



## شبیه سازی و بررسی اثر انبساط و انقباض های پیایی بر رفتار جریان سیال در لوله با

### استفاده از روش دینامیک سیالات محاسباتی

محمد انصاری<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> مربی و مدرس مهندسی مکانیک، دانشگاه غیر انتفاعی فراز گچساران، گروه مهندسی مکانیک، کهکلیوه و بویر احمد، ایران  
Mohammadansari7649@gmail.com

#### چکیده

در این پروژه هدف بررسی رفتار جریان سیال در اثر مواجه شدن با انبساطها و انقباض های پیایی در لوله حاوی آب است. کاربرد آن در سیستم‌های لوله کشی و انتقال آب برای محاسبه افت فشار ناشی از انبساط در لوله‌ها و همچنین سیستم‌های خنک کاری است. مسئله حاضر تجزیه و تحلیل حرارتی و دینامیک سیالاتی جریان آب در یک لوله دارای سه پله انبساط و انقباض پیایی با هدف مطالعه‌ی دما و سرعت است. معادلات حاکم بر مسئله شامل پیوستگی، مومنتم و انرژی است که برای یک جریان آرام حالت پایدار (steady-state) تحت شرایط تراکم ناپذیر بودن و ثابت بودن خواص سیال حل گردیده است. برای مقادیر سرعت، با افزایش ارتفاع کانال، مقادیر سرعت در مرکز کانال افزایش می‌یابد. علت این افزایش نیز به دلیل تنگ شدن ناحیه بین پله‌ها و عملکرد شبیه نازل این ناحیه می‌باشد. مشاهده می‌شود که با افزایش ارتفاع پله مقادیر انتقال حرارت در ابتدا کاهش می‌یابند و سپس به بیشینه مقدار خود می‌رسند که این بیشینه در نسبت ۰/۳ اتفاق می‌افتد. افزایش طول پله باعث می‌گردد تا جریان به شکل توسعه یافته در آید اما کوتاه بودن طول پله‌ها منجر به تغییرات الگوی گردابه‌ها شده و در نتیجه اندرکنش سیال با کانال بیشتر شده و نرخ انتقال حرارت بالاتر برود.

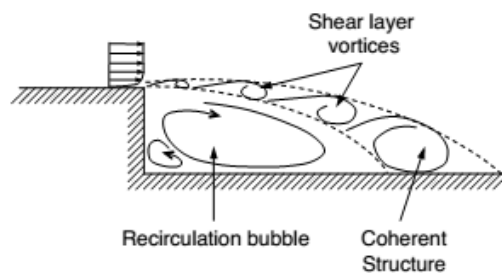
کلمات کلیدی: انبساط و انقباض، ارتفاع کانال، رفتار جریان، نرم افزار فلوئنت.

#### ۱. مقدمه

کشف نظریه لایه مرزی توسط لودویگ پرانتل در اوایل قرن بیستم بود که باعث آغاز تحقیقات گسترده‌ای در زمینه جدایش جریان‌ها گردید. جدایش جریان در کاربردهای مهندسی از قبیل بال هواپیما، توربین و تیغه کمپرسور، گسترش لوله به طور ناگهانی، محافظه احتراق، و غیره مرسوم است. مشخصه‌های جریان جدا شده به وسیله آزمایش‌های تجربی برای بررسی فیزیک لایه‌های برشی مهر و موم‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است. ناپایداری لایه‌های آزاد برشی منبع ایجاد ساختارهای پیوسته بزرگ هستند. وجود ساختارهای پیوسته بزرگ در هر جریان آشفته آورده شده است. [1] همین موضوع مطالعه جریان‌های جدا شده برشی را جذاب کرده است.

جدا از بحث‌های علمی این مسئله، دانش جدایش جریان در بسیاری از مسائل تجربی کاربرد دارد. دو مورد از این کاربردها در اتومبیل و هواپیماها می‌باشد که در رابطه با بحث کاهش مصرف سوخت به کار می‌روند که در راستای اهداف کاهش گازهای گلخانه‌ای و آلودگی‌های محیطی کاربرد فراوان دارد. در رابطه با بحث‌های آیرودینامیکی، پسا یکی از عوامل افزایش مصرف سوخت می‌باشد. انواع مختلفی از نیروی پسا وجود دارد که در این پایان نامه پسا فشاری مدنظر می‌باشد که بر اثر جدایش جریان به وجود می‌آید.

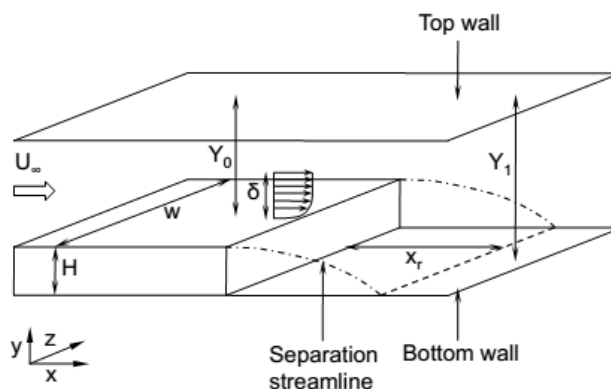
در مطالعات روس و کیگلمن [2] کنترل فعال جدایش جریان شرح داده شده است و چگونگی تغییر پارامترهای ساختارهای پیوسته که در نهایت موجب تغییر مقدار پسا می‌شود آورده شده است. این جنبه‌های جریان اهمیت بحث‌های ناپایداری ساختارهای پیوسته برای افزایش نیروی برآ و کاهش نیروی پسا را مشخص می‌سازد. جدا از مسئله کاهش نیروی پسا، جدایش لایه برشی در اندرکنش سازه سیال و مسائل کاهش نویز و لرزش تأثیر فراوانی دارد. [3] فیزیک جدایش جریان، به خاطر ناپایداری‌ها، بسیار پیچیده است. به خاطر ساده سازی مشخصه‌های این جریان، محققین روی هندسه‌های مختلف که شامل ریب، توری، جسم سر پخ یا یک صفحه جدا کننده، انبساط ناگهانی لوله، پله‌های پیش رونده و پس رونده و همچنین حباب‌ها تست‌های تجربی می‌گیرند. این هندسه‌ها مؤلفه‌های جریان را برای جدایش یا پیوستگی مجدد جریان برخلاف ذات ناپایدار آن ثابت نگه می‌دارند. پله‌های پس رونده به عنوان یکی از مهم‌ترین هندسه‌های مورد بررسی برای جدایش جریان به خاطر تک جدایش ثابت و دینامیک‌های دنباله غیر اغتشاشی آن به وسیله توزیع جریان پایین دست مورد استفاده قرار می‌گیرند. شرح دنباله و مشخصات آن در یک پله پس رونده در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ ویژگی‌های جریان روی پله پس رونده

در مطالعات انجام شده تا کنون، ویژگی‌های جریان روی پله پس رونده تا حدود زیادی به جریان ورودی و شکل هندسه بستگی دارد. یکی از این پارامترها نسبت منظری است. این نسبت عرض پله به ارتفاع آن می‌باشد. در فرمول (۱-۲)  $AR$  بیانگر نسبت منظری و  $H$  ارتفاع پله و  $w$  عرض آن می‌باشد. در شکل ۲-۸ نمایی از هندسه و پارامترهای معرفی شده آورده شده است.

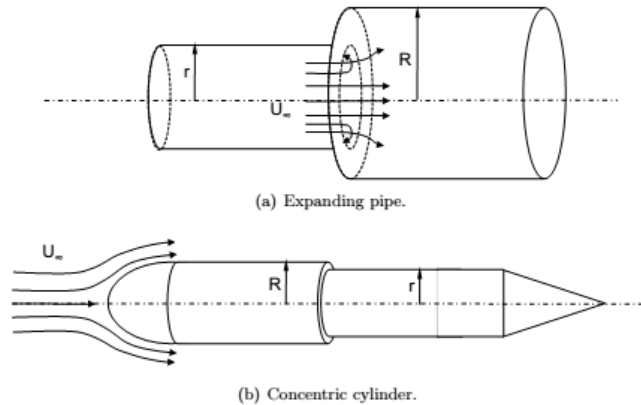
$$AR = w/H \quad (1)$$



شکل ۲ هندسه مسطح پله پس رونده

نسبت انبساط از دیگر پارمترهای مورد استفاده است که مقدار آن برابر است با مقدار  $Y_0/Y_1$  که  $Y$  تفاوت اندازه دو لبه می باشد که در شکل ۲ مشاهده می شود.

بیشتر مطالعات انجام شده بر روی لوله های انبساطی است. [4]. در شکل ۳ نمونه ای از این لوله ها آورده شده است. این هندسه ها محور متقارن در نظر گرفته می شوند که شکل دایره ای آن به پیچیدگی مساله اضافه می شود. نمونه دیگر جریان خارجی رو یک پیستون است که دارای پله در هندسه می باشد. اینها نمونه ای از هندسه های پر کاربرد از پله پس رونده در تجهیزات است.



شکل ۳ دو نمونه از هندسه محور متقارن پله پس رونده

## ۲. تئوری حل جریان

برای آگاهی بیشتر از نحوه شبیه سازی جریان که نتایج آن در ادامه ارائه شده اند، تئوری حل و فرمولاسیون جریان، شامل فرمول های کلی حاکم بر جریان، فرمول های حل غیرلزج، فرمول های حالت تراکم پذیری، تئوری حل معادلات، شرح و فرمول های مدل های آشفته استفاده شده در شبیه سازی ها و خلاصه ای از عملیات صورت گرفته روی شبکه محاسباتی اختصاص یافته است. کلیه شبیه سازی های انجام شده و نتایج به دست آمده به کمک نرم افزار فلونت میسر شده اند. این نرم افزار قابلیت حل جریان روی شبکه های بی سازمان انعطاف پذیر، و امکانات بهبود شبکه را داراست.

### ۲-۱. فرمول های کلی حاکم بر جریان

برای تمامی جریان ها، فلونت معادلات بقای جرم و مومنتوم را حل می کند. فرم کلی این معادلات عبارتند از:

معادله بقای جرم:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (2)$$

برای هندسه های دوبعدی با تقارن محوری معادله بقای جرم به فرم زیر است:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho v_x) + \frac{\partial}{\partial r} (\rho v_r) + \frac{\rho v_r}{r} = S_m \quad (3)$$

در معادله (۲) و (۳)،  $S_m$  به عنوان منبع اضافه کننده جرم است که در این مساله مقدار آن صفر است. در معادله (۳)  $x$  مؤلفه محوری،  $r$  مؤلفه شعاعی،  $v_x$  سرعت محوری و  $v_r$  سرعت شعاعی است.

معادله بقای مومنتوم:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (4)$$

در معادله ۴ فشار استاتیکی،  $\bar{\tau}$  تانسور تنش که در معادله ۴ تعریف شده است،  $\rho \vec{g}$  نیروهای گرانشی و  $\vec{F}$  نیروهای خارجی است که در این مساله صفر است. تانسور تنش عبارتست از:

$$\bar{\tau} = \mu [(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} I] \quad (5)$$

که در آن  $\mu$  لزجت مولکولی و  $I$  تانسور همانی است.

برای هندسه‌های دوبعدی دارای تقارن محوری معادلات بقای مومنوم محوری و شعاعی به شرح زیر است:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho v_x) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x}(r \rho v_x v_x) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r \rho v_r v_x) \\ = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x} \left[ r \mu \left( 2 \frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \vec{v}) \right) \right] + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r \mu \left( \frac{\partial v_x}{\partial r} + \frac{\partial v_r}{\partial x} \right) \right] + F_x \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho v_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x}(r \rho v_x v_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r \rho v_r v_r) \\ = -\frac{\partial p}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x} \left[ r \mu \left( \frac{\partial v_r}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial r} \right) \right] + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r \mu \left( 2 \frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \vec{v}) \right) \right] - 2 \mu \frac{v_r}{r^2} \\ + \frac{2}{3} \frac{\mu}{r} (\nabla \cdot \vec{v}) + \rho \frac{v_z^2}{r} + F_r \end{aligned} \quad (7)$$

$$\nabla \cdot \vec{v} = \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} \quad (8)$$

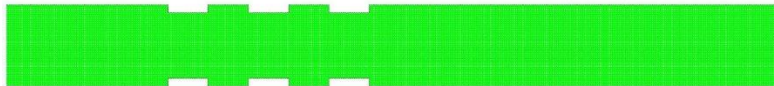
و  $v_z$  سرعت چرخشی است.

## ۲-۳. نتایج و بحث روی نتایج

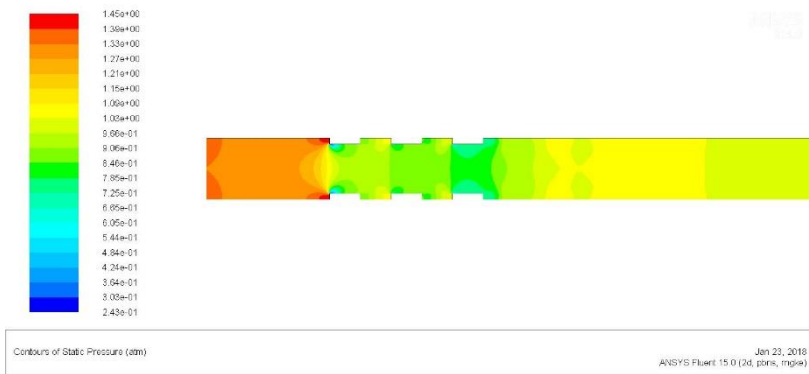
### ۲-۳-۱. بررسی اثر ارتفاع پله

در ابتدا به بررسی ارتفاع پله پرداخته می‌شود. برای تحلیل از نسبت ۰/۱ شروع می‌کنیم و حداکثر مقدار برای این نسبت ۰/۵ است. در این نسبت کانال کامل بسته می‌شود. چهار نسبت ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ در نظر گرفته شده است. در شکل‌های زیر شبکه هر کانال و مقادیر سرعت و فشار و گردابه‌های تشکیل شده آورده شده است. تحلیل‌های انجام شده در نسبت طول پله ۰/۵ می‌باشد.

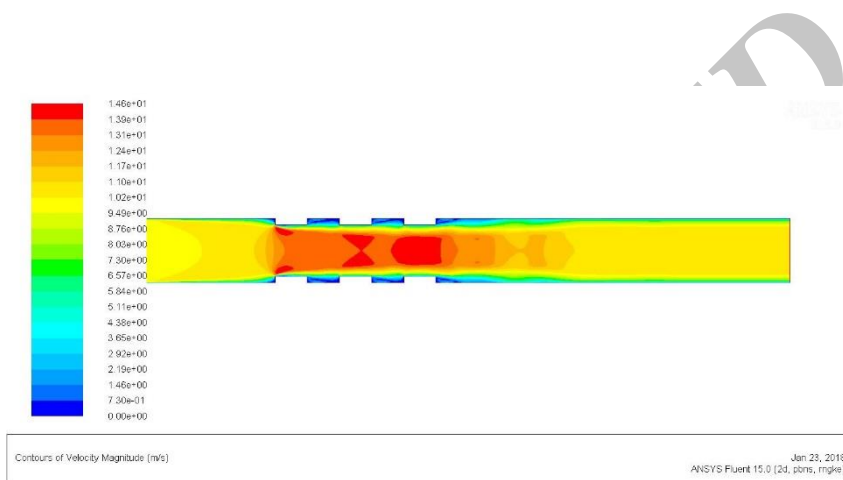
از مقایسه مقادیر فشار داخل کانال مشاهده می‌شود که با افزایش ارتفاع کانال، افت فشار داخل کانال بیشتر می‌شود. برای مقادیر سرعت، با افزایش ارتفاع کانال، مقادیر سرعت در مرکز کانال افزایش می‌یابد. علت این افزایش نیز به دلیل تنگ شدن ناحیه بین پله‌ها و عملکرد شبیه نازل این ناحیه می‌باشد. گردابه‌های داخل پله نیز با افزایش ارتفاع کانال بزرگتر می‌شوند.



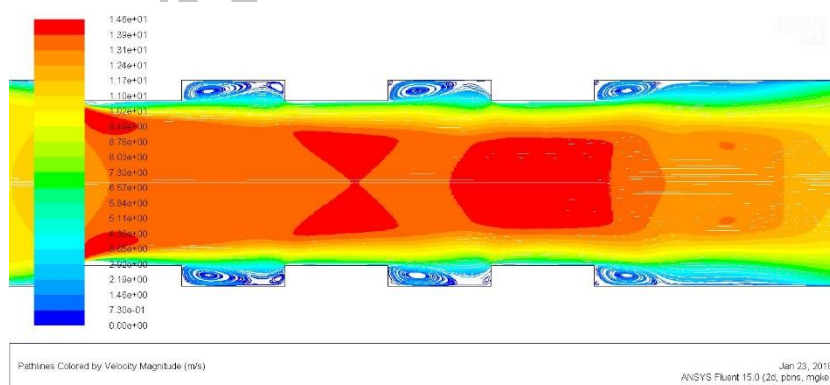
شکل ۴ شبکه کانال با  $b/d=0.1$



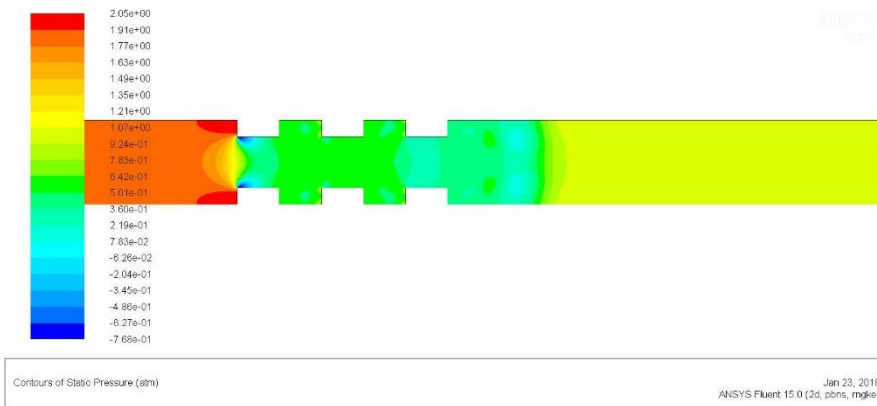
شکل ۵ مقادیر فشار کانال با  $b/d=0.1$



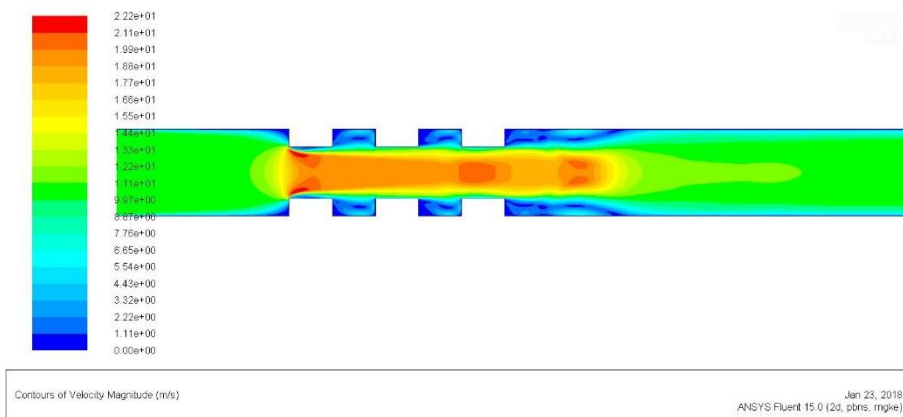
شکل ۶ مقادیر سرعت کانال با  $b/d=0.1$



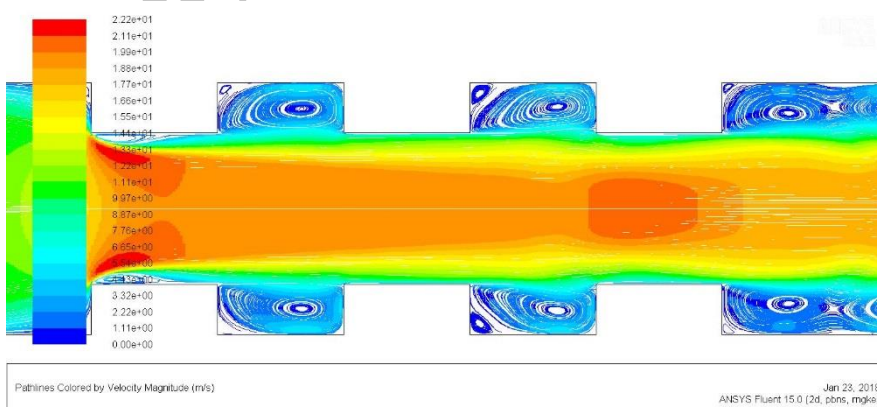
شکل ۷ مقادیر خطوط جریان و گردابه های سرعت کانال با  $b/d=0.1$



شکل ۸ مقادیر فشار کانال با  $b/d=0.2$



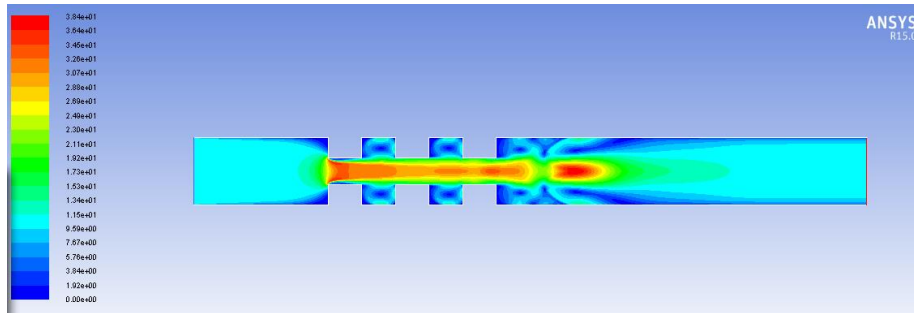
شکل ۹ مقادیر سرعت کانال با  $b/d=0.2$



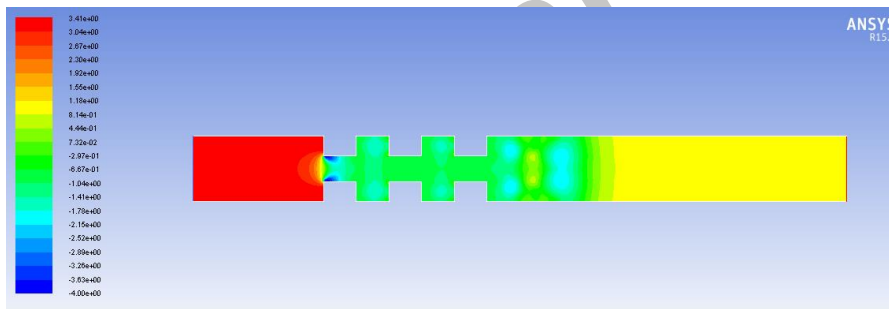
شکل ۱۰ مقادیر خطوط جریان و گردابه سرعت کانال با  $b/d=0.2$



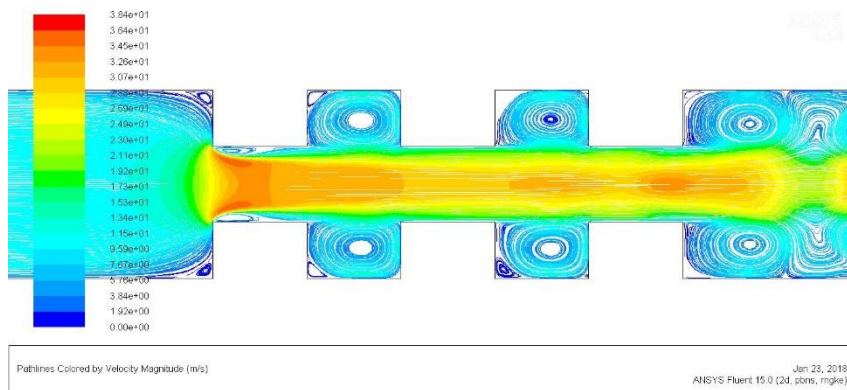
شکل ۱۱ شبکه کانال با  $b/d=0.3$



شکل ۱۲ مقادیر سرعت کانال با  $b/d=0.3$



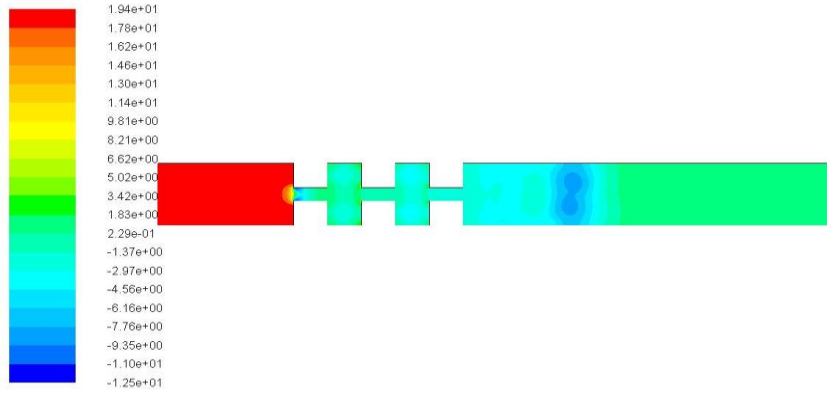
شکل ۱۳ مقادیر فشار کانال با  $b/d=0.3$



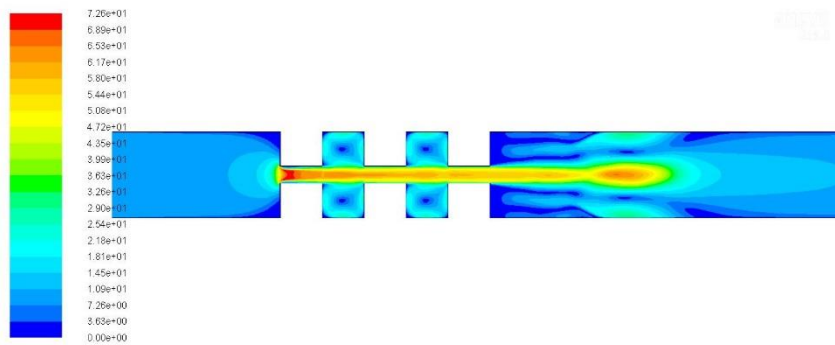
شکل ۱۴ خطوط جریان و گردابه سرعت کانال با  $b/d=0.3$



شکل ۱۵ شبکه کانال با  $b/d=0.4$

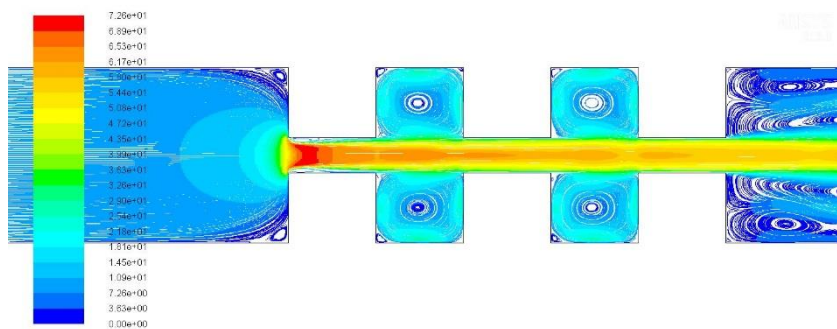


شکل ۱۶ مقادیر فشار کانال با  $b/d=0.4$



Contours of Velocity Magnitude (m/s) Jan 23, 2018  
ANSYS Fluent 15.0 (2d, pbin, mgke)

شکل ۱۷ مقادیر سرعت کانال با  $b/d=0.4$

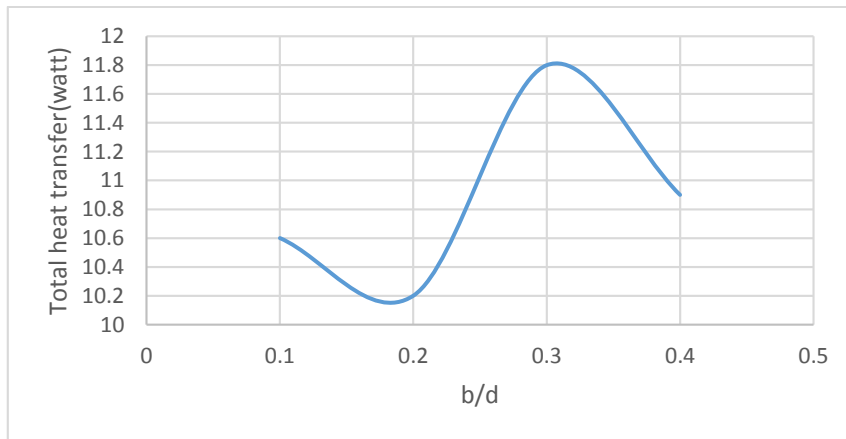


Pathlines Colored by Velocity Magnitude (m/s) Jan 23, 2018  
ANSYS Fluent 15.0 (2d, pbin, mgke)

شکل ۱۸ خطوط جریان و گردابه سرعت کانال با  $b/d=0.4$



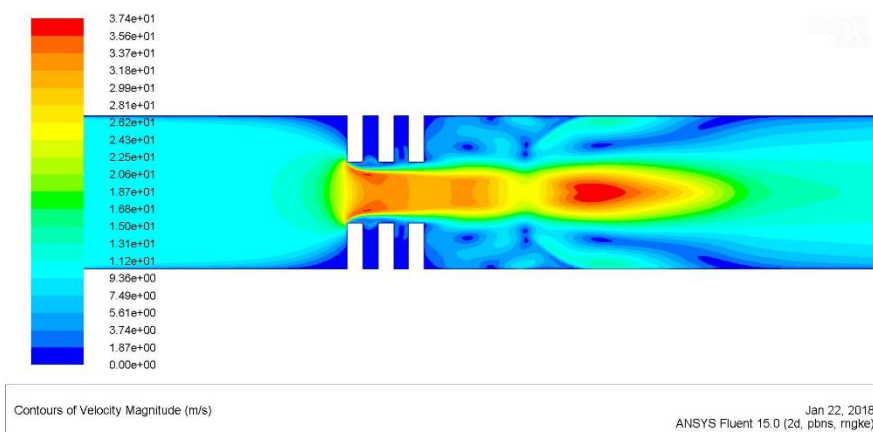
در شکل زیر مقادیر انتقال حرارت بر حسب ارتفاع پله کانال آورده شده است. مشاهده می شود که با افزایش ارتفاع پله مقادیر انتقال حرارت در ابتدا کاهش می یابند و سپس به بیشینه مقدار خود می رسند که این بیشینه در نسبت  $0/3$  اتفاق می افتد.



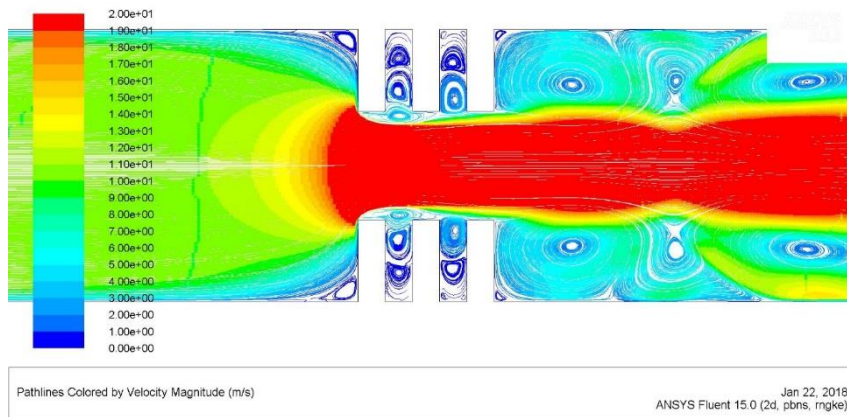
نمودار ۱ مقادیر انتقال حرارت بر حسب ارتفاع پله کانال

### ۲-۳-۲. بررسی اثر طول پله

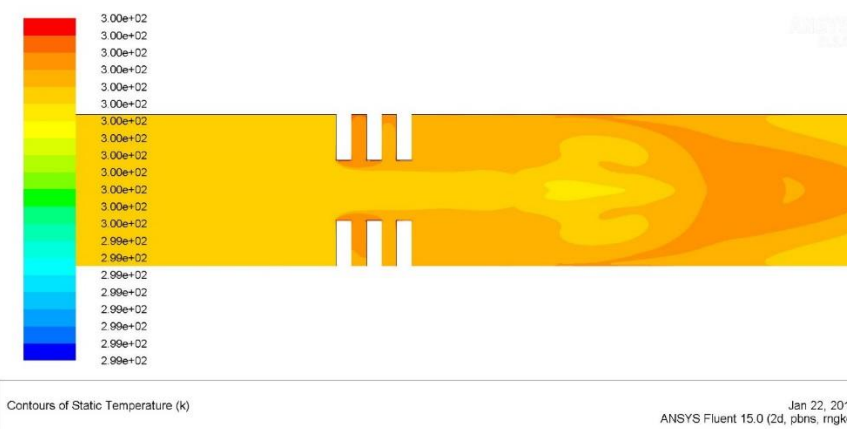
با توجه به تحلیل ارتفاع پله، میزان بهینه ارتفاع  $0/3$  برای تحلیل طول پله در نظر گرفته می شود. مقادیر نسبت از  $0/1$  تا  $1/0$  در نظر گرفته شده است. با افزایش طول پله شاهد افت سرعت در داخل کانال هستیم. افزایش طول پله باعث می گردد تا جریان به شکل توسعه یافته در آید اما کوتاه بودن طول پله ها منجر به تغییرات الگوی گردابه ها شده و در نتیجه اندرکنش سیال با کانال بیشتر شده و نرخ انتقال حرارت بالاتر برود. همانطور که از مقایسه شکل های زیر می توان دریافت که هر چه طول پله کمتر باشد تعداد گردابه بیشتری روی هم در داخل پله ایجاد می شود.



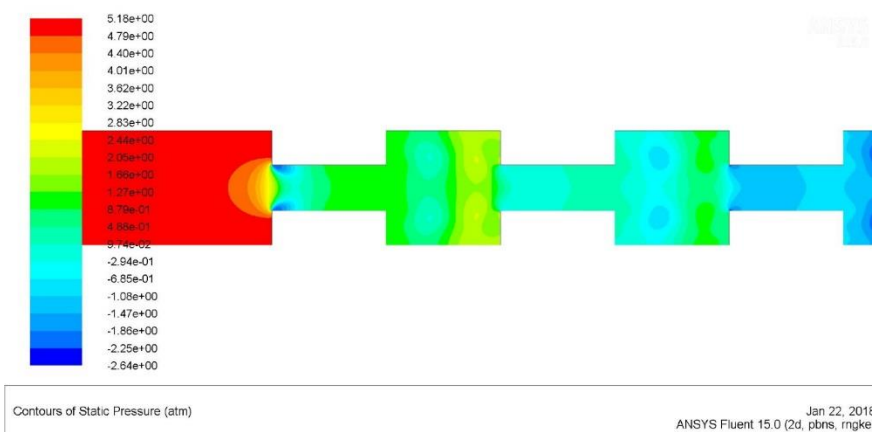
شکل ۱۹ مقادیر سرعت کانال با  $a/d=0.1$



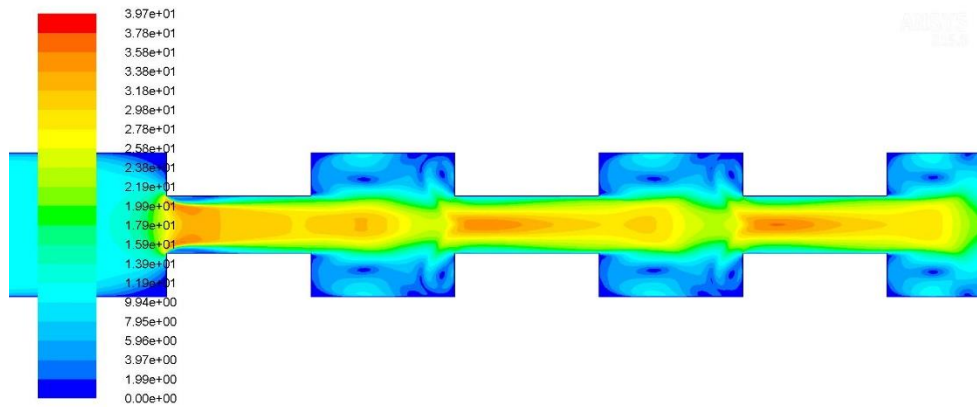
شکل ۲۰ خطوط جریان و گردابه سرعت کانال با  $a/d=0.1$



شکل ۲۱ مقادیر دما کانال با  $a/d=0.1$

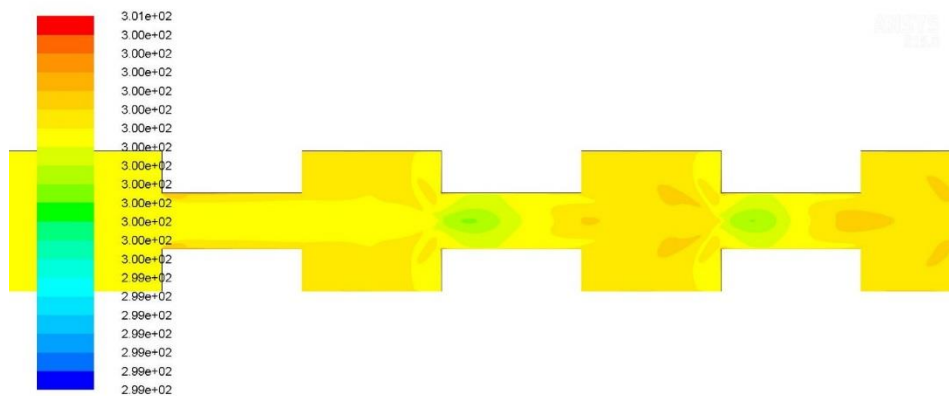


شکل ۲۲ مقادیر فشار کانال با  $a/d=1$



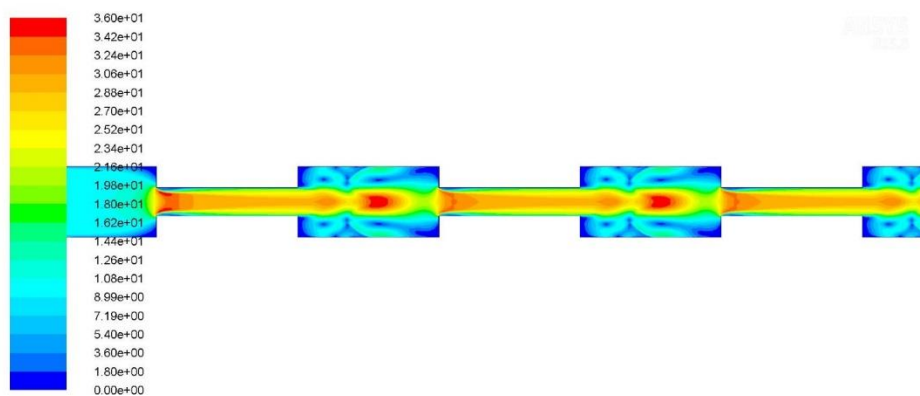
Contours of Velocity Magnitude (m/s) Jan 22, 2018  
ANSYS Fluent 15.0 (2d, pbns, mgke)

شکل ۲۳ مقادیر سرعت کانال با  $a/d=1$



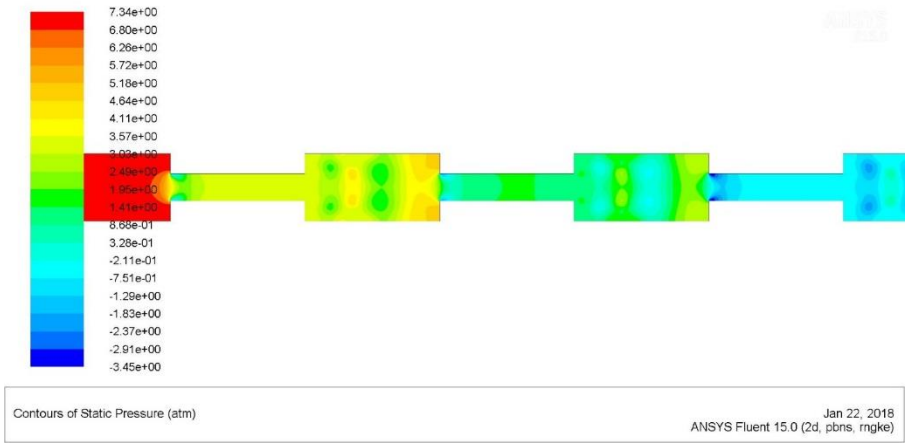
Contours of Static Temperature (K) Jan 22, 2018  
ANSYS Fluent 15.0 (2d, pbns, mgke)

شکل ۲۴ مقادیر دما کانال با  $a/d=1$

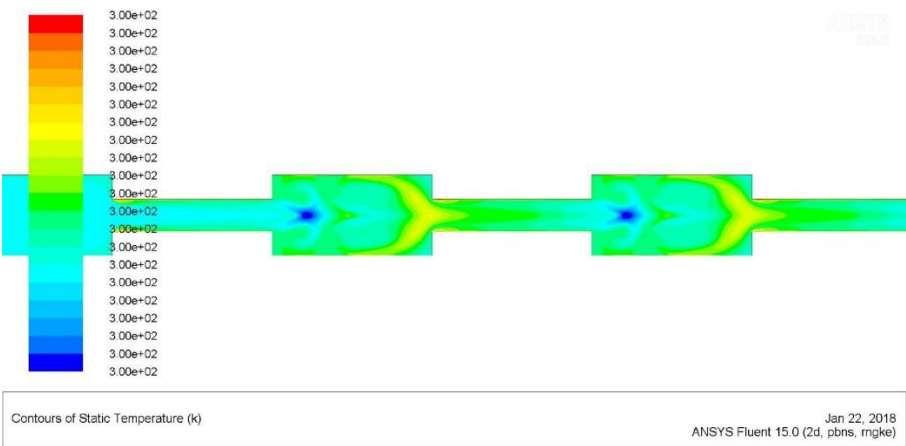


Contours of Velocity Magnitude (m/s) Jan 22, 2018  
ANSYS Fluent 15.0 (2d, pbns, mgke)

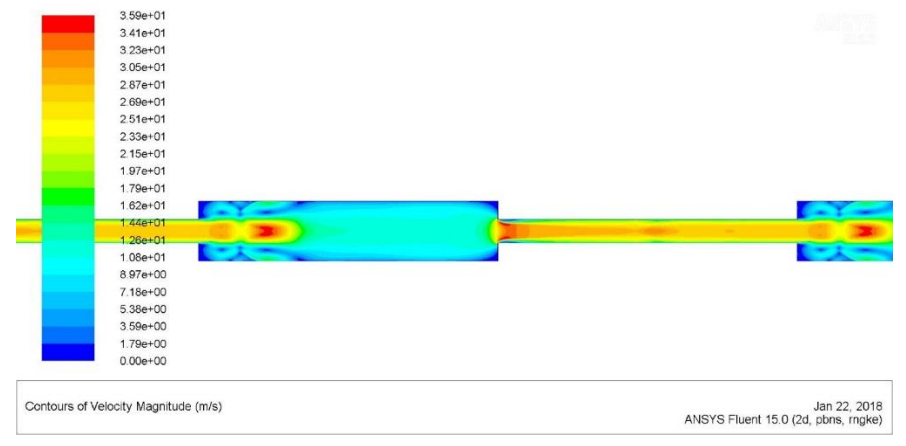
شکل ۲۵ مقادیر سرعت کانال با  $a/d=2$



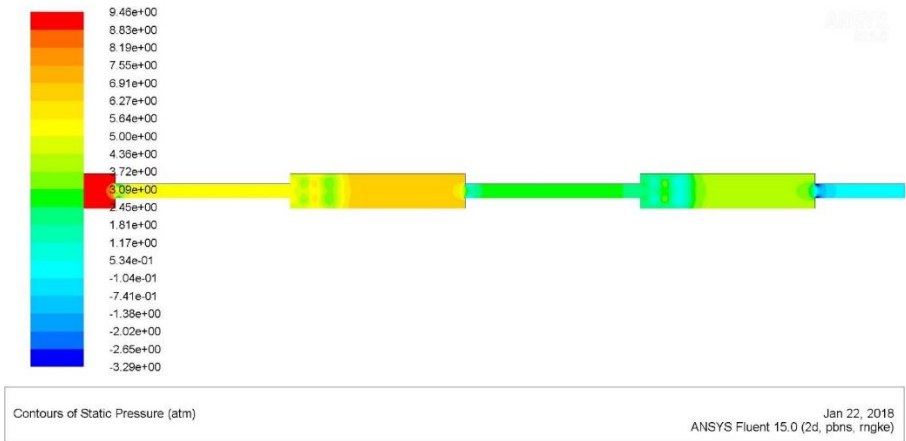
شکل ۲۶ مقادیر فشار کانال با  $a/d=2$



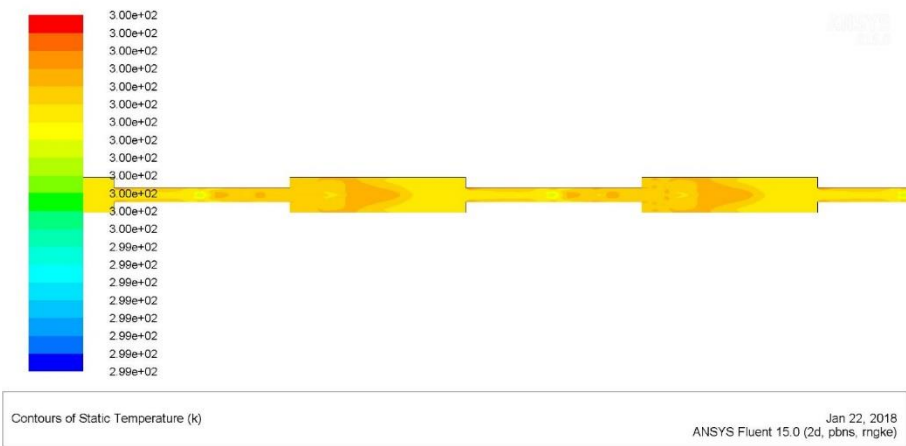
شکل ۲۷ مقادیر دما کانال با  $a/d=2$



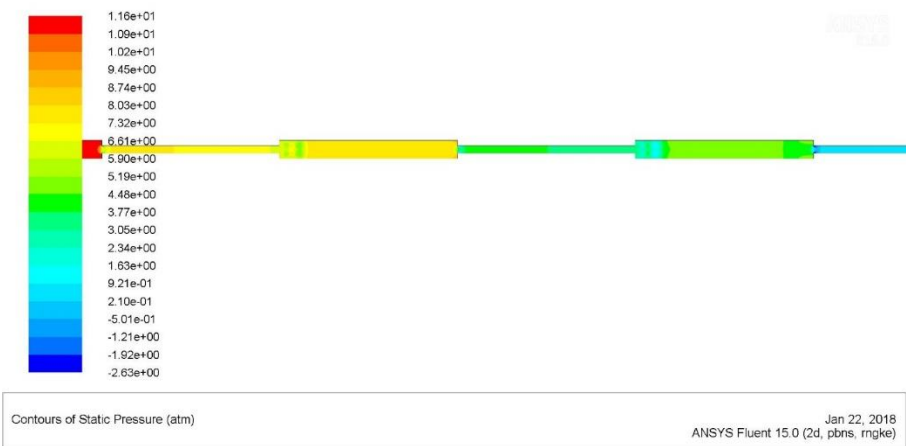
شکل ۲۸ مقادیر سرعت کانال با  $a/d=5$



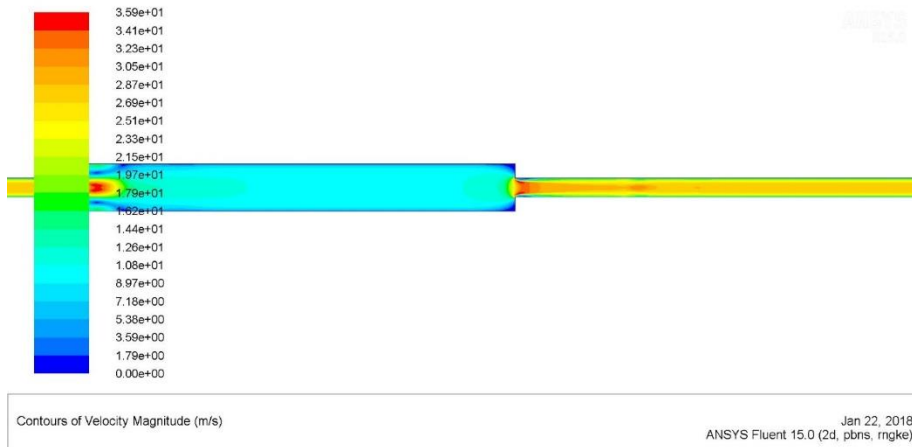
شکل ۲۹ مقادیر فشار کانال با  $a/d=5$



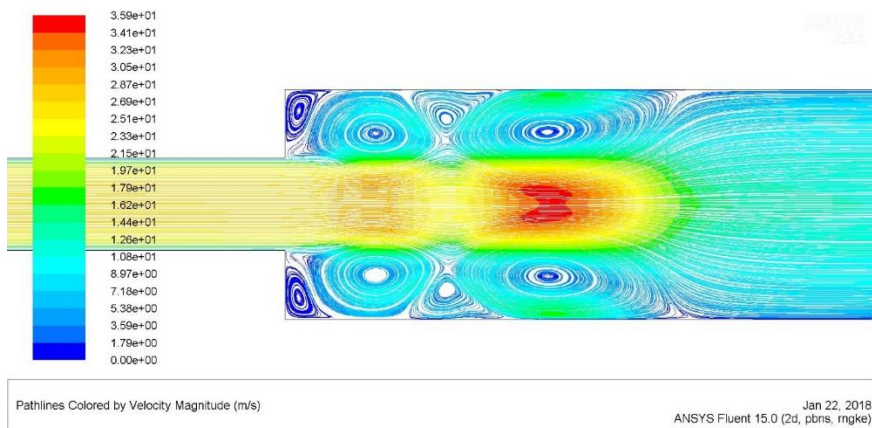
شکل ۳۰ مقادیر دما کانال با  $a/d=5$



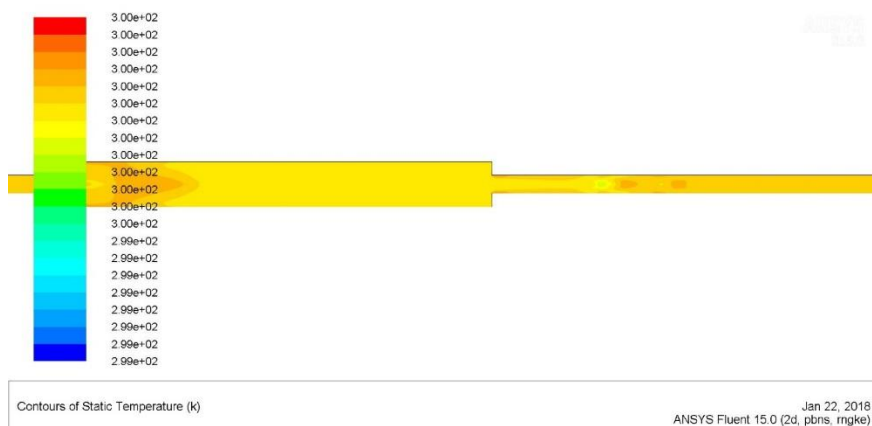
شکل ۳۱ مقادیر فشار کانال با  $a/d=10$



شکل ۳۲ مقادیر سرعت کانال با  $a/d=10$



شکل ۳۳ خطوط جریان و گردابه سرعت کانال با  $a/d=10$



شکل ۳۴ مقادیر دمای کانال با  $a/d=10$

### ۳. نتیجه‌گیری

الف- برای تغییرات نسبت ارتفاع پله:

- ۱- با افزایش ارتفاع کانال، افت فشار داخل کانال بیشتر میشود.
- ۲- برای مقادیر سرعت، با افزایش ارتفاع کانال، مقادیر سرعت در مرکز کانال افزایش می‌یابد. علت این افزایش نیز به دلیل تنگ شدن ناحیه بین پله‌ها و عملکرد شبیه نازل این ناحیه می‌باشد.
- ۳- گردابه‌های داخل پله نیز با افزایش ارتفاع کانال بزرگتر می‌شوند.
- ۴- مشاهده می‌شود که با افزایش ارتفاع پله مقادیر انتقال حرارت در ابتدا کاهش می‌یابند و سپس به بیشینه مقدار خود می‌رسند که این بیشینه در نسبت  $0/3$  اتفاق می‌افتد.

ب- برای تغییرات نسبت طول پله:

- ۱- با افزایش طول پله شاهد افت سرعت در داخل کانال هستیم.
- ۲- افزایش طول پله باعث می‌گردد تا جریان به شکل توسعه یافته در آید اما کوتاه بودن طول پله‌ها منجر به تغییرات الگوی گردابه‌ها شده و در نتیجه اندرکنش سیال با کانال بیشتر شده و نرخ انتقال حرارت بالاتر برود. هر چه طول پله کمتر باشد تعداد گردابه بیشتری روی هم در داخل پله ایجاد می‌شود.

### مراجع

- [۱] Larock, B.E., Jeppson, R.W. and Watters, G.Z., "Hydraulics of Pipeline Systems", Crc Press, 2000.
- [۲] Pickford, John, "Analysis of Surge", Macmillan, 1969
- [۳] Viersma, T.J, "Synthesis and Design of Hydraulic Servosystems and Pipelines", Elsevier Bearings, 1980.
- [۴] Schurr, Brian, "Manual of Practical Pipeline Construction", Gulf Pup.co.book division, 1982.

# **Simulation and investigation of the effect of expansion and successive contractions on fluid flow behavior in a tube using the CFD method**

Mohammad Ansari

Instructor and lecturer in mechanical engineering, Faraz Gachsaran University of Technology, Department of Mechanical Engineering , Iran  
Mohammadansari7649@gmail.com

## **Abstract.**

The purpose of this project is to investigate the flow behavior of fluid through exposure to continuous expansions and contractions in a water-containing tube. It is used in plumbing and water transfer systems to calculate the pressure drop due to expansion in the pipes as well as cooling systems. The present issue is the thermal analysis and fluid dynamics of the flow of water in a tube with three steps of expansion and continuous shrinkage with the aim of studying temperature and velocity. Equations governing the problem include continuity, momentum, and energy, solved for a smooth flow of steady-state under conditions of incompressibility and constant fluid properties. For velocity values, the channel velocity increases with increasing channel height. The reason for this increase is due to the narrowing of the area between the stairs and the performance similar to that of the nozzle. It can be seen that as the stairs rise, the heat transfer values are reduced initially, and then they reach their maximum value, which can occur at a ratio of 0.3. Increasing the length of the staircase causes the flow to develop exponentially, but the shorter lengths of the stairs lead to variations in the vortex pattern, resulting in higher fluid-channel interactions and higher heat transfer rates.

**Keywords:** expansion and contraction, channel height, flow behavior, fluent software.