

Investigating effects of lateral inflow characteristics on main flow using numerical modeling

Mohammad Raze Raeisi Dehkordi^{1*}, Amir Hossein Yeganeh Mazhar¹, Farzaneh Kheradzare²

1- PhD. Student in the Department of Construction and Water Management, Science and Research Unit, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- M.Sc. Graduate Water resource management, Department of Civil Engineering and Mechanics, Ghiaseddin Jamshid Kashani University, Qazvin, Iran

* Corresponding author: mohamadreza.raeisi.d@gmail.com

(Received: 26 February 2023

Revised: 27 March 2023

Accepted: 22 May 2023)

Extended Abstract

Introduction: One of the key issues in river engineering is analyzing the flow properties at the intersection of natural rivers and canals. One of the most evident properties of the flow in these sections is the development of a revolving region with low pressure and even negative pressure close to the inner wall of the side channel. One advantage of the whirling flow in this low-pressure region is that it gives the flow enough space to sediment, but it also increases flow speed near the channel's bottom and outside wall by lowering the intersectional area of the flow. One of the most crucial considerations in the design of these intersections is minimizing sedimentation in the rotating region and scouring in the area above the shear plane.

Materials and methods: The channel (flume) created in the laboratory based on Weber et al., (2001) model, was employed in the current investigation to confirm the validity and examine other study objectives. The main channel is 21.95 meters long, while the side channel, which is at a 90-degree angle to the main channel, is 3.66 meters long. The total downstream discharge is approximately 0.17 m³/s, with the upstream velocities of the main channel being 0.166 m/s and the side channel being 0.5 m/s. In both channels, the flow depth and width are 0.91 meters and 0.296 meters, respectively. In this study, 6 various models' angles of intersection between the main and side channels, inlet flow velocity, intersectional area, and side channel length have been examined. Models 2 and 3 have intersection angles of 60 and 30 degrees, respectively, and share the rest of their attributes with the fundamental model, or model number 1. Model 1 is the same as Weber's experimental model. The length of the side channel in model 4 is different from model 1. The only difference between model 6 and the basic model is the side channel intake speed.

Results and Discussion: Analyzing the intersection angle: The angle between the main channel and the side channel is investigated in this section of the findings. Models 1, 2, and 3 are assessed using the intersection angles of 90, 60, and 30 degrees, respectively. In some studies, the impact of the intersection angle has been examined, but in this study, three-dimensional investigation in transverse and longitudinal sections as well as the plan of the intersection is discussed, as can be observed from the literature review. Considering three models with intersection angles of 90, 60, and 30 degrees, the kinetic energy contours at the channel's middle height can be obtained for each model. The channel with a 30-degree intersection angle (model 3) has the maximum kinetic energy in the flow. The channel with a 60-degree intersection has the minimum kinetic energy. As a result of the maximum deviation of the flow in the main channel caused by the flow of the side channel, the channel with a 90-degree intersection also has the maximum kinetic energy near the wall in front of the side channel.

Examining the side channel length: In model 1, the side channel is 3.66 meters long, whereas in model 4, it is 5.52 meters long. This study aims to determine how changing the side channel's length affects the flow pattern where two channels intersect. The kinetic energy contours were obtained for two states of the channel length, which are known to extend the lateral channel, increase the energy of the flow after the intersection, and shorten the length of the high-kinetic energy zone. When compared to model 1 with a shorter length of the side channel, the width of the flow separation zone is reduced by approximately 20%, which results in less flow sedimentation. Figure 12 illustrates the rotating zones in the flow separation area. **Studying the intersection of the lateral channel:** After determining the lateral channel's length, its width and, consequently, its intersectional area should be evaluated. This section compares model 1 width of 0.91 meters to model 5 widths of 1.40 meters. One of the most recent topics related to the intersection of the main and side channels is examining the intersection of the side channel. In model 5, the side channel's flow rate has also increased due to an increase in the width or intersection of the channel. The flow rate through the intersection and the momentum of the flow from the side channel and the main channel increase when the side channel flow rate rises. The findings indicate that when flow width and side channel flow rise, energy increases after the inlet.

Investigating the value of inlet speed in the side channel: Unlike the preceding sections, which were all concerned with the channel geometry, the inlet velocity in the side channel is one of the hydraulic parameters of the flow. In this section, models 1 and 6 with inlet velocities of the side channel of 0.5 and 0.75 m/s are evaluated. According to the modeling, the flow is somewhat horst before and immediately on the intersection of the flow level, but it undergoes a substantial prolapse just after the intersection. Model 6 has a larger volume and height of flow, but a smaller and softer prolapse after the intersection.

Conclusion: Some hydraulic and geometric properties of the intersection of channels have been examined using Flow-3D software. The RNG turbulence model was used for three-dimensional modeling. Some of the results are listed below.

1. The flow is uniform upstream of the main and minor channels and only slightly becomes horst at the intersection.
2. The analysis of the lengthening of the side channel revealed a 20% reduction in the separation zone's width and a considerable reduction in the kinetic energy at the intersection.
3. The input flow rate of this channel to the intersection increases with the speed and width of the side channel, which accounts for the local drop in the width of the main channel flow.

Keywords: Channel Confluence, Channel cross, sectional area, Cross channel angles, Modelling, Flow-3D

Citation: Raeisi Dehkordi, M. R., Yeganeh Mazhar, A. H. & Kheradzare, F. (2023). Investigating effects of lateral inflow characteristics on main flow using numerical modeling. *Integrated Watershed Management*, 3(1), 54-71. doi: 10.22034/iwm.2023.1990397.1064

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



بررسی تأثیر مشخصات جریان ورودی جانبی بر جریان اصلی با استفاده از مدل‌سازی عددی

محمد رضا رئیسی دهکردی^{۱*}، امیرحسین یگانه مظهر^۱، فرزانه خرد زارع^۲

۱- دانشجوی دکتری گروه مدیریت ساخت و آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
 ۲- دانش‌آموخته کارشناس ارشد عمران، گرایش مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران و مکانیک، دانشگاه
 گیات‌الدین جمشید کاشانی، قزوین، ایران

*نویسنده مسئول: mohamadreza.raeisi.d@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۱/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۷

چکیده

اهمیت آب در زندگی امروزه، باعث شده است تا همواره انسان به فکر انتقال و انحراف جریان‌های موردنیاز به نفع بقا خود باشد. باید این واقعیت را پذیرفت که مسئله سیل هنوز به‌طور کامل حل نشده است و هدایت و منحرف کردن سیلاب جهت آبیاری هنوز موردتقاضا است؛ بنابراین ارائه مدل‌های هیدرولیکی مؤثر جهت شبیه‌سازی جریان در کانال با جریان ورودی جانبی برای انتقال حداکثری دبی موردنیاز است. در اثر برخورد جریان کانال جانبی به جریان اصلی تغییراتی در الگوی جریان عبوری از کانال اصلی ایجاد می‌شود که به نسبت دبی جریان، زاویه بین دو کانال و غیره وابسته است. جریان‌های کانال‌های متقاطع به‌طور پاره پاره و سبب صفر انجام شده، استفاده شده است. در نهایت، عددی از مدل وبر و همکاران که روی یک کانال مستطیلی با زاویه تقاطع ۹۰ درجه و شیب صفر انجام شده، استفاده شده است. در نهایت، دقت نتایج مدل‌های آشفته‌گی با داده‌های آزمایشگاهی انطباق دارد و مدل در این زمینه RNG از دقت بالاتری برخوردار است. طبق نتایج مشخص شد، بعد از تقاطع در پایین‌دست کانال اصلی ناحیه جدایی جریان تشکیل می‌شود. این ناحیه به دلیل جریان چرخشی موجود در آن سبب رسوب‌گذاری بیشتری در دیواره داخلی کانال اصلی بعد از تقاطع می‌شود که این موضوع باعث ایجاد مشکلاتی خواهد شد. به‌علاوه با بررسی زاویه تقاطع دو کانال اصلی و جانبی مشخص شد که در زاویه ۳۰ درجه تقریباً ناحیه جدایی محو می‌شود ولی چون جریان‌ها با زاویه‌ای کم به هم می‌پیوندند، سرعت و انرژی جریان در محل تقاطع و بعد از آن نسبت به زاویه ۶۰ درجه بیشتر است. بنا بر آنچه در بررسی‌ها و مدل‌سازی‌ها انجام شد، این موضوع که بهترین کانال متقاطع با زاویه‌ای ۶۰ درجه است، تأیید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تلاقی کانال‌ها، سطح مقطع کانال جانبی، زاویه کانال متقاطع مدل‌سازی، Flow-3D

استناد: رئیسی دهکردی، م. ر.، یگانه مظهر، ا. ح.؛ و خرد زارع، ف. (۱۴۰۲). بررسی تأثیر مشخصات جریان ورودی جانبی بر جریان اصلی با استفاده از مدل‌سازی عددی. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۳(۱)، ۷۱-۵۴.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

مقدمه

در کانال جانبی را به‌طور هم‌زمان بررسی کرده است. تیلور (Taylor, 1944) از نخستین کسانی بود که موضوع جریان در تقاطع کانال‌ها را بررسی کرد. وی با در نظر گرفتن فرض‌های ساده‌کننده‌ای صرف‌نظر کردن از اصطکاک دیواره‌ها به بررسی معادله ممنتوم، معادله‌ای برای برآورد نسبت عمق جریان در کانال‌های بالادست و پایین‌دست ارائه کرد. در مقاله‌ای دیگر رامامورثی و همکاران (Ramamurthy *et al.*, 1988) به ارزیابی ارتباط بین افزایش عمق آب کانال و دبی جریان جانبی به کل دبی در پایین‌دست پرداختند. فرض آن‌ها یکسان بودن مقطع عرضی دو کانال اصلی و جانبی، جریان در ورودی هر دو کانال دارای عمق یکسان و یکنواخت و سرعت در ابتدا و انتهای جریان جانبی یکسان بود. آن‌ها دریافتند که نقطه ساکن در دهانه خارجی کانال جانبی و جدایی جریان در دهانه داخلی آن ایجاد می‌شود. در مدل‌سازی دیگر وبر و همکاران نیز (Weber *et al.*, 2001) به مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان در کانال‌های متقاطع ۹۰ درجه پرداختند. داده‌های اندازه‌گیری شده توسط آن‌ها به‌صورت سرعت‌های سه‌بعدی به همراه نوسانات سرعت و عمق جریان بوده است. این داده‌های اندازه‌گیری شده، ابزار اعتبارسنجی مدل‌های عددی سال‌های بعدی را فراهم کرده است. آن‌ها بیان کردند که ابعاد ناحیه جدایی جریان در نزدیکی بستر با تغییر زاویه ورودی جریان کوچک‌تر می‌شود و در سطح چرخش بیشتری داخل ناحیه جدایی ایجاد می‌شود. برقی و نظری در پژوهشی (Burqa'i and Nazari, 2003) به‌منظور بررسی الگوی رسوب و فرسایش در تقاطع کانال‌ها اثر متغیرهای چون قطر متوسط مصالح بستر، نسبت عرض کانال‌های فرعی به اصلی و نسبت دبی کانال‌های فرعی به دبی کل بر این الگو آزمایش‌هایی را روی یک اتصال ۹۰ درجه انجام دادند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که حداکثر عمق آب شستگی در ابتدای ناحیه جداشدگی جریان اتفاق می‌افتد و حداکثر عمق آب شستگی با کاهش عمق متوسط برای مصالح بستر، کاهش نسبت

بررسی خصوصیات جریان در تقاطع کانال‌ها و رودخانه‌های طبیعی از مباحث مهم در مهندسی رودخانه است. برخورد دو جریان با یکدیگر پدیده‌ای است که هم در طبیعت و هم در پروژه‌های مهندسی مانند کانال‌های انتقال، جمع‌آوری و زهکشی دیده می‌شود (Tabesh., 2018). برخلاف وجود این نوع از جریان‌ها در بسیاری از پدیده‌های هیدرولیکی، توجه کمتری به آن شده است. این سازه‌ها در پخش و انتقال آلاینده‌ها نیز حائز اهمیت است (Raeisi Dehkordi., 2022). تبادل نیروی ورودی از کانال جانبی با جریان اصلی پس از برخورد با آن، باعث حرکت جریان کانال فرعی به سمت پایین‌دست تقاطع کانال می‌شود. شکل‌گیری ناحیه چرخشی با فشار پایین و حتی فشار منفی در مجاورت دیواره داخلی سمت کانال جانبی، از بارزترین مشخصات جریان در این مقاطع است. (Tabesh., 2018). جریان چرخشی این ناحیه با فشار پایین، از یک‌سو فضای کافی برای رسوب‌گذاری را در اختیار جریان قرار داده و از طرف دیگر ضمن کاهش سطح مقطع عبوری جریان، منجر به افزایش سرعت عبوری در مجاورت کف و دیواره خارجی کانال می‌شود. افزایش سرعت در درازمدت، آب شستگی این ناحیه را در بر خواهد داشت (Masjedi and Taeedi., 2011). کاهش رسوب‌گذاری در ناحیه چرخشی و آب شستگی در فضای بالای صفحه برشی مهم‌ترین دغدغه‌های اصلی طراحی این تقاطع‌ها است (Khosravinia *et al.*, 2018). در پژوهش حاضر به بررسی تأثیرات جریان در کانال انحرافی بر جریان اصلی در محل تقاطع پرداخته می‌شود. زاویه تقاطع، عرض مقطع جریان جانبی، سرعت جریان جانبی و طول کانال جریان جانبی موردبررسی قرار می‌گیرد. استفاده از مدل عددی سه‌بعدی به‌منظور بررسی تأثیر پارامترهای جریان جانبی بر رفتار جریان در کانال اصلی را می‌توان به‌عنوان نوآوری این تحقیق به‌حساب آورد. همچنین این تحقیق چندین پارامتر مؤثر از خصوصیات جریان

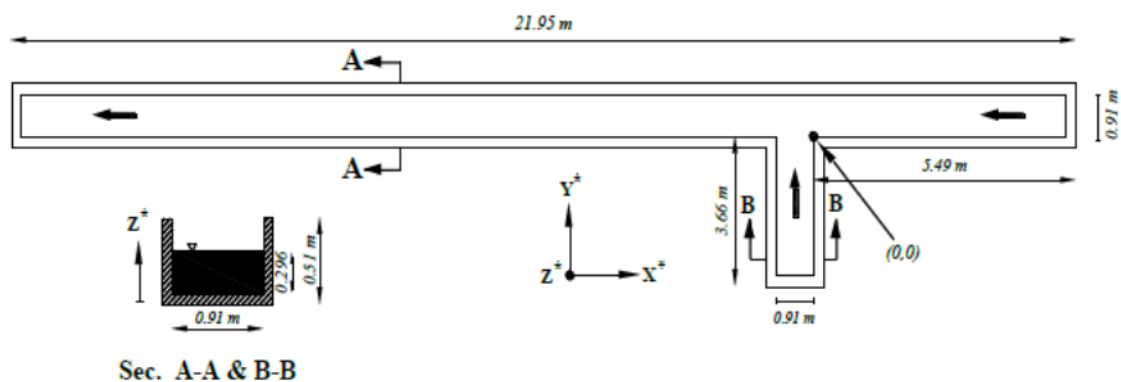
فرعی به‌طور جانبی به کانال‌های اصلی وارد می‌شود، می‌توان استفاده نمود. در محل برخورد در جریان از کانال اصلی و کانال فرعی، جریان‌های پیچیده‌ای به وجود می‌آید که بررسی الگوی جریان می‌تواند به شناسایی تغییرات بستر در جریان‌های دارای رسوب کمک کند. در محل برخورد دو جریان از کانال اصلی و کانال فرعی، ناحیه تنگ‌شدگی جریان ایجاد می‌شود. به‌موازات ناحیه تنگ‌شدگی جریان ناحیه با سرعت پایین و چرخشی در کانال اصلی ایجاد می‌گردد که ناحیه جدایی جریان گفته می‌شود. در ناحیه جدایی جریان، جریان‌های چرخشی وجود دارد که در آن سرعت‌های عرضی جریان غالب جریان بوده و کاهش جهت سرعت طول معکوس می‌گردد. در ناحیه جدایی جریان امکان رسوب‌گذاری وجود داشته که مشکلات زیادی را به همراه دارد؛ بنابراین مطالعه رفتار دقیق جریان‌های متقاطع در بحث‌های انتقال و جمع‌آوری از اهمیت بالایی برخوردار هستند.

مواد و روش‌ها

مدل آزمایشگاهی

در پژوهش حاضر برای صحت‌سنجی و بررسی سایر اهداف تحقیق دقیقاً از کانال (فلوم) ساخته‌شده در آزمایشگاه توسط (Weber *et al.*, 2001) استفاده‌شده است. طول کانال اصلی ۲۱/۹۵ متر، طول کانال جانبی یا فرعی ۳/۶۶ متر که با زاویه ۹۰ درجه نسبت به کانال اصلی قرار گرفته است. سرعت بالادست کانال اصلی ۰/۱۶۶ متر بر ثانیه و سرعت بالادست کانال جانبی ۰/۵ متر بر ثانیه است و در نتیجه دبی کل پایین‌دست خروجی حدود ۰/۱۷ مترمکعب بر ثانیه است. عمق جریان و عرض در هر دو کانال به ترتیب ۰/۲۹۶ متر و ۰/۹۱ متر است. شکل ۱ مشخصات هندسی کانال آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.

دبی کانال اصلی به دبی کل و همچنین کاهش عرض شاخه فرعی افزایش می‌یابد. کوانزا و همکاران (Kwanza *et al.*, 2007) نیز در پژوهشی تأثیرات شیب کانال، عرض کانال و سرعت که از یک نقطه تا نقطه دیگر کانال تغییر کرده و دبی جانبی را بر سرعت جریان و دبی در دو نوع کانال مستطیلی و ذوزنقه‌ای را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها بیان کردند که برای افزایش دبی عبوری از کانال، شیب، عرض و دبی جانبی نیاز به افزایش دارد. در مجموع با حداقل کردن پیرامون مرطوب، سرعت جریان سیال افزایش یافت. تیونگتو در پایان‌نامه خود (Thiong'o, 2011) جریان سیال در کانال‌های باز مستطیلی و مثلثی را مورد ارزیابی قرار داده است. یافته‌های این محقق در کانال‌های مستطیلی منطبق با (Kwanza *et al.*, 2007) بود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، سرعت باز در جریان کانال‌های مستطیلی هنگامی که شیب، دبی و عرض کانال زیاد می‌شود، افزایش می‌یابد اما افزایش پیرامون مرطوب باعث کاهش سرعت جریان می‌شود. اژدری و همکاران (Azhdari *et al.*, 2020) در تحقیقی مشخصات جریان در تقاطع کانال چهار شاخه با زاویه ۹۰ درجه با دو ورودی و خروجی با استفاده از نرم‌افزار Flow3D شبیه‌سازی کردند. آن‌ها دریافتند که در یک نسبت دبی ثابت، هرچه ارتفاع سرریز خروجی کمتر باشد، عدد فرود در کانال ورودی بیشتر است و همچنین مقایسه نتایج آزمایشگاهی و عددی برای پروفیل‌های سطح آب تطابق خوبی داشتند. با مطالعه پیشینه پژوهش حاضر مشخص شد، مطالعات گذشته بیشتر در زمینه بررسی پروفیل‌های سرعت جریان در محل تقاطع و تعیین پروفیل سطح جریان بوده است اما در این مطالعه پارامترهایی همچون کانتورهای انرژی جنبشی، خطوط جریان و نواحی چرخشی و بردارهای سرعت بررسی می‌شود که به این پارامترها در مطالعات گذشته پرداخته نشده است. از نتایج این تحقیق جهت طراحی بهتر شبکه انتقال زه آب شهری که آب از کانال‌های

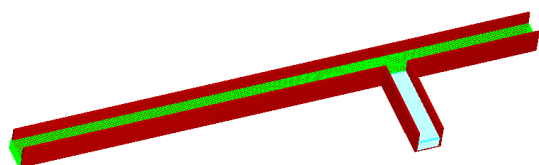


Sec. A-A & B-B

شکل ۱- تصویر شماتیک فلوم آزمایشگاهی (Weber et al., 2011)

Figure 1- Schematic image of laboratory flume (Weber et al., 2011)

بلوک مش را دارد (Hemmati and Aghazade- Soureh., 2018) با تعیین ابتدا و انتهای مش می توان تعداد یا اندازه سلول ها را تعیین کرد تا شبکه مش ایجاد شود. اگر اندازه مش ها در سه جهت به هم نزدیک شود و شبکه نیز یکنواخت باشد جواب هایی با دقت بیشتری حاصل می شود. در قسمت های حساس مانند تقاطع کانال در این پژوهش می توان ابعاد مش را ریز و تعداد آن ها را بیشتر کرد. در این تحقیق مانند شکل ۳ دو بلوک مش برای مش بندی هندسه مدل استفاده شده است که بلوک اول کانال اصلی و بلوک دوم کانال فرعی را پوشش می دهد.

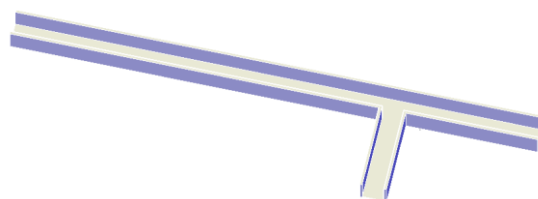


شکل ۳- شبکه مش بندی بلوک ها روی کانال اصلی و جانبی

Figure 3- Meshing network of blocks on the main and side channel

این دو بلوک در محل تقاطع مماس با هم هستند و از نوع بلوک های لینک شده محسوب می شود. برای بلوک مش اول که بر روی کانال اصلی در نظر گرفته، تعداد ۷۵ هزار سلول با سایز هر سلول بین ۳ تا ۶ سانتی متر که سایزهای ریزتر مربوط به محل تقاطع است و در

شکل ۲ تصویری از کانال آزمایشگاهی با ابعاد گفته شده در محیط سه بعدی را نشان می دهد. این شکل دقیقاً مربوط به کانال (Weber et al., 2001) است و تغییرات مورد نظر تحقیق برای تغییر در زاویه، عرض و طول کانال جانبی در این شکل اعمال نشده است.



شکل ۲- تصویری از مدل سه بعدی کانال در محیط اتوکد
Figure 2- image of the 3D model of the channel in the AutoCAD

تعیین شبکه مش

نرم افزار ساده و قدرتمند Flow-3D، مش را تولید می کند. این نرم افزار مش ها را در سیستم های مختصات کارتزین^۱ و استوانه ای^۲ استفاده می کند. این مش های مستطیلی نسبت به سایر شکل های شبکه مش حجم محاسبات را کاهش می دهد (Behdarvandi et al., 2022) هندسه مدل با استفاده از FAVORize شناسایی می شود. شبکه مش در سه جهت به طور مستقل تعریف می شوند و برای هندسه های پیچیده تر می توان از چند بلوک مش برای مش بندی هندسه مدل استفاده کرد. این نرم افزار قابلیت تعریف هم زمان ۱۵۰

1 - Mesh cartesian
2 - Mesh cylindrical

سطح آزاد جریان: نرم‌افزار Flow-3D از روش VOF برای حل سطوح آزاد استفاده می‌کند که شرایط مرز آب‌وهوا را به صورت حجم سیال شبیه‌سازی می‌کند. شرط مرزی در نظر گرفته شده برای وجه بالا رو به هوا در هر دو کانال گزینه Summetry است که به معنای متقارن در نظر گرفتن این مرز تا بی‌نهایت است.

برای تعیین شرایط اولیه در زمان $t=0$ دو شرط اولیه برای مدل در نظر گرفته شده است. با تعریف ناحیه جریان در هر دو کانال به ارتفاع 0.296 متر برابر ارتفاع جریان در مدل، کانال از اول زمان مدل‌سازی پر در نظر گرفته می‌شود. دیگر شرط اعمال شده در زمان سفر این است که توزیع فشار در این زمان به صورت فشار هیدرواستاتیک در نظر گرفته شده است تا از شروع مدل‌سازی فشار سطح آزاد کانال‌ها ورودی در جهت Z به شکل هیدرواستاتیک برای سطوح آزاد باشد.

معرفی مدل‌های پژوهش

در این مقاله به بررسی زاویه تقاطع بین کانال اصلی و جانبی، سرعت جریان ورودی، سطح مقطع و طول در کانال جانبی پرداخته شده است. مدل‌های مورد بحث و بررسی در قالب جدول ۱ شرح داده شده است. قابل ذکر است که سرعت ورودی، عرض و سطح مقطع و همچنین طول کانال اصلی در تمام مدل‌سازی‌ها ثابت و برابر با هم هستند. از آنجاکه به دلیل عوامل اثر زیاد هندسی مانند زاویه تقاطع، سطح مقطع و متغیرهای جریان مانند عدد فرود کانال پیش‌بینی درست خصوصیات جریان در تقاطع کانال‌ها با مدل‌های ساده ریاضی و کدنویسی تقریباً غیرممکن است و نیاز به تحلیل عددی سه‌بعدی دارد در این تحقیق از بسته نرم‌افزاری سه‌بعدی Flow-3D استفاده شده است.

بلوک مش دوم که بر روی کانال جانبی بسته شده است، مجموعاً 50 هزار مش و سایز 5 سانتی‌متر برای کل مش‌ها به صورت یکنواخت تعیین شده است. در کل نسبت مش‌ها در سه جهت همواره کمتر از 2 است.

تعیین مدل آشفتگی، شرایط مرزی و شرایط اولیه

برای تعیین آشفتگی، با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی مدل‌های $K-\epsilon$ و RNG با نتایج مدل آزمایشگاهی Weber و استفاده سایر محققین گذشته، از مدل گروه نرمال شده RNG برای مدل‌سازی جریان در کانال و محل تقاطع دو کانال استفاده شده است.

برای تعیین متغیرهای مجهول از جمله سرعت، فشار، انرژی جنبشی و پخش انرژی آشفتگی باید شرایط مرزی را برای مدل تعریف کرد. در نرم‌افزار Flow-3D مرز سطح آزاد جریان به وسیله تکنیک VOF محاسبه می‌شود. همچنین روش FAVOR برای شناسایی هندسه در سلول‌های حجم محدود استفاده می‌شود. روی دیواره‌ها و بافل به دلیل در نظر گرفتن شرط عدم لغزش در معادلات ناویر - استوکس سرعت u و v صفر است. شرایط مرزی تعیین شده برای شش وجه مش‌بندی مدل به تفکیک به شرح زیر است:

ورودی: سرعت ورودی برای بلوک اول که شامل کانال اصلی می‌شود در همه مدل‌ها 0.166 متر بر ثانیه را برای شرط مرزی ورودی با انتخاب گزینه Specified Velocity مشخص می‌شود. برای ورودی بلوک دوم روی کانال فرعی نیز سرعت مشخص تعیین شده است. خروجی: با انتخاب شرط مرزی OutFlow برای قسمت خروجی در پایین دست کانال اصلی، محاسبه پارامترهای جریان در خروجی به نرم‌افزار محول می‌شود.

کف دیواره‌های حوضچه: هرچند نرم‌افزار با قدرت تکنیک FAVOR دیواره‌ها و کف را شناسایی می‌کند ولی گزینه Wall برای کف کانال‌ها و دیواره آن‌ها انتخاب می‌شود.

جدول ۱- معرفی مدل های تحقیق

Table 1- Introduction of research models

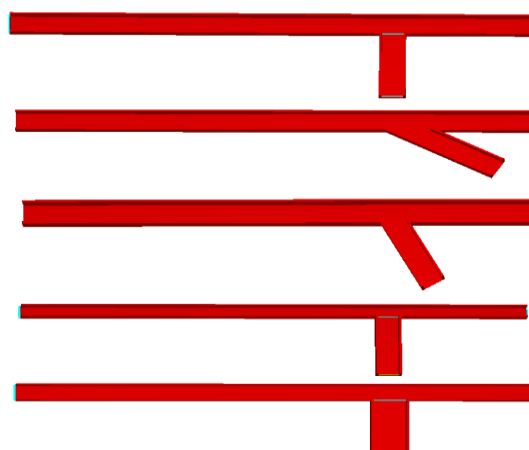
سرعت ورودی کانال جانبی value of inlet speed in the side channel (m/s)	عرض کانال جانبی intersection of the lateral channel (m)	طول کانال جانبی side channel length (m)	زاویه تقاطع intersection angle	مدل Model
0.5	0.90	3.66	90	1
0.5	0.90	3.66	60	2
0.5	0.90	3.66	30	3
0.5	0.90	5.52	90	4
0.5	1.40	3.66	90	5
0.75	0.90	3.66	90	6

صحت سنجی مدل جریان

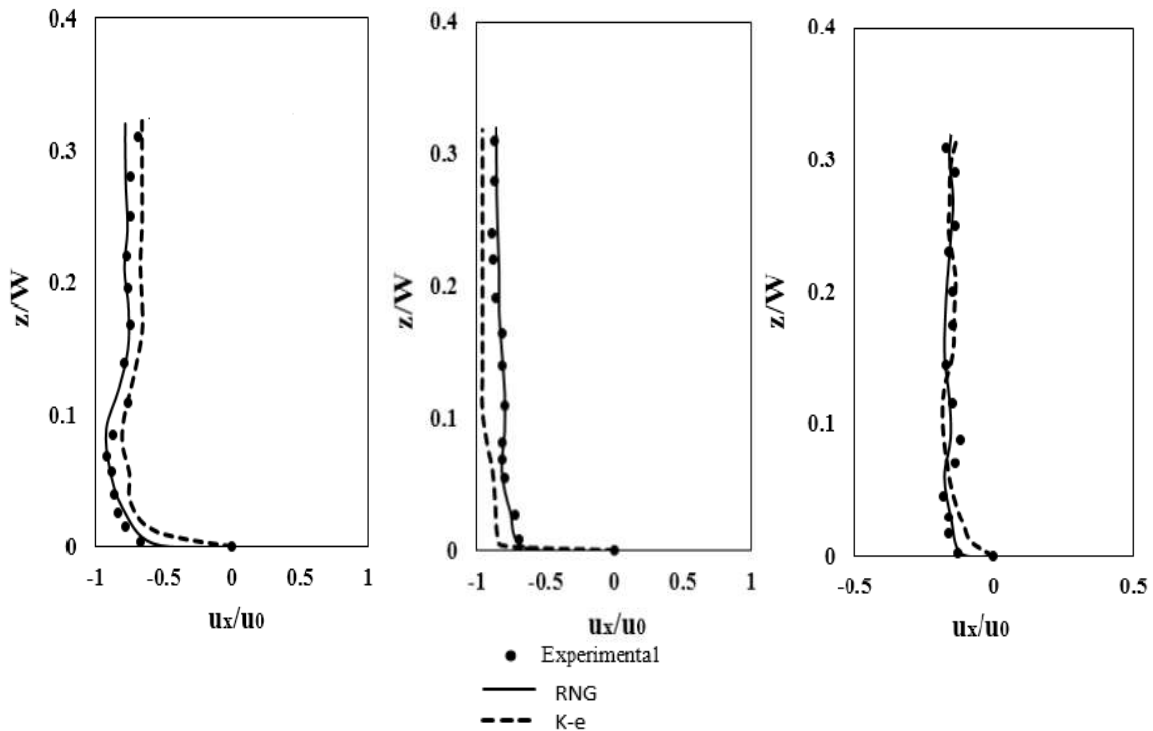
همان طور که گفته شد از مدل آزمایشگاهی تحقیق Weber *et al.*, (2001) جهت صحت سنجی مدل عددی ساخته شده استفاده شده است. Weber *et al.*, (2001) به مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان در کانال های متقاطع ۹۰ درجه پرداختند. مؤلفه های سرعت اندازه گیری شده توسط Weber به صورت سه بعدی بوده است. در این مدل سازی مجموعاً حدود ۲۸۵۰ مؤلفه سرعت در مقطع ها و عمق های مختلف برداشت شده است. این داده های اندازه گیری شده در تحقیق حاضر نیز برای صحت سنجی مدل عددی مجدد استفاده شده است.

شکل ۵ پروفیل سرعت در جهت X برای کانال اصلی را در سه مقطع بالادست تقاطع، روی تقاطع و مقطع پایین دست تقاطع را نشان می دهد. این شکل مقایسه داده های آزمایشگاهی Weber را با دو نتیجه از نرم افزار Flow-3D مشخص کرده است. تفاوت دو نمودار استخراج شده از نرم افزار در مدل آشفتگی آنها بوده است. همان طور که مشخص است نتایج پروفیل سرعت مدل های عددی با داده های آزمایشگاهی با تفاوت اندکی منطبق است. مدل آشفتگی RNG مطابقت بیشتری با داده های آزمایشگاهی دارد.

مدل ۱ همان مدل آزمایشگاهی Weber است که مشخصات تقاطع و کانال جانبی آن در جدول فوق مشاهده می شود. مدل های ۲ و ۳ به ترتیب دارای زاویه تقاطع ۶۰ و ۳۰ درجه و بقیه ویژگی آنها مطابق با مدل پایه یا همان مدل ۱ است. مدل ۴ در طول کانال جانبی با مدل ۱ متفاوت است. عرض مقطع کانال جانبی در این مدل ۱/۵ برابر عرض این کانال در مدل پایه است. مدل ۶ دقیقاً هندسه مدل پایه را دارد و تفاوت آن در سرعت ورودی کانال جانبی است که سرعتی معادل ۰/۷۵ متر بر ثانیه و ۱/۵ برابر سرعت ورودی کانال جانبی در مدل های دیگر است. شکل ۴ هندسه این مدل ها را به ترتیب از مدل شماره ۱ تا مدل شماره ۵ را در نرم افزار Flow-3D نشان می دهد.

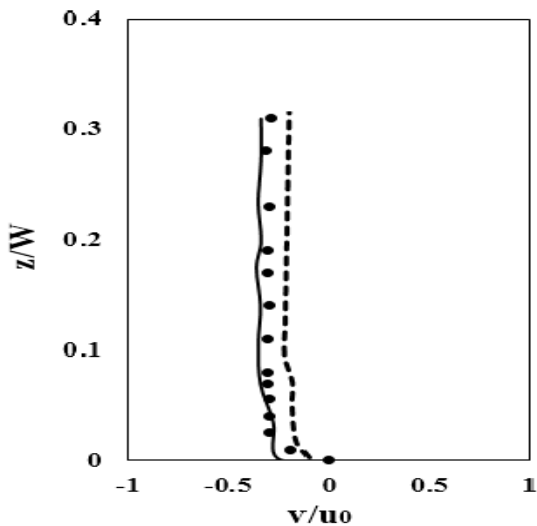


شکل ۴- هندسه مدل ها به ترتیب از مدل ۱ تا ۵
Figure 4- The geometry of the models, respectively, from model 1 to 5



شکل ۵- پروفیل بی بعد سرعت در جهت X در کانال اصلی، به ترتیب از راست: مقطع بالادست تقاطع، مقطع روی تقاطع و مقطع پایین دست تقاطع

Figure 5- The dimensionless profile of velocity in the X direction in the main channel, in order from the right: the section upstream of the intersection, the section above the intersection and the section downstream of the intersection.



شکل ۶- پروفیل بی بعد سرعت در جهت Y در کانال جانبی مقطع قبل از تقاطع دو کانال

Figure 6- Dimensionless profile of velocity in the Y direction in the side channel of the section before the intersection of the two channels

در شکل ۶ همانند شکل قبلی مقایسه پروفیل سرعت در جهت Y داده‌های آزمایشگاهی و مدل‌های عددی این بار در کل کانال جانبی را نمایش می‌دهد. چون این دو کانال بر هم عمودند در کانال جانبی باید سرعت در جهت Y در نظر گرفته شود. در این بخش نتایج و مدل‌سازی عددی با مقایسه داده‌های آزمایشگاهی Weber تأیید و همچنین نشان داده شد که مدل آشفتگی RNG نسبت به مدل آشفتگی k-e در مدل‌سازی تقاطع کانال‌ها مناسب‌تر است. در اینجا صحت نتایج و مدل‌سازی عددی با مقایسه با داده‌های آزمایشگاهی Weber تأیید و همچنین نشان داده شد که مدل آشفتگی RNG نسبت به مدل آشفتگی k-e در مدل‌سازی تقاطع کانال‌ها مناسب‌تر است.

معادلات حاکم بر جریان

معادله پیوستگی

با تعریف قانون بقا جرم روی یک حجم کنترل ثابت کوچک که جریان سیال از آن عبور می کند، معادله پیوستگی به صورت رابطه ۱ بیان می شود:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v) = 0 \quad (1)$$

و معادله پیوستگی برای یک المان سیال تحت کسری از حجم سیال به شکل رابطه ۱ تشکیل می شود که در آن چگالی سیال، V_f کسر حجم باز سیال و u, v و w سرعت جریان در جهت های x, y و z است.

معادلات ممنتوم

همه جریان ها در مسیر حرکت خود با هر هندسه ای از قوانین حاکم بر جریان پیروی می کنند. معادله دیگر حاکم بر جریان سیال بقا اندازه حرکت یا ممنتوم یا همان قانون دوم نیوتن است. معادلات ناویر - استوکس همان معادلات ممنتوم حاکم بر جریان سیالات نیوتنی لزج یا مدل ریاضی حاکم بر حرکت سیالات هستند. این معادلات در جهت های سه گانه محور مختصات به شکل رابطه ۲ تا ۴ تعریف می شود که در آن G_x و G_y و G_z شتاب های جرم و f_x و f_y و f_z شتاب های لزجت است. برای سایر مؤلفه ها به مراجع اصلی و راهنمای نرم افزار Flow-3D مراجعه شود.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_t} \left\{ u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_t} \left\{ u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y \frac{\partial v}{\partial y} + w A_z \frac{\partial v}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + G_y + f_y \quad (3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_t} \left\{ u A_x \frac{\partial w}{\partial x} + v A_y \frac{\partial w}{\partial y} + w A_z \frac{\partial w}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + G_z + f_z \quad (4)$$

نتایج و بحث

مطابق با جدول ۱ به ارائه بررسی و نتایج حاصل از تغییرات مورد نظر و گفته شده در این جدول بر کانال آزمایشگاهی Weber پرداخته می شود. در چهار بخش زاویه تقاطع دو کانال، طول کانال جانبی، مساحت مقطع کانال جانبی و سرعت در ورودی کانال جانبی می پردازیم.

بررسی جریان در کانال جانبی نشان داد در همه مدل سازی ها در این کانال، جریان به صورت یکنواخت و بدون جریان های عرضی و نواحی چرخشی است که به همین دلیل در نتایج از مقاطع بالادست تقاطع در کانال جانبی صرف نظر شده است و بیشتر تغییرات در محل تقاطع و بعد از آن اتفاق افتاده است.

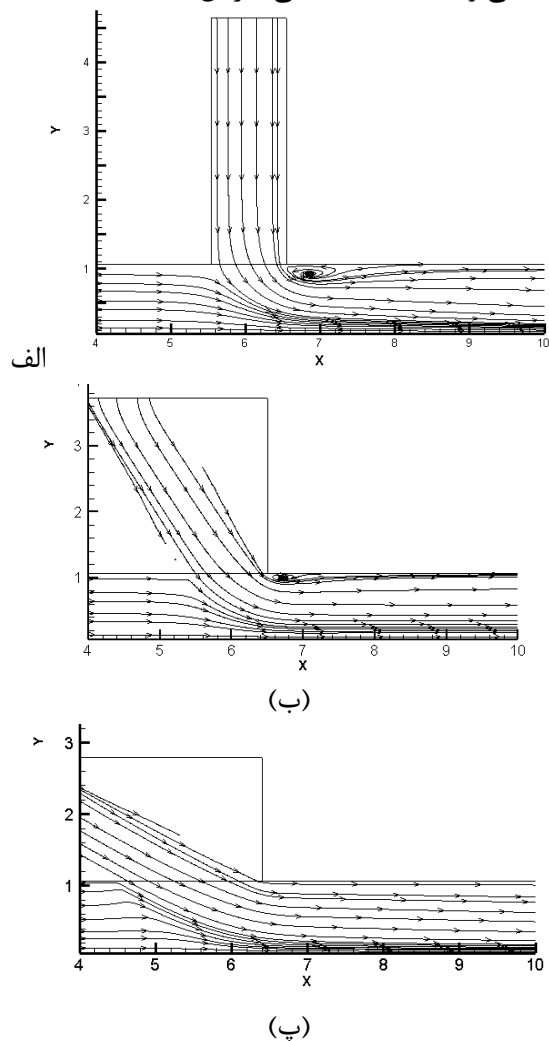
بررسی زاویه تقاطع

در این قسمت از نتایج به بررسی زاویه بین کانال اصلی و کانال جانبی پرداخته می شود. مدل های شماره یک،

دو و سه به ترتیب با زاویه های تقاطع ۹۰، ۶۰ و ۳۰ درجه ارزیابی می شوند. همان طور که در بررسی سایر مقالات و موضوعات مرتبط با این پژوهش مانند تحقیق قبادیان و سیدی تبار (Ghobadian and Seyedi, 2016) مشاهده شد، در بعضی از تحقیقات اثر زاویه تقاطع بررسی شده است اما در این پژوهش به بررسی سه بعدی در مقاطع عرضی و طولی و پلان محل تقاطع پرداخته می شود.

شکل ۷ کانتورهای انرژی جنبشی در ارتفاع میانه کانال را برای سه مدل با زوایای تقاطع ۹۰، ۶۰ و ۳۰ درجه را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود در کانال با زاویه تقاطع ۳۰ درجه (مدل شماره ۳) جریان دارای بیشترین انرژی جنبشی است. کمترین انرژی جنبشی مربوط به کانال با تقاطع ۶۰ درجه است، همچنین در کانال با تقاطع ۹۰ درجه بیشترین انرژی جنبشی نزدیک به دیواره روبروی کانال جانبی است که

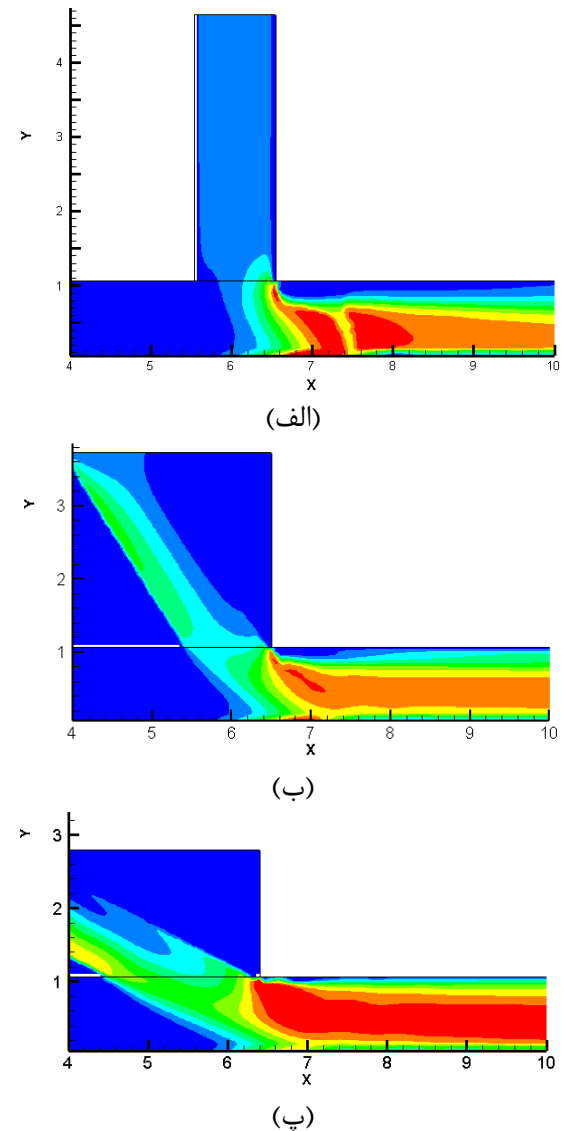
ارتفاع میانه است. بزرگ‌ترین ناحیه جدایی جریان مدل ۱ با زاویه تقاطع ۹۰ درجه است. این ناحیه جدایی در مدل ۲ با زاویه تقاطع ۶۰ درجه کم شده و در مدل ۳ با زاویه تقاطع ۳۰ درجه محو می‌شود. ناحیه جدایی جریان سبب رسوب‌گذاری در دیواره داخلی بعد از تقاطع می‌شود. با بررسی شکل‌های ۷ و ۸ می‌توان گفت زاویه ۳۰ و ۶۰ درجه بهترین زاویه برای کمترین انرژی جنبشی و ابعاد ناحیه جدایی جریان است.



شکل ۸- مقایسه خطوط جریان و ابعاد ناحیه جدایی جریان برای تقاطع کانال‌ها با زاویه الف) ۹۰، ب) ۶۰ و پ) ۳۰ درجه

Figure 8- Comparison of the flow lines and the dimensions of the flow separation area for the intersection of two channels with an angle a) 90, b) 60 and c) 30 degrees

این امر به دلیل ایجاد بیشترین انحراف جریان در کانال اصلی توسط جریان کانال جانبی است.

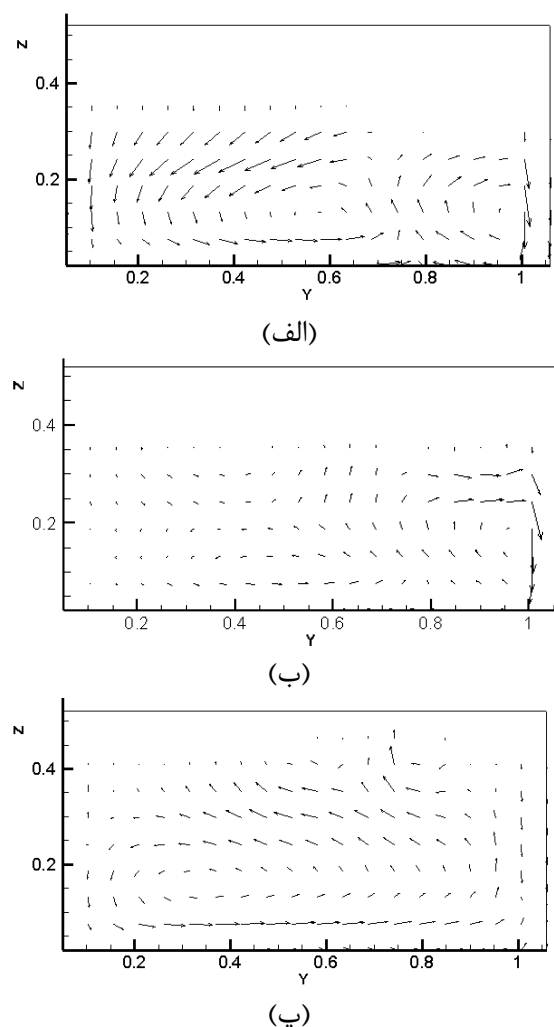


شکل ۷- مقایسه کانتورهای انرژی جنبشی در پلان تقاطع کانال‌های اصلی و جانبی با زاویه الف) ۹۰، ب) ۶۰ و پ) ۳۰ درجه

Figure 7- Comparison of kinetic energy contours in the intersection plan of the main and side channels with angles a) 90, b) 60 and c) 30 degrees

در شکل ۸ با یکسان بودن تقریبی نواحی چرخشی در سه منطقه نزدیک به کف، میانه ارتفاع و نزدیک به سطح جریان، متوجه می‌شویم این خطوط مربوط به

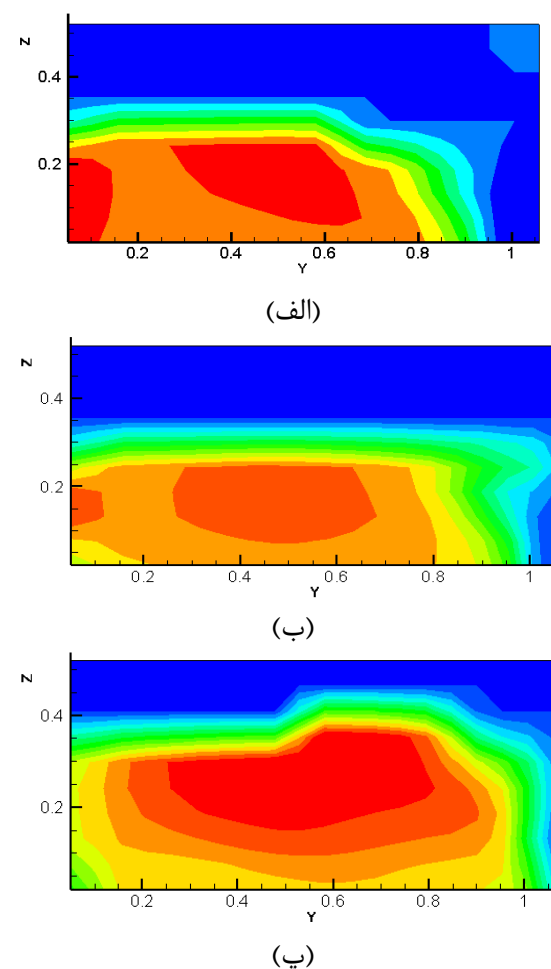
شکل ۱۰ بردارهای سرعت برای همان مقطع عرضی کانال اصلی بعد از تقاطع گفته شده را نشان می‌دهد. کمترین جریان‌های عرضی برای مدل شماره ۲ با زاویه تقاطع ۶۰ درجه در شکل ۱۰-ب مشاهده می‌شود. بنا بر آنچه در بررسی‌های قبل انجام شد و در این نتیجه نیز مشاهده شد، همچنین در نتایج تحقیق افرادی مثل بهداروند و همکاران (Behdarvandi et al., 2022) این موضوع که بهترین کانال متقاطع با زاویه ۶۰ درجه است را تأیید می‌کند.



شکل ۱۰- مقایسه بردارهای سرعت مقطع عرضی در $X=7m$ کانال اصلی برای تقاطع کانال‌ها با زوایای الف) ۹۰، ب) ۶۰ و پ) ۳۰ درجه

Figure 10- Comparison of cross-sectional velocity vectors at $X=7m$ of the main channel for the intersection of channels with angles a) 90, b) 60 and c) 30 degrees

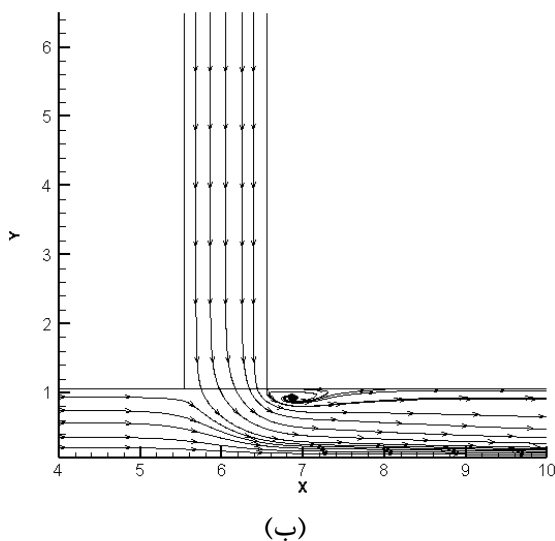
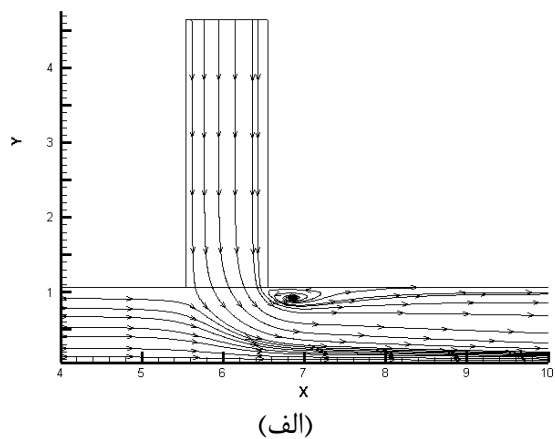
شکل ۹ مقطع عرضی کانال اصلی درست بعد از تقاطع را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۹ قسمت الف مشخص است جریان به سمت دیواره بیرونی (ناحیه قرمز) کشیده شده و در سمت دیواره داخلی ناحیه‌ای بزرگ یا همان ناحیه جدایی جریان با جریان‌های منفی و چرخشی تشکیل شده است. این ناحیه تقریباً در شکل ۹-پ وجود ندارد و جریان به شکل قرینه است. آرام‌ترین جریان مربوط به کانال با تقاطع ۶۰ درجه در شکل ۹-ب است.



شکل ۹- مقایسه کانتورهای سرعت u (m/s) مقطع عرضی در $X=7m$ کانال اصلی برای تقاطع کانال‌ها با زوایای الف) ۹۰، ب) ۶۰ و پ) ۳۰ درجه

Figure 9- Comparison of velocity contours u (m/s) of the cross section at $X=7m$ of the main channel for the intersection of the channels with angles a) 90, b) 60 and c) 30 degrees

شکل ۱۲ نواحی چرخشی در ناحیه جدایی جریان را نشان می‌دهد که با دقت در آن می‌توان فهمید عرض ناحیه جدایی جریان حدود ۲۰ درصد نسبت به مدل شماره ۱ با طول کانال جانبی کمتر، کاهش یافته است و سبب کاهش رسوب‌گذاری جریان می‌شود. طول ناحیه جدایی جریان تقریباً بدون تغییر باقی‌مانده است. همچنین نتیجه مشابهی را نیکپور و خسروی‌نیا (Nikpour and Khosravinia., 2018) در پژوهش خود نیز به دست آورده‌اند.

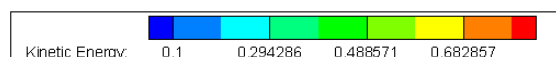
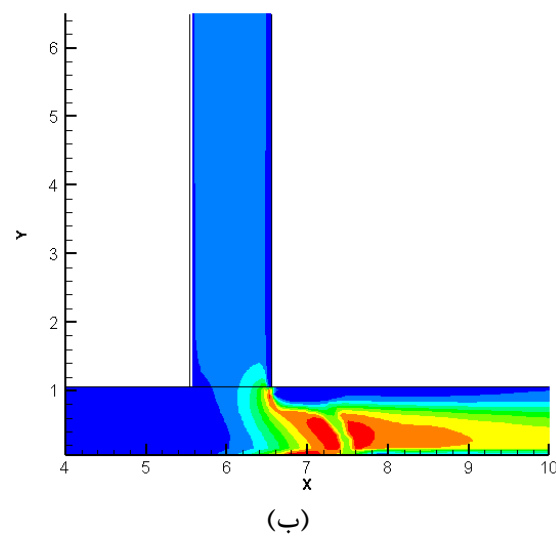
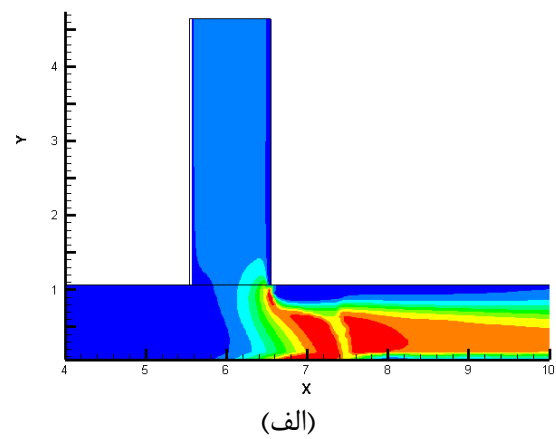


شکل ۱۲- مقایسه خطوط جریان و ابعاد ناحیه جدایی جریان برای طول کانال جانبی الف) ۳/۶۶ متر و ب) ۵/۵۲ متر

Figure 12- Comparison of flow lines and dimensions of flow separation area for side channel length a) 3.66 meters and b) 5.52 meters

بررسی طول کانال جانبی

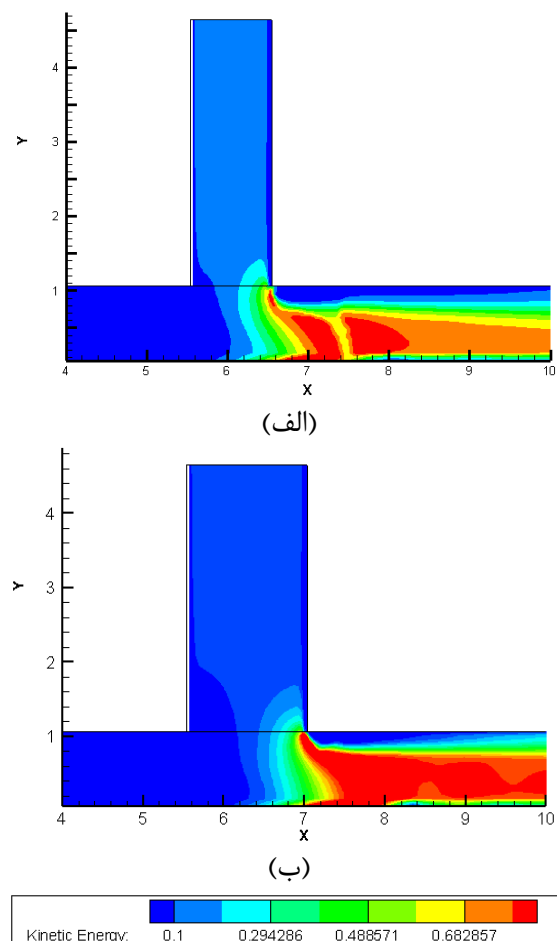
طول کانال جانبی در مدل یک برابر با ۳/۶۶ و این طول برای مدل چهار ۵/۵۲ متر در نظر گرفته شده است که هدف از این کار بررسی اثر افزایش طول کانال جانبی بر الگوی جریان در محل تقاطع دو کانال است. شکل ۱۱ کانتورهای انرژی جنبشی را برای دو حالت طول کانال به تصویر می‌کشد. معلوم است که با افزایش طول کانال جانبی انرژی جریان بعد از تقاطع و طول ناحیه بانرژی جنبشی بالا (ناحیه سرخ) کاهش می‌یابد.



شکل ۱۱- مقایسه کانتورهای انرژی جنبشی (m^2/s^2) برای طول کانال جانبی الف) ۳/۶۶ متر و ب) ۵/۵۲ متر

Figure 11- Comparison of kinetic energy contours (m^2/s^2) for the length of side channel a) 3.66 meters and b) 5.52 meters

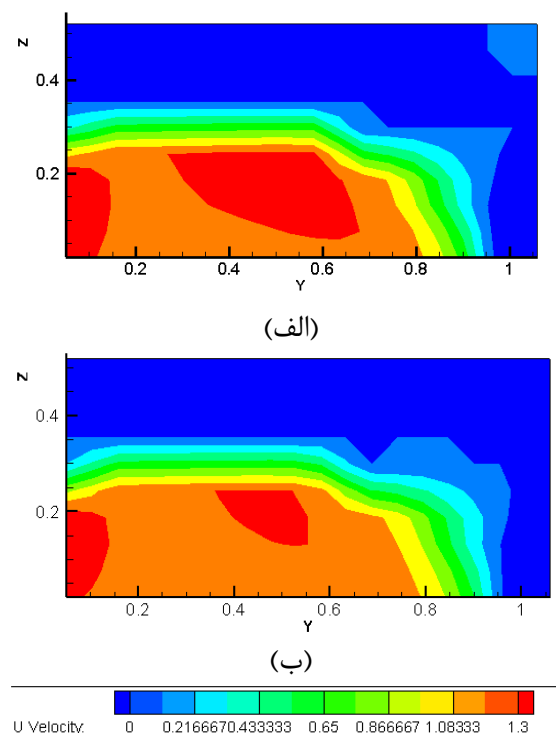
مدل شماره ۵، دبی جریان در این کانال نیز افزایش یافته است. با افزایش دبی کانال جانبی، دبی عبوری از تقاطع نیز افزایش یافته و ممنتوم برخورد جریان از کانال جانبی و کانال اصلی بیشتر می شود. شکل ۱۴ نشان از افزایش انرژی بعد از ورودی با افزایش عرض دبی و جریان کانال جانبی است.



شکل ۱۴- مقایسه کانتورهای انرژی جنبشی (m^2/s^2) برای عرض کانال جانبی الف) ۰/۹۱ متر و ب) ۱/۴۰ متر.
Figure 14- Comparison of kinetic energy contours (m^2/s^2) for side channel width a) 0.91 m and b) 1.40 m

شکل ۱۵ خطوط جریان و مقدار ناحیه جدایی جریان را نشان می دهد. با افزایش عرض در قسمت ب شکل ۱۵ مشخص است که طول ناحیه جدایی جریان افزایش یافته و همچنین افزایش دبی کانال جانبی و

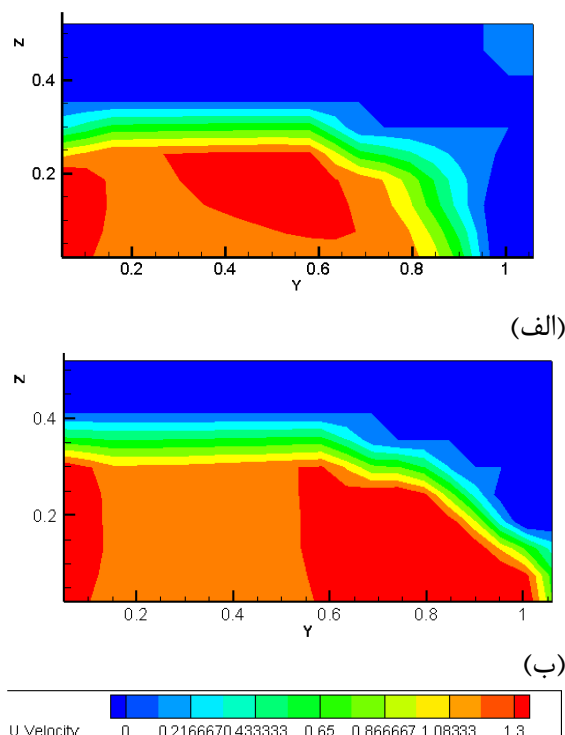
در شکل ۱۳ مقطع عرضی در $X=7$ متر بررسی شده است. برای هر دو مدل شماره یک و چهار با طول کانال جانبی مختلف الگوی جریان تشکیل شده تقریباً برابر است ولی سرعت در جهت افقی u برای مدل شماره یک با طول کمتر، بیشتر است. عرض کمتر ناحیه جدایی برای مدل شماره ۴ را هم می توان مشاهده کرد.



شکل ۱۳- مقایسه کانتورهای سرعت u مقطع عرضی در $X=7$ کانال اصلی برای طول کانال جانبی الف) ۳/۶۶ متر و ب) ۵/۵۲ متر
Figure 13- Comparison of u speed contours of the cross section at $X=7$ of the main channel for the length of the side channel a) 3.66 meters and b) 5.52 meters

بررسی سطح مقطع عرضی کانال جانبی

بعد از بررسی طول کانال جانبی نوبت به ارزیابی عرض و در نتیجه سطح مقطع کانال جانبی می رسد. مدل شماره ۱ با عرض ۰/۹۱ متر و مدل شماره ۵ با عرض ۱/۴۰ متر در این قسمت با هم مقایسه می شود. بررسی سطح مقطع عرضی کانال جانبی یکی از جدیدترین موضوعات در بحث تقاطع کانال های اصلی و جانبی است. با افزایش عرض یا سطح مقطع کانال جانبی در

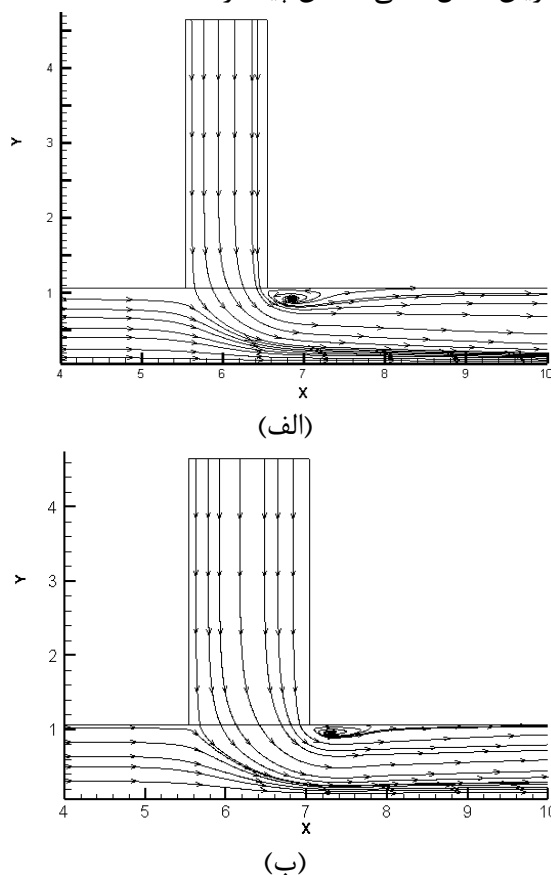


شکل ۱۶- مقایسه کانتورهای سرعت u مقطع عرضی در $X=7m$ کانال اصلی برای عرض کانال جانبی الف) 0.91 متر و ب) 1.40 متر.

Figure 16- Comparison of u velocity contours of the cross section at $X=7m$ of the main channel for the width of the side channel a) 0.91 m and b) 1.40 m

بررسی مقدار سرعت ورودی در کانال جانبی سرعت ورودی در کانال جانبی برخلاف بخش‌های قبلی که همگی مربوط به هندسه کانال‌ها بودند، جز پارامترهای هیدرولیکی جریان است. مدل شماره ۱ و ۶ به ترتیب با سرعت ورودی کانال جانبی 0.5 و 0.75 متر بر ثانیه در این قسمت بررسی می‌شود. شکل ۱۷ پروفیل سطح آب برای مدل‌های شماره ۱ و ۶ را نشان می‌دهد. همان‌طور که معلوم است قبل و دقیقاً روی تقاطع سطح جریان، جریان اندکی بالا افتادگی است ولی بلافاصله بعد از تقاطع جریان دچار پایین‌افتادگی محسوسی می‌شود. حجم و ارتفاع جریان در مدل شماره ۶ بیشتر است ولی افتادگی بعد از تقاطع برای این مدل کمتر و ملایم‌تر است. کرمی مقدم و همکاران

اعمال نیروی بیشتر بر جریان اصلی، عرض عبوری جریان کانال اصلی کاهش پیدا کرده است.



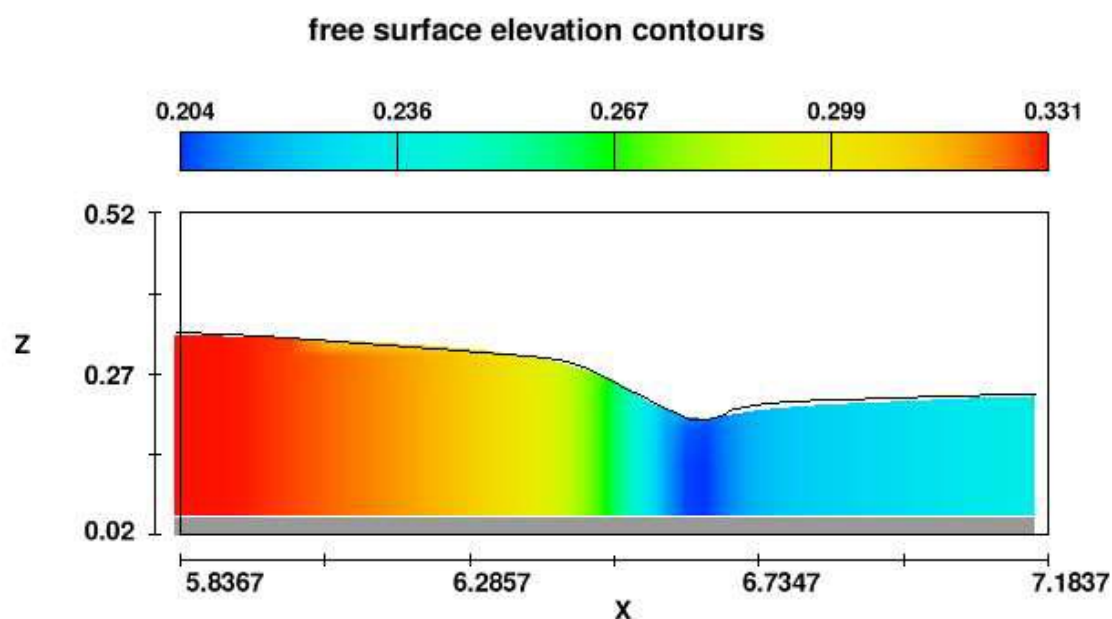
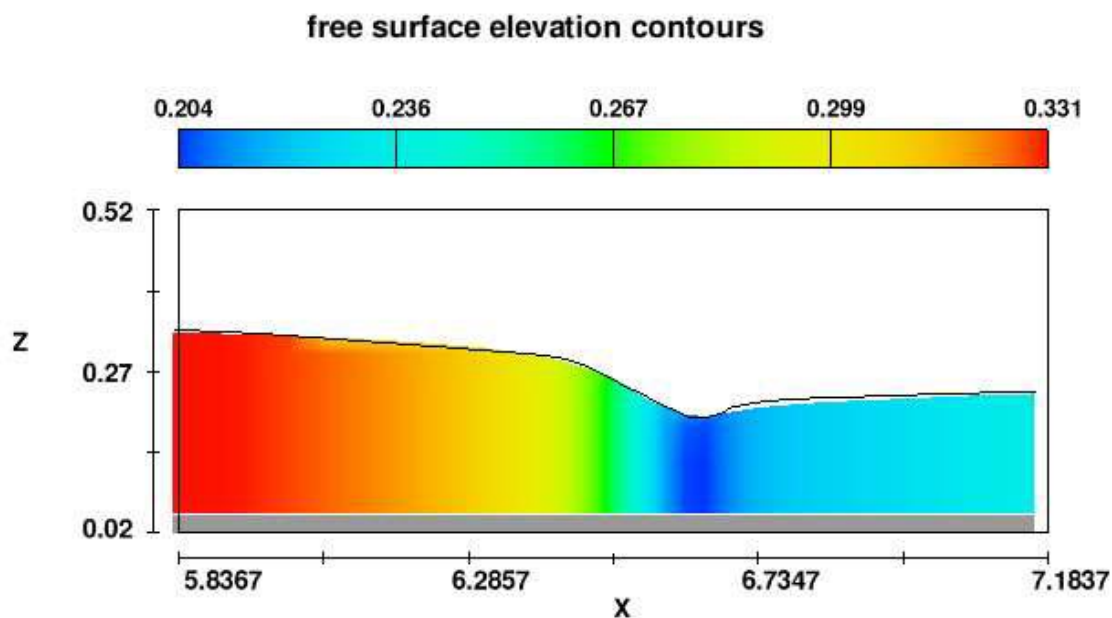
شکل ۱۵- مقایسه خطوط جریان و ابعاد ناحیه جدایی جریان برای عرض کانال جانبی الف) 0.91 متر و ب) 1.40 متر.

Figure 15- Comparison of the flow lines and the dimensions of the flow separation area for the width of the side channel a) 0.91 m and b) 1.40 m

همان‌طور که شاهد هستیم در شکل ۱۶، همانند سایر مدل‌ها سرعت‌های بزرگ‌تر در نزدیکی کف ایجاد شده است. در مدل شماره ۴ با عرض بیشتر دو ناحیه با سرعت بزرگ در سمت چپ و راست کانال تشکیل شده است که در ناحیه تشکیل شده در دیواره بیرونی نشان از جریان عبوری کانال اصلی و ناحیه قرمز در دیواره داخلی نشان از جریان عبوری با دبی بالای کانال جانبی را می‌دهد. این ناحیه در جریان با عرض کمتر در میانه عرض کانال تشکیل شد.

همچنین آن‌ها در تحقیق خود، مدل ساختگی با زاویه ۹۰ درجه همانند مدل شماره ۶ در این تحقیق را بررسی کردند که در قسمت افتادگی کمتر و ملایم‌تر بعد از تقاطع، به نتیجه مشترک رسیده‌ایم.

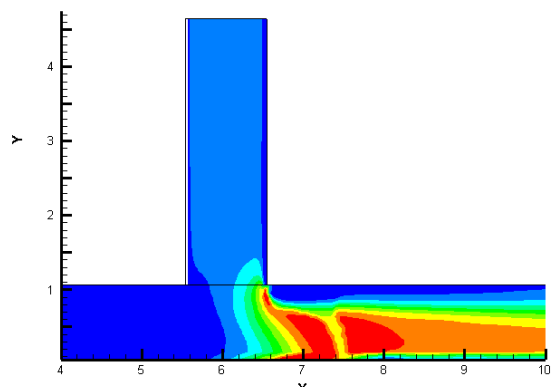
(Karami moghadam *et al.*, 2019) نیز در تحقیق خود این بالا رفتگی و سپس پایین افتادگی را، تجربه کردند و راهکارهایی برای آن پیشنهاد داده‌اند.



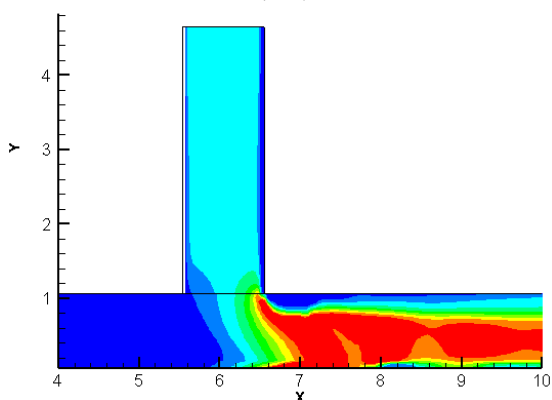
شکل ۱۷- پروفیل سطح آب در محل تقاطع و اندکی بعد از آن در کانال اصلی برای سرعت ورودی (الف) 0.5 m/s و (ب) 0.75 m/s .

Figure 17- Water level profile at the intersection and shortly after that in the main channel for the inlet velocity a) 0.5 m/s and b) 0.75 m/s

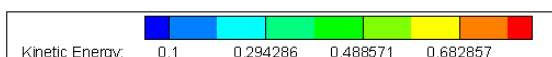
شکل ۱۸ کانتورهای انرژی جنبشی را نشان می‌دهد که با افزایش سرعت ورودی کانال جانبی همانند افزایش سطح مقطع آن، حجم جریان ورودی به تقاطع از این کانال افزایش یافته و همچنین انرژی جنبشی در طول کانال اصلی بیشتر می‌شود. همین‌عالم سبب افزایش طول ناحیه جدایی جریان به‌عنوان ناحیه‌ای رسوب‌گذار و مشکل‌ساز در سمت دیواره داخلی می‌شود که در شکل ۱۹ مشخص است. البته به نظر می‌رسد از عرض این ناحیه اندکی کاسته شده است و همچنین انرژی جریان به سمت دیواره خارجی کشیده شده است و خطر فرسایش در این دیواره را افزایش می‌دهد.



(الف)



(ب)

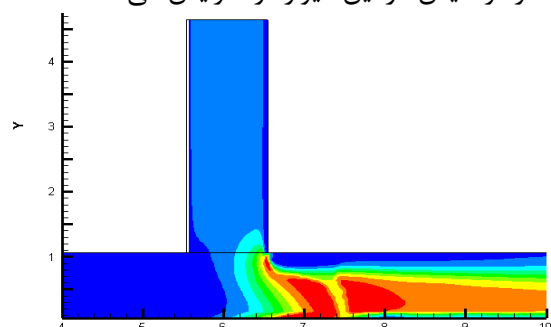


شکل ۱۹- مقایسه کانتورهای انرژی جنبشی (m^2/s^2) برای مقدار سرعت ورودی کانال جانبی الف) ۰/۵ متر بر ثانیه و ب) ۰/۷۵ متر بر ثانیه.

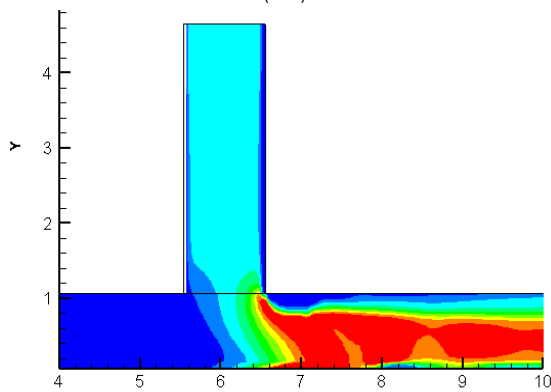
Figure 19- Comparison of kinetic energy contours (m^2/s^2) for the inlet velocity of the side channel a) 0.5 m/s and b) 0.75 m/s.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

برخورد جریان ورودی از کانال جانبی با جریان اصلی پس از برخورد با آن، باعث انحراف جریان کانال فرعی به سمت پایین دست تقاطع دو کانال اصلی و فرعی می‌شود (Ghobadian and Seyedi tabar., 2016). شکل‌گیری و ناحیه چرخشی با فشار پایین در مجاورت دیواره سمت کانال جانبی از مشخص‌ترین ویژگی جریان در این تقاطع‌ها است (Hosseini and Abrishami, 2018). جریان چرخشی در این ناحیه با



(الف)



(ب)



شکل ۱۸- مقایسه کانتورهای انرژی جنبشی (m^2/s^2) برای مقدار سرعت ورودی کانال جانبی الف) ۰/۵ متر بر ثانیه و ب) ۰/۷۵ متر بر ثانیه.

Figure 18- Comparison of kinetic energy contours (m^2/s^2) for the inlet velocity of the side channel a) 0.5 m/s and b) 0.75 m/s.

محو می‌شود ولی چون جریان‌ها با زاویه‌ای کم به هم می‌پیوندند سرعت و انرژی جریان در محل تقاطع و بعد از آن نسبت به زاویه ۶۰ درجه بیشتر است.

۵- بررسی افزایش طول کانال جانبی نشان داد که عرض ناحیه جدایی حدود ۲۰ درصد کاهش می‌یابد، همچنین انرژی جنبشی بعد از تقاطع مقدار قابل توجهی کاهش داشته است.

۶- با افزایش سرعت و همچنین افزایش عرض کانال جانبی، دبی ورودی این کانال به تقاطع افزایش می‌یابد. با توجه به اهمیت رسوب‌گذاری کف و همچنین فرسایش دیواره خارجی در تقاطع دو کانال اصلی و فرعی، پیشنهادهایی برای محققین آینده و طراحان تقاطع کانال‌ها ارائه می‌شود.

۱- کانال‌های مصنوعی در تقاطع‌ها ترجیحاً بر هم عمود نباشند و زاویه‌ای کمتر از ۶۰ و بیشتر از ۳۰ درجه، حدود ۴۵ درجه مناسب‌ترین زاویه برای تقاطع‌ها است.

۲- پیشنهاد می‌شود جریان همراه با رسوب نیز در تقاطع‌ها بررسی شود.

۳- بررسی تأثیر شیب کف کانال اصلی و جانبی از دیگر مباحث قابل تحقیق بیشتر در این زمینه است.

۴- پیشنهاد می‌شود شیب دیواره‌ها و تغییر شکل هندسی مقاطع عرضی هر دو کانال مثلاً به شکل‌های مثلثی و دوزنقه‌ای ارزیابی شود.

۵- پیشنهاد می‌شود اثر انواع بافل‌ها در تقاطع جریان شامل بافل‌های مستغرق و غیر مستغرق بررسی شود.

فشار پایین، فضای کافی برای رسوب‌گذاری را در اختیار جریان قرار داده و از طرف دیگر ضمن کاهش سطح مقطع عبوری جریان، منجر به افزایش سرعت عبوری در مجاورت کف و همچنین جداره بالایی کانال می‌شود که این افزایش سرعت در درازمدت، آب شستگی این ناحیه را در بر خواهد داشت (Musavi Jahromi and Goudarzizadeh, 2011). در این پژوهش برخی خصوصیات هیدرولیکی و هندسی تقاطع کانال‌ها با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D بررسی شد و همچنین با نمونه‌هایی مقایسه گردید. مدل‌سازی به صورت سه‌بعدی و با استفاده از مدل آشفتگی RNG انجام شد. در زیر به برخی از نتایج به دست آمده اشاره شده است.

۱- در منطقه بالادست کانال‌های اصلی و فرعی جریان حالتی یکنواخت دارد و فقط در نزدیکی تقاطع دچار اندکی بالآمدگی می‌شود.

۲- بعد از تقاطع در پایین‌دست کانال اصلی ناحیه جدایی جریان تشکیل می‌شود. این ناحیه به دلیل جریان چرخشی موجود در آن سبب رسوب‌گذاری بیشتری در دیواره داخلی کانال اصلی بعد از تقاطع می‌شود که این موضوع مشکلاتی را ایجاد می‌کند.

۳- با عبور از ناحیه جدایی جریان، شرایط جریان به سمت دوباره یکنواخت شدن پیش می‌رود و با حذف شدن ناحیه چرخشی جدایی جریان مقطع، جریان عبوری به همان کل عرض مقطع کانال می‌رسد.

۴- با بررسی زاویه تقاطع دو کانال اصلی و جانبی مشخص شد که در زاویه ۳۰ درجه تقریباً ناحیه جدایی

References

- Azhdari, K., Talebi, Z. & Hosseini, S. H. (2020). Simulation of Subcritical Flow Distribution and Water Surface Fluctuations in Four-branch Open Channel Junction with FLOW 3D. *Irrigation and Drainage*, 14(3), 1018-1031. (In Persian).
- Behdarvandi, M., Hajipour, M., Parsi, E. & Ansari ghoghghar, M. (2022). Investigation of Velocity Changes in a Straight Asymmetric
- Ghobadian, R. & Seyed tabar, Z. (2016). Numerical investigating of the effect of lateral channel junction position on flow

- Rectangular Composite Channel Using Flow-3D Software. *Irrigation and Water Engineering*, 13(1), 1-16. Doi: 10.22125/iwe.2022.158503 (In Persian).
- Burqa'i, S. M. & Nazari, A. (2003). *Laboratory investigation of sediment pattern at the intersection of channels*. 6th International Civil Engineering Conference, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran (In Persian).
- pattern at river bend. *Water and Soil Conservation*, 22(6), 81-89. (In Persian).

- Hemmati, M. & Aghazade-Soureh, T. (2018). Simulation of the Effect of Bed Discordance on Flow Pattern at the River Confluence by Flow-3D Model. *Irrigation and Drainage*, 11(5), 785-797.
- Hosseini, S, M. & Abrishami, J. (2018). *Open-Channel Hydraulics*. 35th Edition: Imam Reza International University, 613 pages (In Persian).
- Karami moghadam, M., Keshavarz, A. & Sabzevar, T. (2019). The Effect of Diversion Flow, Intake Inlet Shape, Topography and Bed Roughness on the Flow Separation Dimensions and Shear Stress at the Lateral Intake. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 73(19), 113-126. (In Persian).
- Khosravinia, P., Hosseini, S.H. & Hosseinzadeh Dalir, A. (2018). Numerical analyzing of flow in open channel junction with effect of side slope of channel. *Irrigation and Water Engineering*, 10(1), 1-16. Doi: 10.22125/iwe.2019.95871 (In Persian).
- Kwanza, J.K., Kinyanjui, M. & Nkoroi, J.M. (2007). Modelling fluid flow in rectangular and trapezoidal open channels. *Advances and Applications in Fluid Mechanics*, 2(2), 149-158.
- Masjedi, A. & Taedi, A. (2011). Experimental Investigations of Effect Intake Angle on Discharge in Lateral Intakes in 180 Degree Bend. *World Applied Sciences Journal*, 15(10), 1442-1444
- Musavi Jahromi, S.M., & Goudarzizadeh, R. (2011). Numerical Simulation of 3D Flow Pattern at Open-Channel Junctions. *Irrigation Sciences and Engineering*, 34(2), 61-70 (In Persian).
- Nikpour, M. & Khosravinia, P. (2018). Numerical Simulation of Side Slope Effect of Main Channel Wall on Flow Behavior in Open Channels Junction. *Irrigation and Drainage*, 11(6), 1024-1037. (In Persian).
- Raeisi Dehkordi, M. (2022). Description of types of pollution in water resources and protection of water resources, *New Approaches in Civil Engineering*, 6(1), 42-52. Doi: 10.30469/jnace.2022.154373 (In Persian).
- Ramamurthy, A.S., Carballada, L.B. & Tran, D.M. (1988). Combining Open Channel Flow at Right Angled Junctions. *Journal of hydraulic engineering*, 114(12), 1449-1460.
- Tabesh, M. (2018). Advanced Modeling of Water Distribution Networks. 4th Edition: University of Tehran Press, 585 pages.
- Taylor, E. (1944). Flow Characteristics at Rectangular Open-Channel Junctions. *Journal of hydraulic engineering*, 10(6), 893-902.
- Thiong'o, J.W. (2011). *Investigations of fluid flows in open rectangular and triangular channels*. Master's thesis, Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology, Juja, Kenya.
- Weber, L.J., Schumate, E.D. & Mawer, N. (2001). Experiments on Flow at a 90° Open-Channel Junction. *Journal of hydraulic engineering*, 127(5), 340-350.