطای موجود بین نتایج شبیه سازی با نتایج عددی ۱۴ درصد می باشد؛ در نتیجه نتایج شبیه سازی با نرم افزار مورد نظر با نتایج مقاله مرجع تقریباً هم خوانی دارد. یکی از دلایل ایجاد خطا می تواند عدم دسترسی به داده های خام و استخراج داده از روی نمودار مقاله مرجع با استفاده از نرم افزار GetData Graph Digitizer باشد. بررسی نتایج شبیه سازی برای شرایط بدون حضور هوا نیز بیانگر هماهنگی این نتایج با نمودارهای مقاله می باشد. این بخش از تحقیق نشان می دهد که نرم افزار ANSYS Fluent برای شبیه سازی جریان گذرا در یک سیستم حلقوی مناسب است.

#### ۴- انتخاب شرط مرزی

شرایط مرزی ورودی و خروجی در این شبیه سازی فشار انتخاب شد. هنگام تنظیم شرایط مرزی برای شبیه سازی CFD، اغلب لازم است که شدت آشفتگی<sup>۱</sup> در ورودی ها محاسبه شود. برای محاسبه این ضریب از معادله (۱) استفاده می شود:

$$I = 0.16 Re^{-\frac{1}{8}} \quad (1)$$

که در آن:

Re: عدد رینولدز جریان

I: شدت آشفتگی می باشد [27].

#### ۵- ایجاد شرایط اولیه

گزینه patch این امکان را به کاربر می دهد تا شرایط اولیه را در شبیه سازی اعمال کند. در این تحقیق از این گزینه به منظور اعمال فاز اولیه هوا در جریان دوفازی استفاده می شود ( شکل در پیوست ارائه شده است).

#### ۶- انتخاب گام زمانی شبیه سازی

انتخاب گام زمانی بزرگ، زمان و حجم مورد نیاز برای ذخیره شبیه سازی را کم می کند در حالی که گام زمانی کوچک همگرایی مسئله را بالا می رود و حجم و زمان شبیه سازی را نیز افزایش می دهد. در انتخاب گام زمانی معیار همگرایی را اولویت قرار داده و بر این اساس گام زمانی کوچک انتخاب گردید. در این تحقیق گام زمانی برای تمام شبیه سازی ها ۰/۰۰۰۵ ثانیه می باشد.

#### ۷- تجزیه و تحلیل نتایج

I turbulence intensity

شکل ۲: شماتیک از سیستم مورد مطالعه [۲۸]

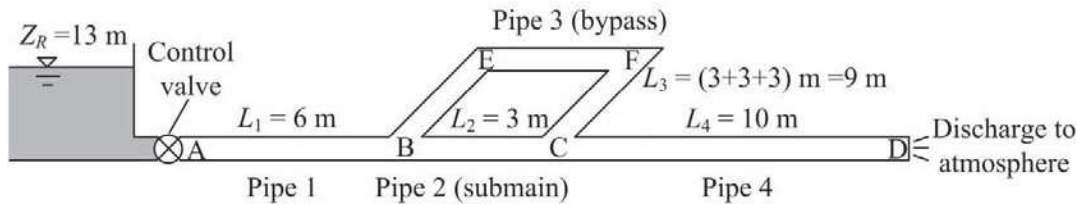


Fig. 2. Schematic of the studied system [28]

شکل ۳. تغییرات طول ستون آب با زمان در حالت وجود توده هوا (الف) لوله ۱، (ب) لوله ۲، (ج) لوله ۴

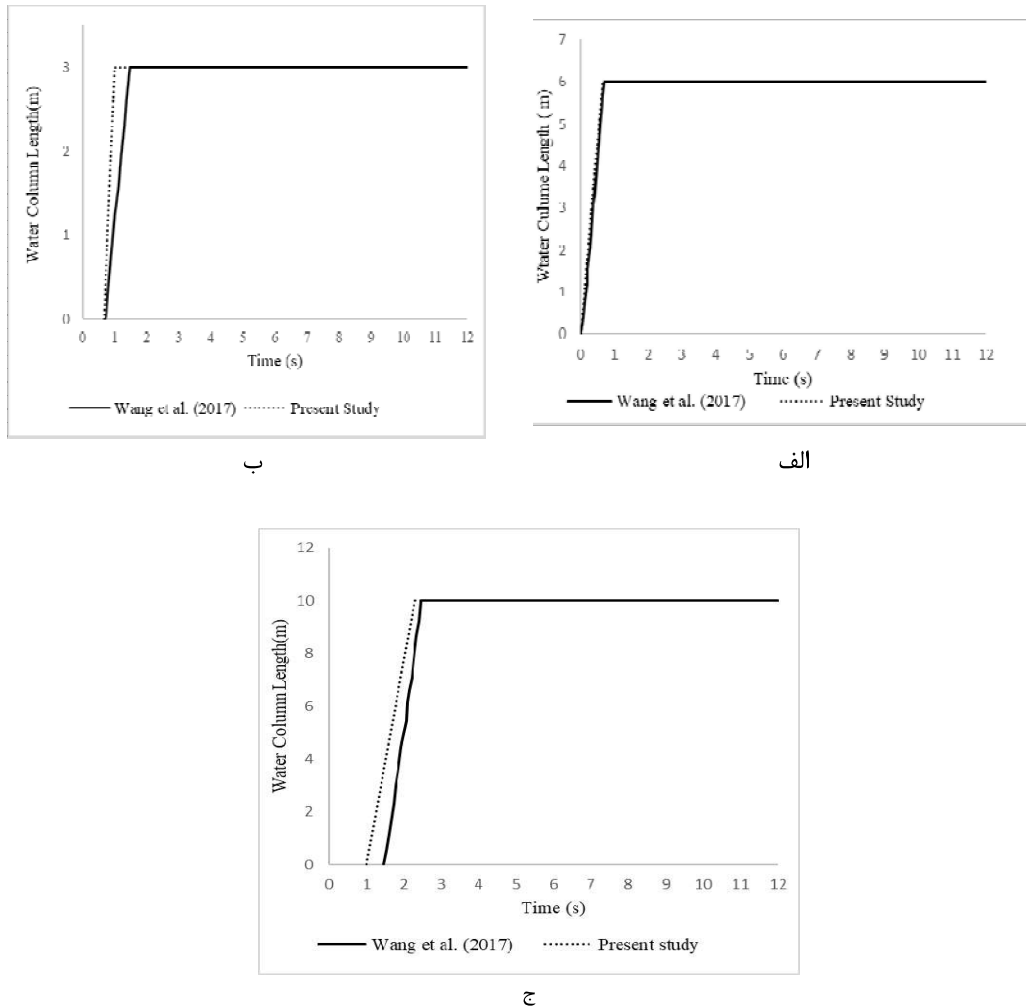


Fig. 3. Changes in the length of the water column with time in the presence of air masses a) pipe 1, b) pipe 2, c) pipe 4

نرم افزار با نتایج ارائه شده توسط مقاله هماهنگی دارد. بیشترین میزان درصد خطا مقدار شبیه سازی شده از داده های مقاله برابر با ۷ درصد می باشد.

برای اطمینان بیشتر، نموداری دیگر از مقاله مرجع انتخاب شد که در آن تغییرات فشار خروجی از شیر کنترل را نشان می دهد. شکل (۴) نشان داده که تغییرات فشار حاصل از خروجی

تفاوت بین شبیه‌سازی این مرحله از پژوهش با درستی‌آزمایی در شرایط مرزی انتخابی می‌باشد. با توجه به هدف اصلی شبیه‌سازی‌ها (بررسی تغییرات سرعت) شرط مرزی ورودی، سرعت ورودی<sup>۱</sup> در نظر گرفته شد. از طرف دیگر برای رخ دادن جدایی ستون آب باید شرایطی مانند بسته شدن ناگهانی شیر یا خاموشی پمپ در شبکه رخ دهد. در این مسئله شرط بسته شدن ناگهانی شیر به عنوان عامل ایجاد پدیده موردنظر انتخاب شده است که در شرط مرزی تعریف می‌شود. برای تعریف شرط مرزی سرعت ورودی از UDF<sup>۲</sup> استفاده شد [20]. UDF این امکان را به کاربر می‌دهد تا تغییرات مدنظر (در اینجا تغییرات سرعت) را به صورت تابع برای نرم‌افزار تعریف کند. لازم به ذکر است که برای هر مقدار سرعت باید UDF جداگانه‌ای نوشته شده و در نرم‌افزار فراخوانی شود.

در UDFهای تعریف شده، مقدار سرعت به صورت ناگهانی به صفر رسیده که این مقدار بیانگر بسته شدن شیر می‌باشد و بعد مجدد با باز شدن شیر، جریان با سرعت قبلی به مسیر خود ادامه می‌دهد. این UDF در واقع شرایط ایجاد جریان گذرا را در شبیه‌سازی فراهم می‌سازد [20].

شکل ۵. تغییرات سرعت ورودی نسبت به زمان

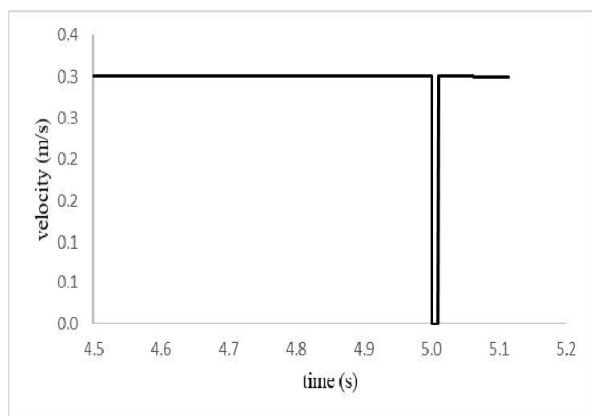


Fig. 5. Variations of inlet velocity with respect to time

در شکل (۵) تغییرات سرعت ورودی نسبت به زمان برای UDF نوشته شده برای شبیه‌سازی با سرعت ۰/۳ متر بر ثانیه، را نشان می‌دهد. این شکل حاکی از آن است که UDF به درستی

1 Velocity\_Inlet  
2 User Defined Functions

شکل ۴. تغییرات هد فشار خروجی از شیر کنترل برای حالت وجود توده هوا

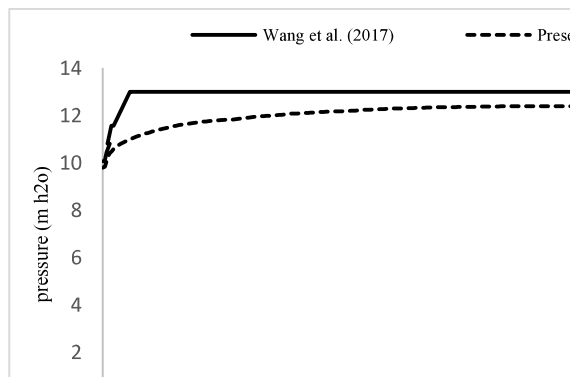


Fig. 4. Changes in the output pressure head from the control valve for the presence of air masses

۲-۷- بررسی تأثیر سرعت جریان ورودی بر پدیده جدایی ستون آب

شبکه‌های آبرسانی معمولاً با احتیاط پر می‌شوند تا از ضربه‌های خطرناک فشار چکش آب و فشارهای منفی جلوگیری شود. به عنوان نمونه تحقیقات نشان می‌دهد اگر در یک سیستم لوله با سرعت مجاز ۰/۳ متر بر ثانیه، شیرهای هوا بدرستی تعیین شده باشند، ایمنی عملیات پر شدن شبکه تضمین می‌شود. اما در عمل ممکن است به دلایلی مانند اشتباه یا خطای انسانی یا عدم کنترل مناسب، جریان در شبکه به صورت کامل مطابق با سرعت طراحی جاری نشود [6, 29]. احتمال ایجاد فشارهای گذرا (و در شرایطی جدایی ستون آب) و پر شدن سریع در شبکه، اجرای یک پروتکل استاندارد محتاطانه و محفظه کار برای طراحی شبکه را الزامی می‌کند [6]. در همین راستا این تحقیق به دنبال یافتن تأثیر تغییرات سرعت جریان بر مشخصات پدیده جدایی ستون آب برای یک شبکه حلقوی می‌باشد. با توجه به هدف بیان شده باید شبیه‌سازی‌هایی با سرعت‌های مختلف انجام گیرد. محدوده سرعت انتخابی بر اساس محدوده تعیین شده آیین نامه (۳-۱۱۷) یعنی سرعت بین ۲-۰/۳ متر بر ثانیه تعیین می‌شود.

بعد از انجام درستی‌آزمایی نرم‌افزار ANSYS Fluent و اطمینان از کارایی آن برای بررسی جریان گذرا در شبکه حلقوی، شبیه‌سازی مطابق با مراحل ذکر شده در بخش مدل عددی (بخش ۲) برای سرعت‌های مختلف انجام می‌شود.



سیستم لوله به فشار بخار مایع کاهش می‌یابد، حفره جریان ایجاد شده و ستون آب به دو بخش مجزا تقسیم می‌شود. هنگامی که شیر بالادست باز شود و آب مجدد در شبکه جاری شود، حفره شروع به خرد شدن می‌کند. این فرآیند تا رسیدن حجم ناحیه حفره به صفر و اتصال دو ستون مجاور به هم ادامه خواهد داشت [6, 28]. این برخورد مجدد ستون‌های آب باعث ایجاد فشار ماکزیمی برابر با  $451336/9$  پاسکال در ورودی شبکه می‌گردد.

شکل ۶. تغییرات فشار نسبت به زمان برای سرعت ورودی  $0.4$  متر بر

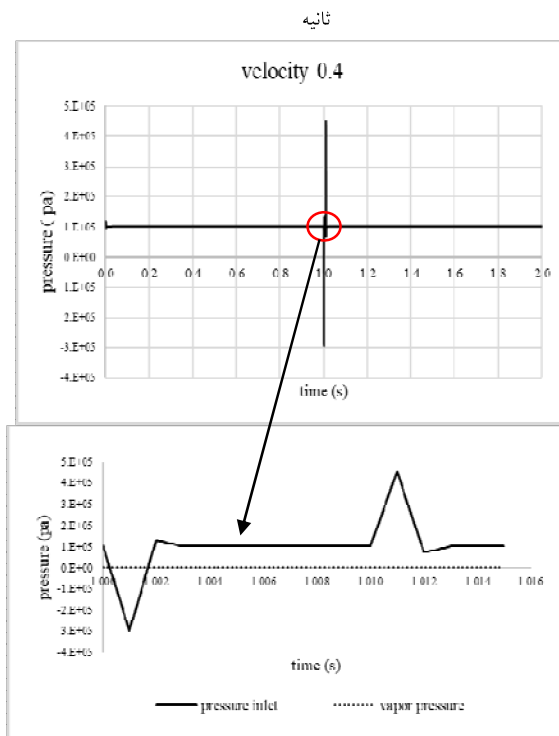


Fig. 6. Changes of pressure with respect to time for inlet velocity of 0.4 m/s

به عبارت دیگر می‌توان گفت که مقدار فشار در نقاطی از شبکه، کمتر از مقدار فشار بخار آب ( $3169$  پاسکال) شده؛ در این نقاط به علت کاهش فشار، آب تغییر حالت داده و به بخار آب تبدیل می‌گردد. بعد از تشکیل بخار آب در لوله، دیگر نمی‌توان از معادلات تک فازی مانند معادله ضربه قوچ برای محاسبات استفاده کرد. در پی ایجاد جریان دو فازی و افزایش فشار مجدد در شبکه، پدیده جدایی ستون آب رخ می‌دهد [6].

تعریف شده است چرا که در زمان  $5$  ثانیه مقدار سرعت به صفر رسیده و در  $0.1/5$  ثانیه مجدد سرعت افزایش می‌یابد.

برای افزایش دقت در نتایج، تنظیمات نرم‌افزار را به گونه‌ای تعریف کرده که خروجی شبیه‌سازی‌ها در هر  $0.001/0$  ثانیه ذخیره شود که بتوان آنها را با هم مقایسه نمود. گام زمانی کوچک به این دلیل انتخاب شد که نتایج بیشتر مقالات مطالعه شده، زمان تغییرات فشار در شرایط جریان گذرا را خیلی کم نشان می‌داد. برای مطالعه موردنظر نیز خروجی در زمان‌های مختلف  $0.05/0$ ،  $0.1/0$ ،  $0.01/0$  و  $0.0005/0$  ثانیه ذخیره و مقایسه گردید. نتیجه این مقایسه نشان که انتخاب فاصله زمانی  $0.001/0$  ثانیه برای خروجی گرفتن از نرم‌افزار علاوه بر دقت بالا، حجم معقولی نیاز دارد. پس برای تمام سرعت‌ها مقادیر فشار در فاصله  $0.001/0$  ثانیه ذخیره شد.

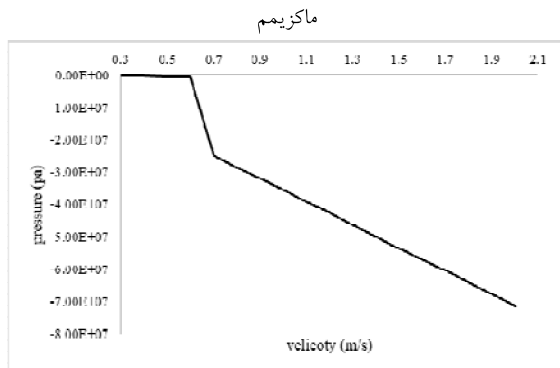
در شکل (۶) تغییرات فشار نسبت به زمان برای سرعت ورودی  $0.4$  متر بر ثانیه در فاصله  $0.1/0$  از شیر ورودی نشان داده شده است. همانطور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود در ابتدا مقادیر فشار تقریباً ثابت هستند. وقتی در زمان  $1$  ثانیه شیر ورودی بسته می‌شود، یک کاهش فشار شدید در شبکه رخ می‌دهد که مقدار فشار منفی می‌رسد. با باز شدن مجدد شیر این فشار منفی حذف شده و در  $0.1/0$  بعد از باز شدن شیر یک افزایش فشار شدید مشاهده می‌شود. برای نمایش بهتر بخشی از نمودار به صورت جداگانه رسم گردید.

به منظور بررسی امکان تغییر فاز آب مایع به بخار آب، مقادیر فشار را با فشار بخار آب در دمای  $25$  درجه سانتی‌گراد یعنی مقدار  $3169$  پاسکال مقایسه گردید. شکل (۶) بیانگر آن است که در هنگام بسته شدن شیر حفره‌های آب تشکیل می‌شود چرا که فشار جریان با اختلاف زیادی از فشار بخار آب کمتر است.

برای توضیح علت این نوسانات فشاری که در شبکه رخ داده شده است می‌توان بیان کرد که در این شبکه پدیده جدایی ستون آب ناشی از بسته شدن ناگهانی شیر آب در بالادست شبکه رخ داده است. کاهش فشار ناشی از بسته شدن شیر باعث می‌شود تا فشار در شبکه به شدت کاهش پیدا کند و به مقادیر کمتر از فشار بخار آب برسد. هنگامی که فشار در یک

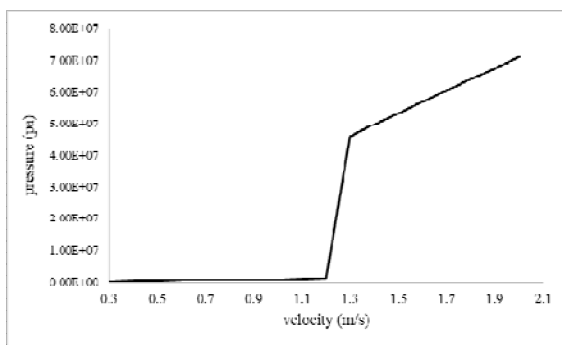
شبکه می‌تواند به عنوان راهکاری برای جلوگیری از خسارات پدیده جدایی ستون آب مطرح شود.

شکل ۸. تغییرات فشار نسبت به سرعت (الف) فشار مینیمم، (ب) فشار



ماکزیمم

الف



ب

Fig. 8. Changes of pressure in relation to speed a) minimum pressure, b) maximum pressure

#### ۸- نتیجه‌گیری

یکی از عوامل مهم در طراحی شبکه‌های آبرسانی جریان‌های گذرا می‌باشد. جریان گذرا جریانی است که تغییرات فشار و سرعت نسبت به زمان، در آن بسیار سریع می‌باشد. باز یا بستن سریع شیرها و یا ازکار افتادن پمپ ناشی از قطعی برق نمونه‌ای از عوامل ایجاد جریان گذرا می‌باشند. جریان گذرا پیامدهای ناخوشایندی از جمله حداکثر فشار در سیستم، وقوع شرایط خلأ محلی، لرزش هیدرولیکی لوله، تأثیر بر کیفیت آب و سلامتی، را در شبکه توزیع آب به همراه دارد. جدایی ستون آب یکی از رژیم‌های جریان گذرا است که نوسانات فشاری شدیدی در شبکه ایجاد می‌کند. در تحقیقات

در شکل (۷) تشکیل توده هوا در سیستم حلقوی بعد از بسته شدن شیر بالادست، نشان داده شده است که در آن رنگ قرمز و آبی به ترتیب بیانگر فاز آب و فاز هوا می‌باشد. مشاهده می‌شود به علت کاهش فشار شبکه، جریان از فاز آب (قرمز رنگ) به فاز هوا (آبی رنگ) تغییر پیدا کرده است.

شکل ۷. تغییر فاز جریان بعد از بسته شدن شیر

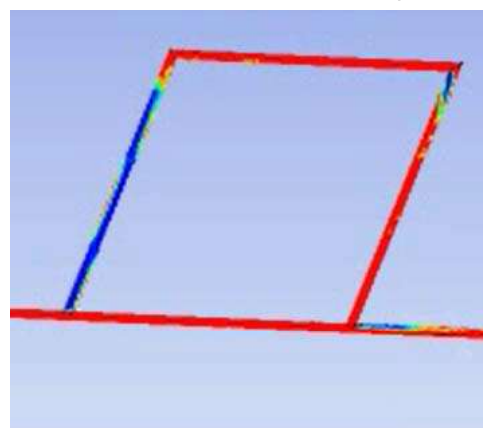


Fig. 6. Flow phase change after valve closure.

طبق نتایج شبیه‌سازی‌ها، در اثر بسته شدن شیر در یک شبکه حلقوی جدایی ستون آب رخ می‌دهد؛ اما هدف اصلی از این تحقیق بررسی تأثیر تغییر سرعت در مشخصات جریان است. در این راستا برای سرعت‌های مختلف شبیه‌سازی انجام گرفته و خروجی آنها بررسی گردید. از میان خروجی هر شبیه‌سازی مقدار ماکزیمم و مینیمم فشار اهمیت ویژه‌ای دارد. قسمت الف شکل (۸) تغییرات مینیمم مقدار فشار ایجاد شده در شبکه برای سرعت‌های مختلف را نشان می‌دهد. همچنین نمودار ب شکل (۸) برای نمایش مقادیر ماکزیمم فشار رخ داده در شبکه رسم گردید. نتایج نشان داده شده در شکل (۸) بیانگر آن است که با افزایش سرعت ورودی مقدار ماکزیمم فشار ایجاد شده در جریان افزایش و برعکس مقدار مینیمم فشار کاهش می‌یابد. به گونه‌ای که با افزایش ۱۲ درصدی سرعت ورودی مقدار فشار ماکزیمم ۱۱/۸ درصد و مقدار مینیمم ۱۴/۲۶ درصد تغییر می‌کنند. به بیان دیگر می‌توان گفت که سرعت یکی از عوامل موثر بر نوسانات فشار ایجاد شده در جدایی ستون آب می‌باشد؛ کنترل سرعت جریان در ورودی

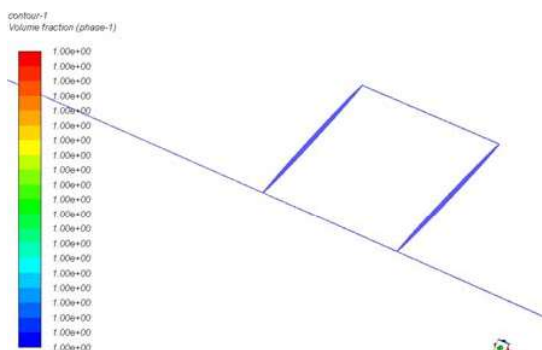
2. Fatouhi Moghadam M., Haghigipour S. & Kayani S. 2015, Evaluation of non-permanent friction loss in transient flow, *Irrigation and Water Engineering Research Quarterly*, 7 (26) (in Persian)
3. Bakhtiari Sh., Safavi H-R. & Golmohamadi M-H., 2015, analysis and evaluation of the performance of water distribution networks using performance criteria and deterministic and fuzzy stability index, *Water and Wastewater Science and Engineering Quarterly*, 1(1). (in Persian)
4. Abuiziah I., Sebari A.O. K. & Ouazar D., 2013, Simulating Flow Transients in Conveying Pipeline Systems by Rigid Column and Full Elastic Methods: Pump Combined with Air Chamber. *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 7 (12), 2391-2397.
5. Sarbu L. & Tokar A., 2018, Numerical Simulation Of Unsteady Flow in Water Supply Pipe Networks. A NNALS of Faculty Engineering Hunedoara – *International Journal of Engineering*.
6. Malekpour A., 2014, Analysis of Rapid Pipeline Filling Including Column Separation & Entrapped Air Effects. University of Toronto (Canada).
7. Bergant A., & Simpson A.R., 1999, Pipeline column separation flow regimes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(8), 835-848.
8. Bergant A., A.R.S. & Tijsseling A.S., 2006, Water hammer with column separation: A historical review. *Journal of Fluids and Structures*, 171-135.
9. Safari S., Givehchi M., Azhdari Moghadam M., 2018, Investigating the phenomenon of water column separation in the water supply network using WaterGEMS, 18th Iranian Hydraulic Conference, Faculty of Civil Engineering, Technical Faculty Campus, University of Tehran. (in Persian).
10. Bergant A., Tijsseling A. S., Vitkovský J., Simpson A. R., & Lambert M., 2007, Discrete vapour cavity model with improved timing of opening and collapse of cavities. Department of mathematics and computer science, University of technology.
11. Adamkowski A. & Lewandowski M., 2009, A new method for numerical prediction of liquid column separation accompanying hydraulic transients in pipelines. *Journal of fluids engineering*, 131(7).
12. Malekpour A. & Karney B., 2014, Profile-induced column separation and rejoining during rapid pipeline filling. *Journal of Hydraulic Engineering*, 140(11). 04014054.
13. Twyman, J., 2018, Water Hammer and Column Separation due to Pump Shutdown. *Revista Ingenieria De Obras Civiles*, 8(1), 19-28.
14. Zhang B., Wan W. & Shi M., 2018, Experimental and numerical simulation of water hammer in gravitational pipe flow with continuous air entrainment. *Water*, 10(7), 928.
15. Jiang, D., Ren C., Zhao T. & Cao W., 2018, Pressure transient model of water-hydraulic pipelines with cavitation. *Applied Sciences*, 8(3), 388.

گذشته بیشتر به معرفی جدایی ستون آب و تحلیل آن به کمک حل معادلات عددی پرداخته شده است. در این مقاله سعی بر آن شده است تا با استفاده از نرم افزار ANSYS Fluent شبیه سازی عددی پدیده مورد نظر در یک سیستم حلقوی پرداخته و تأثیر تغییرات سرعت ورودی بر مشخصات آن بررسی گردد. برای اعتبارسنجی نرم افزار سیستم حلقوی ارائه شده توسط وانگ و همکاران (۲۰۱۷) انتخاب گردید. بعد از اعتبار سنجی نرم افزار امکان رخ دادن جدایی ستون آب در شبکه بررسی گردید. خروجی نرم افزار حاکی از آن بود که در اثر بسته شدن ناگهانی شیر، فشار در شبکه به فشار منفی کاهش می یابد که مقدار آن از فشار بخار آب خیلی کمتر است. این کاهش فشار در واقع تغییر فاز مایع آب به بخار آب و ایجاد جریان دوفازی را نشان می دهد. بعد از باز شدن مجدد شیر فشارهای منفی حذف شده و یک افزایش فشار شدید مشاهده می گردد. این فشار ماکزیمم در واقع همان فشار مخرب پدیده جدایی ستون آب است که می تواند باعث شکست لوله و اتصالات و خسارات مالی و جانی در شبکه آبرسانی شود. با اطمینان از رخ دادن جدایی ستون آب در شبکه حلقوی مورد نظر به بررسی تأثیر تغییرات سرعت در نوسانات فشار شبکه پرداخته می شود. در همین راستا شبیه سازی هایی با سرعت های مختلف انجام می گیرد درحالی که بقیه مشخصات این شبیه سازی ها کاملاً مشابه هستند. مقایسه نتایج نشان داد که با افزایش سرعت ورودی در شبکه مقدار ماکزیمم فشار در شبکه افزایش و مقدار مینیمم آن کاهش می یابد. به گونه ای که با افزایش ۱۲ درصدی سرعت ورودی مقدار فشار ماکزیمم ۱۱/۸ درصد و مقدار مینیمم ۱۴/۲۶ درصد تغییر می کنند. در حالت کلی می توان بیان کرد که با کنترل سرعت به عنوان عاملی موثر بر نوسانات فشار جدایی ستون آب، از ایجاد این پدیده و خسارات ناشی از آن جلوگیری می گردد.

#### ۹- منابع

1. Monsef H., Naqashzadegan M., Jamali A. & Farmani R. 2022, Comparison of reliability indicators in the optimal design of urban water supply networks. *Modares Civil Engineering Journal*, 22(4), 7-18. (in Persian)

پیوست:



شکل پ ۱. نمایش تعریف هوا به عنوان فاز اولیه با تعریف گزینه

HATCH

```

inlet velocity 0.3.txt - Notepad
File Edit Format View Help
#include"udf.h"

DEFINE_PROFILE(inlet_velocity,t,i)
{
face_t f;
begin_f_loop(f,t)
{
if(CURRENT_TIME <=5)
F_PROFILE(f,t,i)=0.3;
else if(CURRENT_TIME <=5.01 && CURRENT_TIME >5)
F_PROFILE(f,t,i)=0;
else
F_PROFILE(f,t,i)=0.3;
}
end_f_loop(f,t)
}
    
```

شکل پ ۲. UDF تعریف شده برای سرعت ۰/۳

16. Zhou, L., Wang H., Anton Bergant A., Tijsseling A.S., Liu D. & Guo S.,2018, Godunov-type solutions with discrete gas cavity model for transient cavitating pipe flow. *J. Hydraul. Eng.*, 144(5), 04018017.

17. Malekpour A. & She Y., 2018, Air pocket detection in water and wastewater conveyance pipelines using inverse transient analysis. *Proc., Condition assessment, construction, and rehabilitation.*

18. Zhou L., Wang H., Liu D., Ma J., Wang P. & Xia L., 2017, A second-order finite volume method for pipe flow with water column separation. *Journal of Hydro-environment Research*, 17, 47-55.

19. Todini E., Santopietro S., Gargano R., Lewis A. Rossman L.A. & Asce M., 2021, Pressure Flow-Based Algorithms for Pressure-Driven Analysis of Water Distribution Networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 147(8), 04021048.

20. Warda H., Wahba E. & El-Din M.S., 2020 Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation of liquid column separation in pipe transients. *Alexandria Engineering Journal*, 59(5), 3451-3462.

21. Mohammadi R. & Aghaei M., 2021 Numerical simulation of ram impact caused by rapid valve closing in different fluids, *Amirkabir Mechanical Engineering Journal*, 53(7), 4188-4171. (in Persian).

22. Wang, H., Zhou L., Liu D., Karney B., ASCE M., Wang P., Xia L., Ma J. & Xu CH.,2016, CFD approach for column separation in water pipelines. *Journal of Hydraulic Engineering*, 142(10), 04016036.

23. Yang, Sh., Wu D., Lai Zh. & DuT., 2017, Three-dimensional computational fluid dynamics simulation of valve-induced water hammer. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 231(12), 2263-2274.

24. Zhang, X., Cheng Y., Yang Zh., Chen Q. & Liu D., 2021, Water column separation in pump-turbine after load rejection: 1D-3D coupled simulation of a model pumped-storage system. *Renewable Energy*, 163, 685-697.

25. Shahangian R., Tabesh M. & Mirabi M-H., 2015, Numerical investigation of leakage from steel pipes submerged in water with reference to the laboratory results of non-submerged pipes, *Hydraulic Journal*, 11 (4), 29-44. (in Persian)

26. Shujaei Fard M. H., 2011, an introduction to turbulent flows and its modeling, Iran University of Science and Technology, Tehran, first edition, (in Persian)

27. Daneshfraz R., Nikpour M-R. & Sadeghi H., Simulation of hydraulic phenomena using Fluent, Omidi Publications, Tabriz, first edition, (2012). (in Persian).

28. Wang, L., Wang F., Karney B. & Malekpour A., 2017, Numerical investigation of rapid filling in bypass pipelines. *Journal of Hydraulic Research*, 55(5), 647-656.

29. Malekpour, A. & B. Karney., 2012, Rapid filling in pipe systems with column separation. in 11th International Conference on Pressure Surges.

# Investigating the effect of Velocity on Water Column Separation using CFD Method

Sakineh Safari<sup>1</sup>, Mehdi Azhdary Moghadam<sup>2</sup>, Abdul Hamid Bahrpima<sup>3</sup>, Mohammad Givchi<sup>4</sup>

1. PhD Student, Department of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchistan, Zahedan, Iran.
2. Professor, Department of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchistan, Zahedan, Iran.
3. Associate Professor, Department of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchistan, Zahedan, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchistan, Zahedan, Iran.

## Abstract

Water distribution networks (WDN), which normally consist of various constituents such as tanks, pipes, pumps, and valves are vital components of urban infrastructure systems due to their significant role in providing water as a fundamental daily requirement. One of the key elements in the design of WDNs is the transient flows, where pressure and velocity changes over time are very fast. The Water Column Separation phenomenon is one of the transient flow regimes, which is created under conditions such as the sudden closing of the valve or the shutdown of the pump in the water supply network. Hard pressure fluctuations and damages caused by the mentioned phenomenon require identifying and providing a solution to prevent it. In the past research, the introduction of water column separation and its analysis with the help of solving numerical equations have been discussed. For this purpose, in this article, an attempt has been made to numerically simulate the desired phenomenon in a Loop system by using ANSYS Fluent software and the Effect of the inlet velocity on the pressures created due to the Water Column Separation was investigated. For software validation, the Loop system provided by Wang et al. (2017) was selected. After the validation of the software, the possibility of Water Column Separation in the network was investigated. The output of the software indicated that due to the sudden closing of the valve, the pressure in the network decreases to negative pressure, which is much lower than the water vapor pressure. This decrease in pressure actually shows the change of the liquid phase to water vapor and the creation of two-phase flow. After opening the valve again, the negative pressures are removed and a strong pressure increase is observed. This maximum pressure is actually the destructive pressure of the water column separation phenomenon that can cause the failure of pipes and connections and financial and life losses in the water supply network. The results of this section indicate the occurrence of the water column separation phenomenon in the annular network. In the following, to investigate the effect of changes in the velocity flow on the Water Column Separation phenomenon, simulation was performed at different velocities between 0.3-2 m/s. In the simulations performed, only the velocity changes and the other of the parameters have a fixed value. This action is done with the aim of eliminating the possible influence of the rest of the parameters on the results of the simulations. Checking the simulation results indicated the occurrence of Water Column Separation in the Intended Network. Also, the results indicated that with the increase of the input velocity, the maximum value of the pressure in the network increases and its minimum value decreases. In such a way that with a 12% increase in the input velocity, the maximum pressure value changes by 11.8% and the minimum value by 14.26%. In general, it can be said that by controlling the velocity as an effective factor in the pressure fluctuations of the Water Column Separation, this phenomenon and the resulting damages are prevented.

**Keywords:** Transient Flow, Water Column Separation, Velocity, Loop System, CFD.