

## Research Paper

# Influence of Geometric Parameters of Channel and Baffle on Steady Stagnant Pressure in Flow Separating Blade in Divergent Channels

Bahador Fatehi-Nobarian<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Assistant Professor Department of Civil Engineering of Hydraulic Structures, Aras Branch, Islamic Azad University, Jolfa, Iran.

[10.22125/IWE.2022.365073.1677](https://doi.org/10.22125/IWE.2022.365073.1677)

Received:  
November 28, 2022  
Accepted:  
March 4, 2023  
Available online:  
October 3, 2023

**Keywords:**  
Stagnant Pressure,  
Baffle, Rectangular  
Channel, CFD Model,  
Divergent Channel

## Abstract

The study of fluid motion using experimental and analytical methods is one of the scientific fields that has gained interest among the scholars. With the advent of computer methods, humans have been able to study more complex phenomena. One of the scientific fields in which many advances have been made is computational fluid dynamics. In fact, computational fluid dynamics studies fluid behavior using new technologies and computational capabilities. In fluid dynamics, stagnation pressure (Pitot pressure) is the static pressure at a stable point in the fluid flow at a stable point, the fluid velocity is zero. In the present study, the stagnant pressure at the edge of the flow separating blade in rectangular channels was investigated for 18 models with different opening angles, baffle shapes and baffle arrangements. The modeling results demonstrated that the lowest stagnant pressure in the channel is created with an opening angle of 45 degrees and with convergent mode, and the maximum pressure was created in the channel with an opening angle of 60 degrees with the zigzag arrangement type.

\*Corresponding Author: Bahador Fatehi-Nobarian

Email: b.fatehinobarian@iaut.ac.ir

Address: Department of Civil Engineering of

Tell: +989141108523

Hydraulic Structures, Aras Branch, Islamic Azad University, Jolfa, Iran.

## 1. Introduction

In fluid dynamics, stable pressure (Pitot pressure) is the static pressure at a stable point in the fluid flow. At a stable point, the velocity of the fluid is equal to zero. In an incompressible flow, the steady pressure is equal to the sum of the free flow static pressure and the free flow dynamic pressure. Stagnant pressure can also be called pitot pressure as it is measured using a pitot tube. The schematic diagram of the state of a stable point is shown in Figure 1.

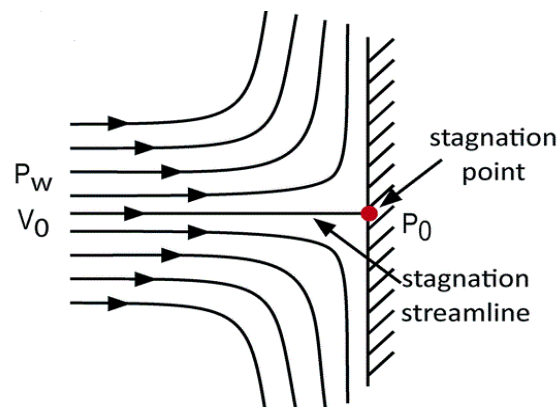


Fig.1. The stable point when hitting a wall

In a research, Kang investigated the effect of baffles on flow mixing in T-shaped channels and came to the conclusion that in swirling flows, the presence of baffles changes the direction of the flow towards the T-shaped channel section. (Saha et al. 2020). studied the position of two baffle plates in the flow passing through a narrowing rectangular channel for Newtonian fluids.

Gnani et al. (2018). have studied the effect of pressure in the flow path and its effect on the return flow in rectangular sections, as a result of which the change in the amplitude of the flow fluctuation in terms of flow rate occurs and the investigation of the increase or decrease of pressure at the moment is important. The flow separation in an oscillation has been studied. The study of separating flow in creating stagnation pressure at the edge of the flow separating blade in rectangular channels is the main aspect of the innovation of the present research.

## 2. Materials and Methods

Pressure is the force that is applied perpendicularly to the surface of an object in the unit area where that force is distributed. Static pressure and dynamic pressure vary significantly throughout the fluid, but total pressure is constant throughout any flow. Total pressure is equal to the sum of static pressure and dynamic pressure. In stationary flow, the total pressure is the same over all streams and is therefore constant throughout the flow. The constant pressure can be obtained from the following Bernoulli equation for incompressible flow without height change. In fluid dynamics, Bernoulli's principle states that an increase in fluid velocity occurs simultaneously with a decrease in static pressure or a decrease in potential energy of the fluid.

$$P_{stagnati} = P_{static} + \frac{1}{2}\rho v^2 \quad (3)$$

## 3. Results

A computer is a very suitable tool for solving many problems, including hydraulics. Many problems can be solved by using a computer program. Flow-3D software is a comprehensive software package in the field of computational fluid dynamics. Selection of boundary conditions is one of the most important parts of a numerical simulation. In the current research, which has investigated the pressure at the edge of the separating wall, 18 channels with different baffle shape, baffle layout and opening angle have been investigated, and the choice of baffle shape, baffle layout and opening angle difference shows one of the innovative aspects of this research.

## 4. Discussion and Conclusion

In this research, 18 models were used to check the stable pressure, which includes three zigzag, converging and checkerboard layouts, and for each layout, a different baffle shape was used, which can be seen in Figure (2). As can be seen in table (2), these models were tested in two opening angles of 45 and 60 degrees.

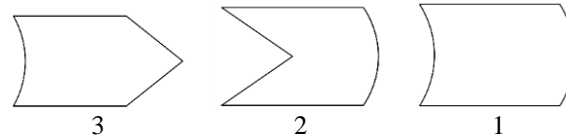


Fig.2: Baffle geometric shapes

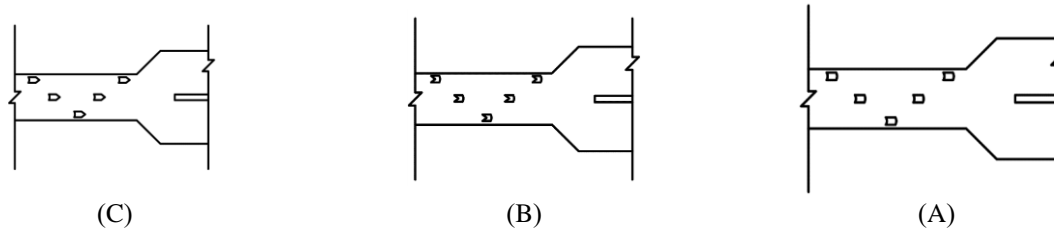


Fig.3: Channel with zigzag texture arrangement with three different baffle shapes and opening angle of 45 degrees

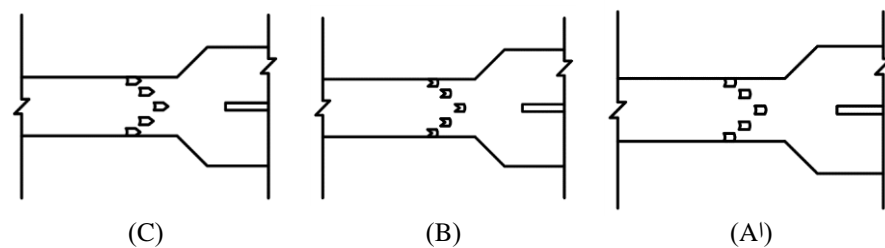


Fig.4: Channel with converging baffle arrangement with three different baffle shapes and opening angle of 45 degrees

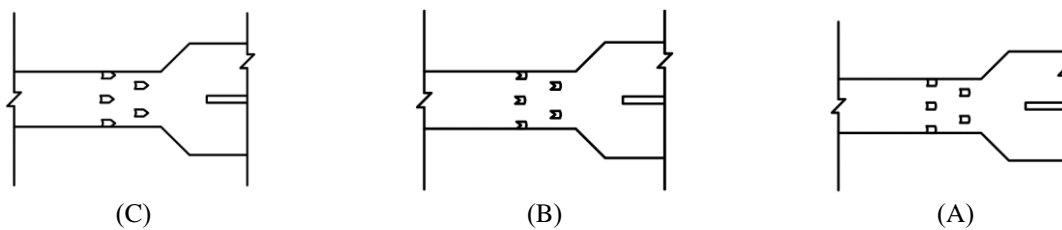


Fig.5: Channel with converging baffle arrangement with three different baffle shapes and opening angle of 45 degrees

Numerical modeling was done as follows, although the results obtained from each eighteen channels were been studied in the results section, which is an example of 18 models. Conducted in this research, in Figures 8 to 10, three contour displays of depth changes in the channel with zigzag, converging and checked layouts are shown.

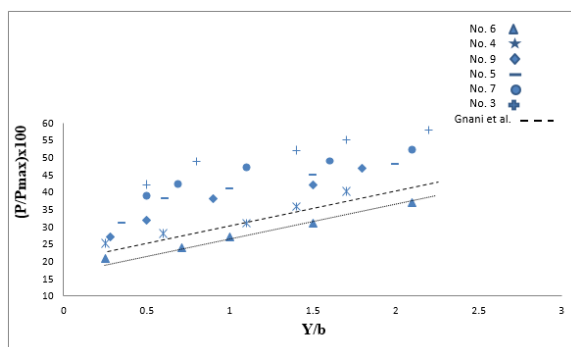


Fig.11: The percentage ratio of the maximum pressure against the changes of depth to width in models No. 3, 7, 5, 9, 4, 6

- 1) The Flow-3D model and the algorithm used in it are suitable for investigating the stable pressure at the edge of the flow separator blade in rectangular channels, so the computational

fluid dynamics method is suitable for studying such phenomena and the results will be acceptable.

- 2) The maximum pressure corresponds to model number 11, which is equal to 4430 pascals.
- 3) The minimum pressure corresponds to model number 6, which is equal to 1759 pascals.
- 4) According to the maximum and minimum pressure values, it can be inferred that the maximum pressure has reached the minimum stable pressure with a decrease of about 58% regardless of the opening angle of the channel..
- 5) The results of this research are closer to the laboratory results of Gnani and colleagues, in such a manner that, there is about 11% difference between these 2 values.

#### **5. Five important references**

- Ameur, H., 2021. Effect of Corrugated Baffles on the Flow and Thermal Fields in a Channel Heat Exchanger, *Journal of Applied and Computational Mechanics*, Vol.6. No.2.,pp. 209-218.
- Bayon, A., D.Valero, R. García-Bartual, & P.A. López-Jiménez, 2016. Performance assessment of Open FOAM and FLOW-3D in the numerical modeling of a low Reynolds number hydraulic jump. *Environmental Modelling & Software*, 80, pp.322-335.
- Cao, C., Z. Xu, J. Chai and Y. Li. 2019. Radial fluid flow regime in a single fracture under high hydraulic pressure during shear process. *Journal of Hydrology*, 579, pp.124-142.
- FatehiNobarian, B., R. Panahi, and V. Nourani., 2022. Investigation of the Effects of Velocity on Secondary Currents in Semicircular Channels on Hydraulic Jump Parameters, *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, Vol.46. pp.3351 - 3359. <https://doi.org/10.1007/s40996-021-00800-x>
- Gnani, F., H. Zare-Behtash, and K. Kontis, 2018. Effect of back-pressure forcing on shock train structures in rectangular channels, *Acta Astronautica*, 145, pp. 471-48.

#### **Conflict of Interest**

**Author declared no conflict of interest**



## تاثیر پارامترهای هندسی کانال و بافل در وضعیت فشار پایا در تیغهی جداکنندهی جریان در کانالهای واگرا

بهادر فاتحی نوبریان<sup>۱\*</sup>

تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۰۹/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱۲/۱۳

مقاله پژوهشی

چکیده

مطالعه‌ی حرکت سیالات با استفاده از روش‌های تجربی و تحلیلی یکی از زمینه‌های علمی است که امروزه مورد توجه قرار گرفته است. با به وجود آمدن روش‌های کامپیوتری، بشر توانست پدیده‌های پیچیده‌تری را مورد مطالعه قرار دهد. یکی از زمینه‌های علمی که پیشرفت‌های زیادی در آن صورت گرفته است، دینامیک سیالات محاسباتی می‌باشد. در واقع دینامیک سیالات محاسباتی با استفاده از فناوری‌های جدید و توانمندی‌های محاسباتی، به بررسی رفتار سیال می‌پردازد. در دینامیک سیال، فشار پایا (فشار پیتوت) فشار استاتیکی در یک نقطه‌ی پایا در جریان سیال است. در یک نقطه‌ی پایا سرعت سیال صفر است. در تحقیق حاضر، به بررسی فشار پایا در لبه‌ی تیغهی جداکننده‌ی جریان در کانال‌های مستطیلی شکل، در ۱۸ مدل با ۲ زاویه‌ی بازشدگی، شکل بافل و چیدمان بافل متفاوت پرداخته شده است. نتایج مدلسازی نشان داده است که، کمترین میزان فشار پایا در کانال با زاویه‌ی بازشدگی ۴۵ درجه و با حالت همگرا و فشار حداکثر در کانال با زاویه بازشدگی ۶۰ درجه با نوع چیدمان زیگزاگ ایجاد شده است.

واژه‌های کلیدی: فشار پایا، بافل، کانال مستطیلی، مدل CFD، کانال واگرا

<sup>۱\*</sup> استادیار گروه مهندسی عمران، مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، واحد ارس، دانشگاه آزاد اسلامی، جلفا، ایران. 09141108523

[b.fatehinobarian@iaut.ac.ir](mailto:b.fatehinobarian@iaut.ac.ir) (نویسنده مسئول)



## مقدمه

(Saha, et al., 2020). آمور در مطالعه‌ای اثر بافل‌های با چیدمان موازی و راه راه در میدان‌های حرارتی بر روی جریان‌هایی که در از داخل مبدل‌های حرارتی گذر کرده است، بررسی نموده است که در آن ارتفاع موج در داخل کنال در زوایای صفر تا ۴۵ درجه افزایش نشان می‌دهد (Ameur, 2021).

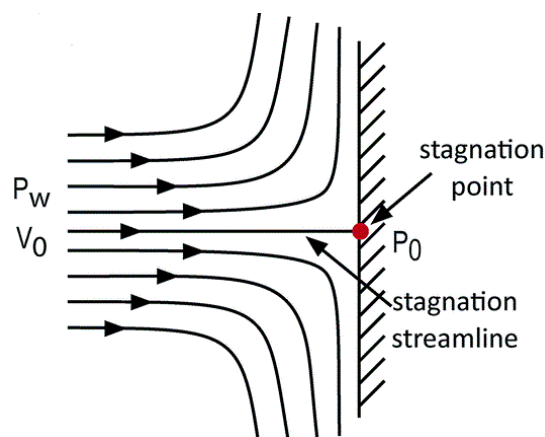
Gnani و همکاران به مطالعه‌ای اثر فشار در مسیر جریان و تاثیر آن در جریان برگشتی در مقاطع مستطیلی پرداخته‌اند، که در نتیجه‌ی آن تغییر در دامنه‌ی نوسان جریان به لحاظ دبی و بررسی افزایش و یا کاهش فشار در لحظه‌ی جداسدگی جریان در یک نوسان مورد مطالعه قرار داده‌اند (Gnani, et al., 2018).

Yusuf و همکاران به مطالعه‌ی همگرایی جریان در شکافهای مستطیلی با استفاده از سنجش ذرات با سرعت‌سنجی پرداختند، در این مقاله با انگیزه استفاده از آسترهای شکاف‌دار در تولید زهکشی گرانش به کمک بخار قیر و با هدف تعیین کمیت پدیده همگرایی ناشی از جریان با ورود به دیافراگم‌های با ابعاد طولانی، به این نتیجه رسیدند که، با افزایش عدد رینولدز جریان، انحنا در خطوط جریان افزایش می‌یابد، در حالی که افزایش فاصله دیواره منجر به انحنا خطوط پایین می‌شود (Yusuf et al., 2018). Cao و همکاران، رژیم جریان سیال در یک شکستگی تحت فشار هیدرولیک بالا در طی فرآیند برشی را بررسی کرده‌اند، در این مطالعه، آزمایش‌های برشی همراه با فشار هیدرولیک ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ مگا پاسکال انجام شده‌است. نتایج آزمایش نشان داده است که، فشار هیدرولیکی بالا به طور چشمگیری دقت قانون مکعب جریان شعاعی را کاهش می‌دهد (Cao, et al., 2019).

Gnani و همکاران، به بررسی حساسیت پیکربندی قطار شوک به تغییر فشار پرداختند آنها دریافتند که قطار شوک حرکتی را در اطراف موقعیت متوسط خود اجرا می‌کند که با تغییر در دامنه نوسان، فرانکس و اینکه آیا فشار ابتدا افزایش یا کاهش می‌یابد، از یک پروفیل سینوسی کامل منحرف می‌شود (Gnani, et al. 2018).

مطالعه‌ی جریان جداسونده در ایجاد فشار پایا در لبه‌ی تیغه‌ی جداکننده‌ی جریان در کانال‌های مستطیلی شکل، جنبه‌ی اصلی نوآوری پژوهش حاضر است.

در دینامیک سیال، فشار پایا (فشار پیتوت) فشار استاتیک در یک نقطه‌ی پایا در جریان سیال است. در یک نقطه‌ی پایا سرعت سیال صفر است. در یک جریان غیر قابل تراکم، فشار پایا برابر است با مجموع فشار استاتیک جریان آزاد و فشار دینامیکی جریان آزاد. فشار پایا را می‌توان فشار پیتوت نیز نامید زیرا با استفاده از یک لوله‌ی پیتوت اندازه‌گیری می‌شود. طرح شماتیک وضعیت یک نقطه‌ی پایا در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ملاحظه خواهد شد، طبق تعریف در نقطه‌ی پایا، فشار در حالت ایستای حداکثر باقی مانده و جداسدگی جریان به وجود آمده است. این حالت در سیستم‌ها و سازه‌های هیدرولیکی غالباً می‌تواند رخ دهد، که البته برای اجتناب از وقوع آن بنا به وضعیت سازه می‌توان تصمیم‌های متفاوتی اخذ کرد (Gnani et al., 2016, <https://www.aft.com>)).



شکل (۱): شمای نقطه‌ی پایا در برخورد به یک دیواره

تا به حال تحقیقات زیادی در زمینه‌ی فشار پایا انجام نشده است و اطلاعات کافی در این زمینه وجود ندارد، از آزمایش‌های انجام شده در مورد فشار می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. در تحقیقی تاثیر بافل بر روی اختلاط جریان در کانال‌های تی شکل را بررسی و به این نتیجه رسیده شده است که در جریان‌های چرخشی وجود بافل مسیر جریان را بسمت مقطع کانال تی شکل تغییر می‌دهد (Kang, 2015). ساها و همکاران در پژوهشی تاثیر وضعیت قرارگیری دو صفحه‌ی بافل در جریان گذرنده از یک کانال تنگ شونده‌ی مستطیلی برای سیالات نیوتنی را مطالعه نمودند

## معادلات حاکم

فشار نیرویی است که عمود بر سطح یک جسم در واحد سطحی که آن نیرو توزیع شده اعمال می‌شود. فشار استاتیک و فشار دینامیکی به طور قابل توجهی در کل مایع تغییر می‌کنند اما فشار کل در طول هر جریان ثابت است فشار کل برابر است با مجموع فشار استاتیک و فشار دینامیکی. در جریان غیر متحرک، فشار کل بر روی همه جریان‌ها یکسان است و بنابراین در کل جریان ثابت است. اندازه‌ی فشار پایا را می‌توان از معادله برنولی زیر برای جریان غیر قابل تراکم و بدون تغییر ارتفاع بدست آورد. در دینامیک سیال، اصل برنولی بیان می‌کند که افزایش سرعت مایع همزمان با کاهش فشار استاتیک یا کاهش انرژی بالقوه سیال اتفاق می‌افتد. برای هر دو نقطه‌ی ۱ و ۲ داریم:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 \quad (۱)$$

روابط زیر، رابطه‌ی بین فشار استاتیک و فشار پایا را بیان می‌کند:

$$P_{static} + \frac{1}{2}\rho v^2 = P_{stagnation} + \frac{1}{2}\rho(0)^2 \quad (۲)$$

یا

$$P_{stagnation} = P_{static} + \frac{1}{2}\rho v^2 \quad (۳)$$

که در آن:

$P_{stagnation}$ : فشار پایا

$\rho$ : تراکم مایع

$v$ : سرعت سیال

$P_{static}$ : فشار استاتیک

بنابراین فشار پایا، با افزایش فشار استاتیک به اندازه‌ی  $\frac{1}{2}\rho v^2$  ایجاد می‌شود که این مقدار فشار دینامیک نامیده می‌شود، زیرا از حرکت مایع ناشی می‌شود.

## نتایج و بحث

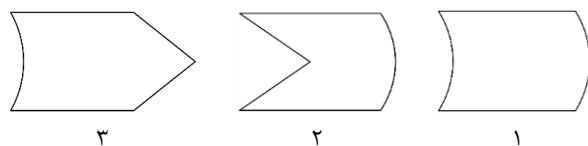
استفاده از کامپیوتر ابزار بسیار مناسبی برای حل بسیاری از مسائل از جمله هیدرولیک است. با استفاده از یک برنامه‌ی کامپیوتری می‌توان بسیاری از مسایل را حل کرد. بیشتر این برنامه‌ها دارای ظاهر گرافیکی جذابی هستند و بسیاری از مسائل را با حداقل دانش یک کاربر حل می‌کنند، اما در مورد

دقت جواب‌ها تردیدهایی وجود دارد. نرم‌افزار Flow-3D یک بسته نرم افزاری جامع در زمینه‌ی دینامیک سیالات محاسباتی است. این بسته‌ی نرم افزاری از تکنیک‌های عددی پیشرفته‌ای برای حل معادلات سه بعدی حرکت سیال برای مسائل چند فازی استفاده می‌کند. آرایش خاصی از گزینه‌های فیزیکی و عددی به کاربر این امکان را می‌دهد تا این نرم‌افزار را جهت طیف وسیعی از جریان سیالات و پدیده‌های انتقال حرارت به‌کاربرد. حرکت سیال با معادلات دیفرانسیل غیر خطی مرتبه‌ی دوم توصیف می‌شود. معادلات حرکت سیال باید برای حل این معادلات به کار گرفته شوند. علم گسترش این روش‌ها، دینامیک سیالات محاسباتی نامیده می‌شود. حل عددی این معادلات شامل تقریب ترم‌های مختلف با عبارات جبری است. سپس معادلات حاصله جهت رسیدن به یک حل تقریبی از مسائل اصلی حل می‌شوند. این پروسه، شبیه‌سازی نامیده می‌شود (Bayon, et al., 2016). در تحقیق حاضر، که به بررسی فشار در لبه‌ی دیوار جداکننده پرداخته شده‌است، ۱۸ کانال با شکل بافل، چیدمان بافل و زاویه‌ی بازشدگی متفاوت، مورد بررسی قرار گرفته است که انتخاب شکل بافل، چیدمان بافل و زاویه‌ی باز شدگی متفاوت یکی از جنبه‌های نوآوری این تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول (۱): مشخصات هندسی کانال‌های مدل سازی شده با

زاویه‌ی بازشدگی ۴۵ و ۶۰ درجه

شکل بافل	چیدمان بافل	طول کانال (متر)	عرض کانال (متر)	طول دیوار جدا	عرض دیوار جدا
بافل	بافل	کانال	کانال	دیوار جدا	دیوار جدا



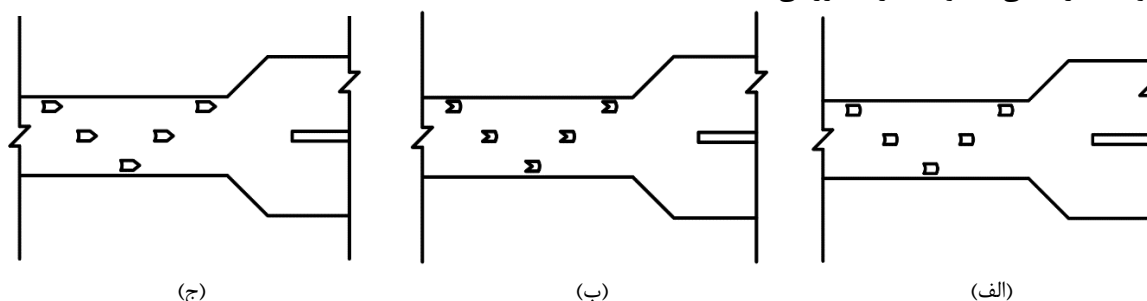
شکل (۲): شکل‌های هندسی بافل از دید پلان که در جدول ۱ آورده شده است

کننده (متر)	کننده (متر)	کننده (متر)	کننده (متر)	کننده (متر)	کننده (متر)
۰/۱	۴/۲۵	۰/۸	۱۰	زیگزاگ	۱
				همگرا	۲
				شطرنجی	۳

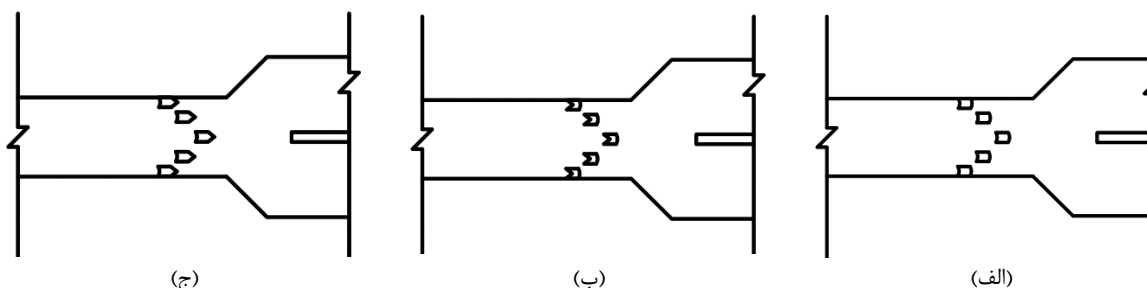
در این تحقیق از ۱۸ مدل برای بررسی فشار پایا استفاده شده است، که شامل سه چیدمان زیگزاگ، همگرا و شطرنجی است و برای هر چیدمان از شکل بافل متفاوت که در شکل (۲)، قابل مشاهده است، استفاده شده است.

شکل‌های بافل ۱، ۲ و ۳ به ترتیب در شکل ۲، نشان داده است.

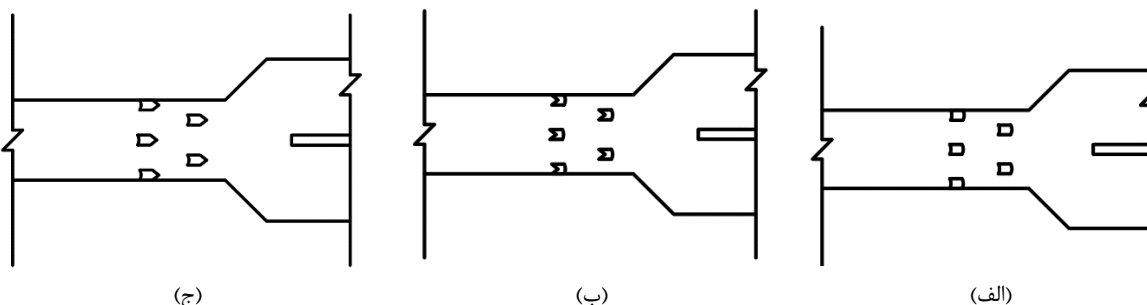
همانطوری که در جدول (۱) ملاحظه می‌شود این مدل‌ها در دو زاویه‌ی بازشدگی ۴۵ و ۶۰ درجه بررسی شده است.



شکل (۳): کانال با چیدمان بافل زیگزاگ با سه شکل بافل متفاوت و زاویه‌ی بازشدگی ۴۵ درجه



شکل (۴): کانال با چیدمان بافل همگرا با سه شکل بافل متفاوت و زاویه‌ی بازشدگی ۴۵ درجه



شکل (۵): کانال با چیدمان بافل شطرنجی با سه شکل بافل متفاوت و زاویه‌ی بازشدگی ۴۵ درجه

در شکل ۶، به عنوان نمونه، هندسه‌ی کانال مورد بررسی در محیط نرم افزار Flow-3D به صورت شماتیک، برای کانال با طول ۹/۷۴ متر، عرض ۰/۸ متر، با چیدمان بافل زیگزاگ، با شکل بافل (الف) و زاویه‌ی بازشدگی ۴۵ درجه، همراه با

برای زاویه‌ی بازشدگی ۶۰ درجه نیز، ۹ مدل با شکل و چیدمان بافل مشابه شکل‌های ۴، ۵ و ۶ وجود دارد که در مجموع ۱۸ کانال است.



۳۰۰۰ سلول مش به کار رفته است که این مقدار برای مدلسازی چنین مشخصات هندسی از یک کانال کافی است.

جهت‌های فرض شده در پژوهش حاضر، نشان داده شده است.

### شرایط مرزی

انتخاب شرایط مرزی از مهمترین قسمت‌های یک شبیه سازی عددی است. هر بلوک دارای شش وجه است که باید نوع شرط مرزی در هر وجه این بلوک مشخص شود. با توجه به این نوع موضوع، شرط‌های مرزی متفاوت خواهد بود. در محدوده‌ی Flow-3D، مقادیر  $K_T$  و  $\varepsilon_T$  در هر سلولی از شبکه که بخشی از یک سطح آن یا کل یک سطح آن توسط مرز صلب احاطه شده است، مشخص می‌شود. در روش معمول برای تعیین مقادیر مرزی برای کمیت‌های  $K_T$  و  $\varepsilon_T$  تعادل موضعی بین فرآیندهای تولید و زوال تنش برشی متلاطم و یک قانون پروفیل سرعت دیواره فرض می‌شود.

(Maroussi, 2014). مقادیر  $K_T$  و  $\varepsilon_T$  از روابط (۴) و (۵) به دست می‌آید.

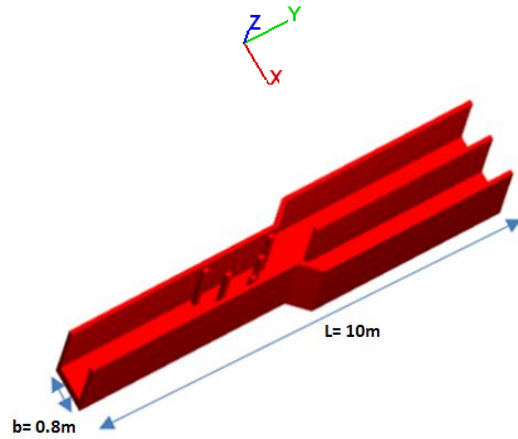
$$K_T = \frac{u_*^2}{\sqrt{CNU}} \quad (4)$$

$$\varepsilon_T = \frac{u_*^3}{kd} \quad (5)$$

به طوری که،  $u_*$  در این رابطه سرعت برشی موضعی است و از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است:

$$u = u_* \left[ \frac{1}{\kappa} \ln \left( \frac{\rho du_*}{\mu} \right) + 5 \right] \quad (6)$$

$u$  عبارت است از مؤلفه‌ی موازی سرعت که در نزدیکی جداره محاسبه می‌شود. فاصله‌ی عمودی سرعت محاسبه شده نسبت به دیواره برابر  $d$  و  $\kappa$  ضریب ون کارمن است. در تحقیق حاضر، همانطوری که در شکل ۷ ملاحظه می‌شود، شرایط مرزی محدوده‌ی جریان و کانال مربوطه مشخص شده است، که تمام کانال‌ها شامل سه بلوک مشی است. در مش الف، برای بخش ورودی فلولم از شرط مرزی فشار معین<sup>۲</sup> و برای مرز خروجی جریان از شرط مرزی تشابه<sup>۳</sup>، در مش ب، برای هر دو بخش ورودی و خروجی فلولم از شرط مرزی تشابه و در مش پ، برای بخش ورودی فلولم از شرط مرزی تشابه و برای مرز



شکل (۶): شمای کلی هندسی مدل در نرم افزار 3D-Flow

همانطور که در شکل ۶ ملاحظه می‌شود، جهت  $X$ ،  $Y$  و  $Z$  به ترتیب نشان دهنده‌ی جهت جریان، جهت عمود بر محور جریان و جهت عمود بر سطح کانال است. به طور کلی، یک مدل عددی با مش‌های محاسباتی یا شبکه بندی محاسباتی شروع می‌شود که شامل تعدادی عنصر یا سلول به هم پیوسته است. این سلول‌ها فضای محاسباتی را به حجم‌های کوچکی با چندین گره به هم پیوسته تقسیم می‌کنند. گره‌ها جهت ذخیره‌ی مقادیر مجهول مانند فشار، سرعت، دما و... استفاده می‌شوند. مش بندی ابزاری برای تعریف پارامترهای جریان در مناطق معین، تعریف شرایط مرزی مختلف و از همه مهمتر، بسط تقریب‌های عددی برای معادلات حرکت سیال است. نرم افزار Flow-3D دامنه‌ی جریان را به شبکه‌هایی با سلول‌های مستطیل شکل که المان‌های آجری<sup>۱</sup> نیز نامیده می‌شوند، تقسیم بندی می‌کند، به این منظور، تعداد سلول‌های استفاده شده در هر مقطع هندسی بسته به شرایط مرزی و جریان عبوری متفاوت است (Qasemzadeh, 1394). در این تحقیق، به طور کلی در مجموع ۵۴۰۰۰ سلول مش برای شش مقطع کانال با مشخصات موجود در جدول یک، استفاده شده است، که به طور جداگانه برای هر کانال

<sup>3</sup> symmetry

<sup>1</sup> Brick Elements

<sup>2</sup> Specified pressure



مطلوبی را برای جریان‌های مختلف بیان کرده‌است. معادله‌ی انتقال برای اتلاف آشفتگی،  $\varepsilon_T$ ، عبارت است از:

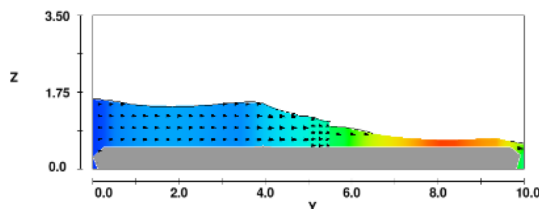
$$\frac{\partial \varepsilon_T}{\partial T} + \frac{1}{V_f} \left\{ u A_x \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial x} + v A_y \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial y} + w A_z \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial z} \right\} = \frac{CDIS1 \cdot \varepsilon_T}{K_T} (P_T + CDIS3 \cdot GT) + Diff_\varepsilon - CDIS2 \frac{\varepsilon_T^2}{k_T} \quad (7)$$

در این رابطه،  $CDIS1$ ،  $CDIS2$  و  $CDIS3$  پارامترهای بی‌بعدی هستند که مقدارشان توسط کاربر اختصاص داده می‌شود و برای مدل  $k-\varepsilon$ ، به ترتیب دارای مقادیر پیش فرض ۱/۴۴، ۱/۹۲ و ۰/۲ هستند. پخش اتلاف نیز از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود (Qasemzadeh, 1394).

$$Diff_\varepsilon = \frac{1}{V_f} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left( u_\varepsilon A_x \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial x} \right) + R \frac{\partial}{\partial y} \left( u_\varepsilon A_y R \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial y} \right) + \xi \frac{u_\varepsilon A_x \varepsilon_T}{X} \right\} \quad (8)$$

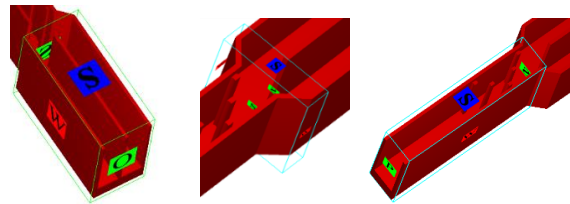
### نتایج مدل سازی

به منظور بررسی کاهش فشار در نقطه‌ی پایا در طول هجده مدل با مشخصات جدول ۱، مدل سازی عددی به شرح زیر انجام شده است، هرچند نتایج حاصله از هر هجده کانال در بخش نتایج مورد مطالعه قرار گرفته است، که به عنوان نمونه از ۱۸ مدل انجام شده در این پژوهش در شکل‌های ۸ تا ۱۰، سه نمایش کنترولی تغییرات عمق در کانال با چیدمان‌های زیگزاگ، همگرا و شطرنجی، نشان داده شده‌است.



شکل (۸): تغییرات عدد فرود در کانال با چیدمان زیگزاگ

خروجی جریان از شرط مرزی جریان خروجی<sup>۱</sup> استفاده شده است، ضمناً برای دیواره‌های کناری فلووم به دلیل عدم وجود تبادل جریان، شرط جریان صفر یا شرط مرزی دیوار<sup>۲</sup> تعریف شده‌است که این شرط مرزی، به سیال اجازه‌ی ورود و خروج از آن مرز را نمی‌دهد.



شکل (۷): الف) شرایط مرزی مربوط به مش بلوک اول، ب) شرایط مرزی مربوط به مش بلوک دوم، ج) شرایط مرزی مربوط به مش بلوک سوم

### مدل آشفتگی

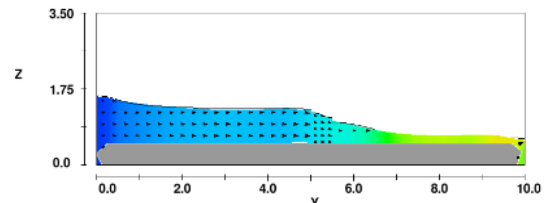
آشفتگی به معنی وجود حرکت‌های ناپایدار و متلاطم در جریان است و زمانی اتفاق می‌افتد که نیروهای نگه دارنده مانند ویسکوزیته به میزان کافی وجود ندارند. در جریان آشفته، یک حالت تصادفی از حرکت ذرات سیال در جایی که سرعت و فشار به طور پیوسته نسبت به زمان تغییر می‌کنند، اتفاق می‌افتد. در این حالت، جریان‌هایی با مقادیر مختلف اندازه‌ی حرکت به هم برخورد می‌کنند و در اثر لزجت، گرادپان‌های سرعت کاهش می‌یابد. این امر باعث کاهش انرژی جنبشی سیال می‌شود لذا تلاطم، یک پدیده‌ی مستهلک کننده‌ی انرژی خواهد بود. انرژی تلف شده در اثر اختلاط و تلاطم طی یک فرآیند یک طرفه به انرژی داخلی سیال (حرارت) تبدیل می‌شود. یک مدل پیچیده و پرکاربرد که شامل دو معادله‌ی انتقال برای انرژی جنبشی آشفتگی و اتلاف آن است، مدل  $k-\varepsilon$  است، زیرا ضرائب ثابت در این مدل بصورت تجربی محاسبه می‌گردد و عموماً برای جریان‌های کم عمق کاربرد دارد که در این تحقیق به دلیل توانایی بهتر روش  $k-\varepsilon$  نسبت به RNG و مدل کردن حالت کامل آشفتگی، از این مدل استفاده شده‌است (FatehiNobarian, et al., 2022). این مدل در تقریب

<sup>2</sup> Wall

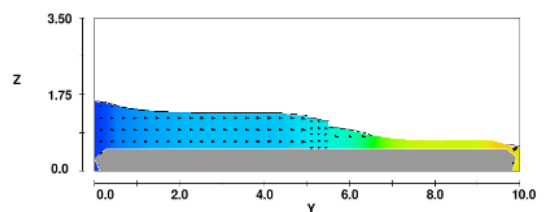
<sup>1</sup> Outflow

شکل (۱۰): تغییرات عدد فرود در کانال با چیدمان شطرنجی

همانطور که در نمایش کنتوری مدل‌ها مشاهده می‌شود روند تغییرات عدد فرود برای هر سه چیدمان که بعنوان نمونه آورده شده است مقادیر متفاوتی را نشان می‌دهد که مشخصات فنی مربوط به تمامی مدل‌ها که شامل زاویه‌ی بازشدگی، شکل بافل، نحوه‌ی چیدمان و فشار ایجاد شده در لبه‌ی دیوار جداکننده می‌باشد در جدول ۲، نشان داده شده‌است.



شکل (۹): تغییرات عدد فرود در کانال با چیدمان همگرا



جدول (۲): شماره‌ی مدل، زاویه انتخابی، نوع چیدمان بافل، شکل بافل و مقدار فشار پایای حداکثر

شماره‌ی مدل	زاویه‌ی انتخابی (درجه)	نوع چیدمان بافل	شکل بافل	مقدار فشار حداکثر (Pa)
۱	۴۵	زیگزاگ	(۱)	۲۳۳۵
۲	۴۵	زیگزاگ	(۲)	۲۴۳۹
۳	۴۵	زیگزاگ	(۳)	۲۰۰۹
۴	۴۵	همگرا	(۱)	۱۸۰۶
۵	۴۵	همگرا	(۲)	۱۹۳۸
۶	۴۵	همگرا	(۳)	۱۷۵۹
۷	۴۵	شطرنجی	(۱)	۱۹۵۵
۸	۴۵	شطرنجی	(۲)	۲۱۲۵
۹	۴۵	شطرنجی	(۳)	۱۸۶۰
۱۰	۶۰	زیگزاگ	(۱)	۲۹۳۷
۱۱	۶۰	زیگزاگ	(۲)	۴۴۳۰
۱۲	۶۰	زیگزاگ	(۳)	۲۶۵۰
۱۳	۶۰	همگرا	(۱)	۲۵۵۰
۱۴	۶۰	همگرا	(۲)	۲۴۰۰
۱۵	۶۰	همگرا	(۳)	۲۲۳۰
۱۶	۶۰	شطرنجی	(۱)	۲۳۷۱
۱۷	۶۰	شطرنجی	(۲)	۴۲۶۰
۱۸	۶۰	شطرنجی	(۳)	۲۶۹۰

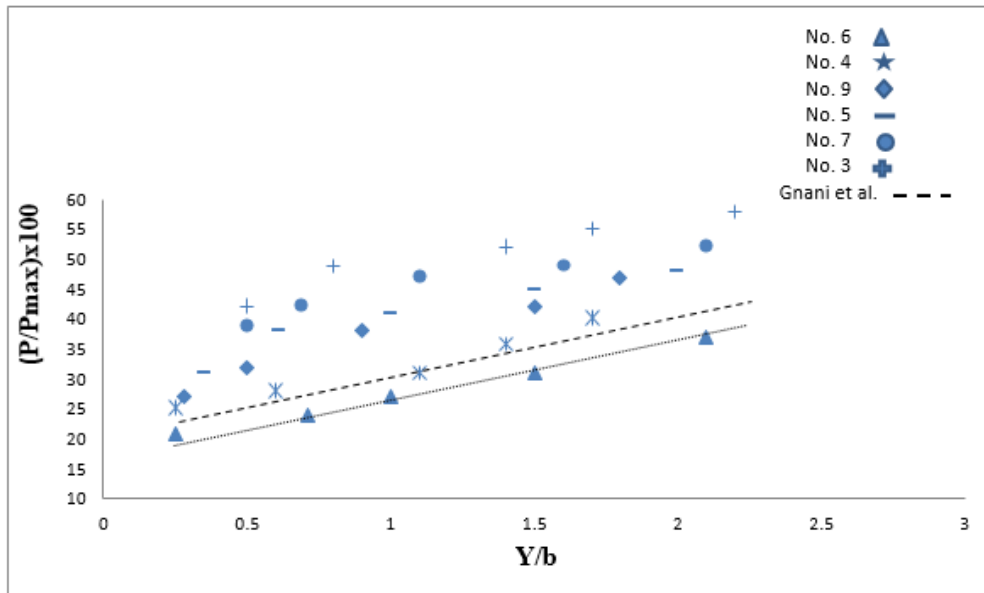
هجده کانال مدل سازی شده، آورده شده است که تغییرات این پارامترها نسبت به هم در نمودارهای ۱۱ تا ۱۳، برای

در جدول ۲، اطلاعات مربوط به زاویه‌ی انتخابی، نوع چیدمان بافل، شکل بافل و مقدار فشار پایای حداکثر برای



نسبت فشار به فشار حداکثر در مقابل تغییرات عمق نسبت به عرض در شش مدل مطالعه شده در این تحقیق، نشان داده شده است.

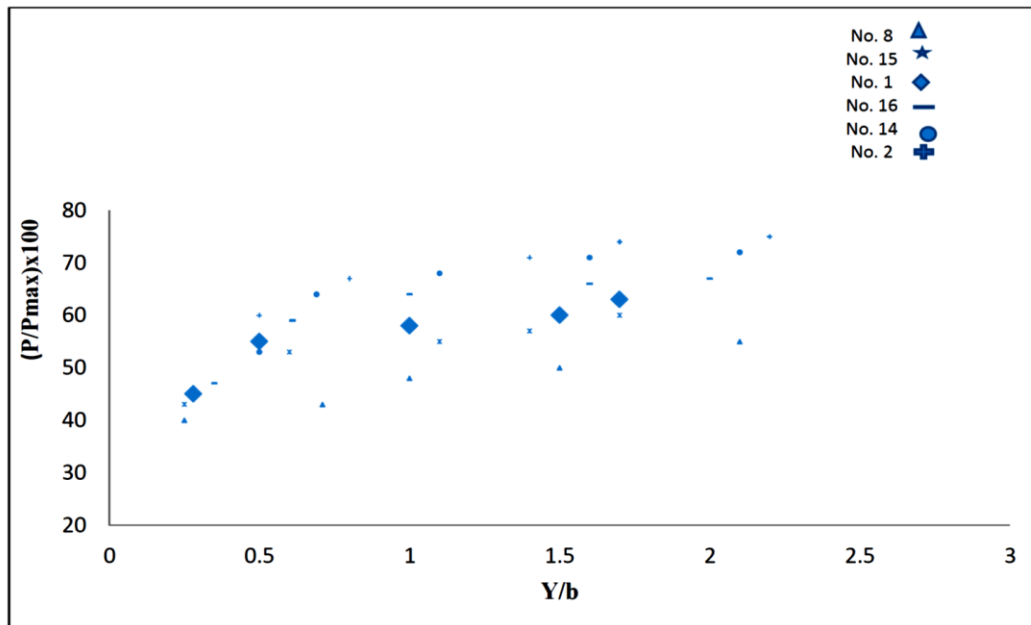
مقایسه و صحت سنجی مناسب نشان داده شده‌اند، همچنین قابل ذکر است که شکل‌های بافل آورده شده در این جدول، قبلاً به ترتیب در شکل ۲، نشان داده شده است. در نمودار ۱۱



شکل (۱۱): نسبت درصد فشار حداکثر در مقابل تغییرات عمق نسبت به عرض در مدل‌های شماره‌های ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱

صحت مدل انتخابی با نوع بافل و چیدمان مورد نظر را نشان دهد. لازم به توضیح می‌باشد که تحقیقات تجربی Gnani دقیقاً بررسی وضعیت فشار پایا در کانال‌های بافل دار نبوده بلکه وضعیت سرعت جریان و فشار در ۲ سیال آب و هوا در شرایط آزمایشگاهی بوده است، لذا اختلاف ۱۱ درصدی برای ۲ مقدار حداقل در این پژوهش و نتایج کار Gnani فاصله‌ی نزدیکی بوده و انطباق مناسبی محسوب می‌شود.

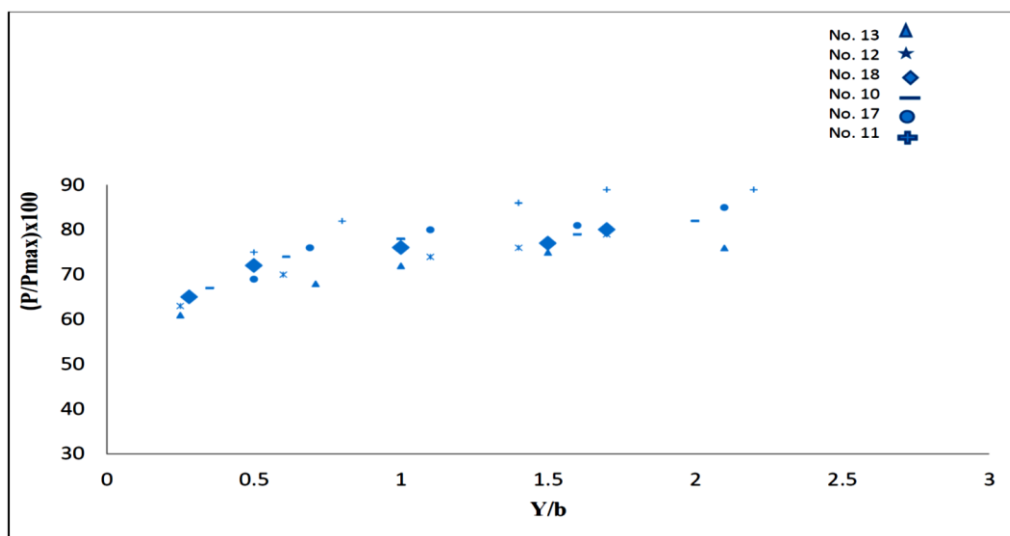
همانطور که ملاحظه می‌شود، روند کاهش فشار در مدل‌ها ایجاد شده‌است به طوری که فشار حداکثر در بین همین تعداد از مدل‌ها، مربوط به مدل شماره‌ی ۳ و فشار حداقل مربوط به مدل شماره‌ی ۶ است که این کاهش فشار برابر با ۳۶ درصد است، که با توجه به صحت‌سنجی این نتایج با تحقیقات آزمایشگاهی Gnani و همکاران، نشان می‌دهد که کمترین میزان فشار در تحقیق حاضر که در مدل ۶ بدست آمده‌است، درمقایسه با نتایج کار Gnani و همکاران، تنها اختلاف ۱۱ درصد را نشان می‌دهد که این مقدار می‌تواند



شکل (۱۲): نسبت درصد فشار حداکثر در مقابل تغییرات عمق نسبت به عرض در مدل‌های شماره‌ی ۸، ۱۵، ۱۶، ۱۴، ۲.

و حداقل در این بخش برابر با ۲۶/۶ درصد بوده است. می‌توان چنین بیان کرد که اساساً چیدمان زیگزاگ بدلیل نوع آرایش قرارگیری نمی‌تواند تاثیر چندانی بر روی میزان کاهش فشار پایا داشته باشد، و جریان در کنال در چیدمان زیگزاگ براحتی و با کمترین میزان برخورد به موانع (بافل) به حرکت خود ادامه می‌دهد که این وضعیت در مقایسه با سایر چیدمان‌ها مورد قبول نمی‌باشد.

در نمودار ۱۲ نسبت فشار جریان به فشار حداکثر در مقابل تغییرات عمق نسبت به عرض در شش مدل مطالعه شده در این تحقیق، نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، روند کاهشی فشار در مدل‌های بررسی شده به چشم می‌خورد به طوری که فشار حداکثر مربوط به مدل شماره‌ی ۲ که نوع چیدمان آن بصورت زیگزاگ بوده و فشار حداقل مربوط به مدل شماره‌ی ۸ بوده که بصورت چیدمان شطرنجی بوده است، و این کاهش فشار بین ۲ مقدار حداکثر



شکل (۱۳): نسبت درصد فشار حداکثر در مقابل تغییرات عمق نسبت به عرض در مدل‌های شماره‌ی ۱۱، ۱۷، ۱۰، ۱۸، ۱۲، ۱۳.

- ۳- فشار حداقل مربوط به مدل شماره ۶ است که برابر با ۱۷۵۹ پاسکال برای چیدمان همگرا می‌باشد.
- ۴- با توجه به مقادیر حداکثر و حداقل فشار، می‌توان نتیجه گرفت که فشار حداکثر بدون در نظر گرفتن زاویه‌ی بازشدگی کفنا، با کاهش در حدود ۵۸ درصد، به کمترین فشار پایا رسیده‌است.
- ۵- نتایج حاصل از تحقیق حاضر، به نتایج آزمایشگاهی Gnani و همکاران نزدیک‌تر بوده که در حدود ۱۱ درصد بین این ۲ مقدار اختلاف می‌باشد.

### علائم

b	:	عرض کانال (m)
d	:	فاصله‌ی عمودی سرعت محاسبه شده (m)
L	:	طول کانال (m)
P	:	فشار (Pa)
V	:	سرعت سیال (m/s)
V <sub>2</sub>	:	سرعت برشی موضعی (m/s)
Y	:	عمق جریان (m)
Z	:	عمق کل کانال در مدل (m)
$\rho$	:	جرم مخصوص سیال (Kg/cm <sup>2</sup> )
$\kappa$	:	ضریب ون کارمن
$\mu$	:	لزجت دینامیکی سیال (Pa.sec)

در نمودار ۱۳ نسبت فشار به فشار حداکثر در مقابل تغییرات عمق نسبت به عرض در شش مدل باقیمانده در این تحقیق، نشان داده شده‌است. همانطور که ملاحظه می‌شود، فشار حداکثر مربوط به مدل شماره ۱۱ و فشار حداقل مربوط به مدل شماره ۱۳ است که این کاهش فشار در حدود ۱۴/۶ درصد می‌باشد،

با توجه به روند تغییرات فشار در سه نمودار ۱۱، ۱۲ و ۱۳ می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین فشار مربوط به مدل شماره ۱۱ در نمودار ۱۳ و کمترین فشار مربوط به مدل شماره ۶ در نمودار ۱۱ می‌باشد که این کاهش مقداری در حدود ۵۸/۴ است.

### نتیجه گیری

بطور کلی بر اساس مطالعه و مدلسازی‌های صورت گرفته در این پژوهش به نتایج زیر رسیده است، که به ترتیب به آنها اشاره می‌گردد.

۱- مدل Flow-3D و الگوریتم به کار رفته در آن برای بررسی فشار پایا در لبه‌ی تیغه‌ی جداکننده‌ی جریان در کانال‌های مستطیلی مناسب بوده، بنابراین روش دینامیک سیالات محاسباتی برای مطالعه‌ی چنین پدیده‌هایی می‌تواند نتایج قابل قبولی را داشته باشد.

۲- فشار حداکثر مربوط به مدل شماره ۱۱ است که برابر با ۴۴۳۰ پاسکال برای چیدمان زیگزاگ می‌باشد.

### منابع

- Ameur, H., 2021. Effect of Corrugated Baffles on the Flow and Thermal Fields in a Channel Heat Exchanger, Journal of Applied and Computational Mechanics, Vol.6. No.2.,pp. 209-218.
- Bayon, A., D.Valero, R. García-Bartual, & P.A. López-Jiménez, 2016. Performance assessment of Open FOAM and FLOW-3D in the numerical modeling of a low Reynolds number hydraulic jump. Environmental Modelling & Software, 80, pp.322-335.
- Cao, C., Z. Xu, J. Chai and Y. Li. 2019. Radial fluid flow regime in a single fracture under high hydraulic pressure during shear process. Journal of Hydrology, 579, pp.124-142.
- FatehiNobarian, B., R. Panahi, and V. Nourani., 2022. Investigation of the Effects of Velocity on Secondary Currents in Semicircular Channels on Hydraulic Jump Parameters, Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering, Vol.46. pp.3351 - 3359. <https://doi.org/10.1007/s40996-021-00800-x>
- Gnani, F., H. Zare-Behtash, and K. Kontis, 2018. Effect of back-pressure forcing on shock train structures in rectangular channels, Acta Astronautica, 145, pp. 471-48.
- Gnani, F., H. Zare-Behtash, and K. Kontis, 2016. Pseudo-shock waves and their interactions in high-speed intakes, Progress in Aerospace Sciences, 82, pp. 36-56.



- Kang, D., 2015. Effect of Baffle Configuration on Mixing in a T-shaped, Micromachine. pp.765-777.
- Maroussi, M. 2014. Analysis and design with Flow 3D software, Fadak Isatis Publishing, 5-1, in Persian.
- Qasemzadeh, F. 1394. Simulation of hydraulic problems in FLOW-3D, Noavar Publishing, 18-13, in Persian.
- Saha, S., P. Biswas, S. Nath, and L. Singh, 2020. Numerical Simulation of Newtonian Fluid flow through a suddenly contracted rectangular channel with two different types of baffle plates, Methodologies and Application, pp.9873-9885.
- Yusuf, Y., Sh. Ansari, M. Bayans, R. Sabbagh, M. El Hassan<sup>1</sup> and S. David Nobes, 2018. Study of Flow Convergence in Rectangular Slots using Particle Shadowgraph Velocimetry.