

Numerical Study of Flow Characteristics at the Confluence of Two Compound Channels

Seyed Mohammad Mahdi Alemi¹, Hojat Karami^{2*}

1- M.Sc. Student, Water Eng. and Hydraulic Structures, Department of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

2- Department of Water and Hydraulic Structures Engineering, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

* hkarami@semnan.ac.ir

Received: 20 December 2022

Accepted: 14 August 2023

Discussion: 21 June 2024



J. Hydraul.

Iranian Hydraulic Association

Homepage: www.jhyd.iha.ir

Abstract

Introduction: When two or more streams are combined, a stream with different characteristics is formed. Although combining flows are common in natural streams, no comprehensive experimental data has been compiled to characterize the three-dimensional flow field within the compound channel confluence. The present study focused on numerical study of the water surface profile, velocity and turbulence energy at the confluence of two compound channels by examining different flow ratio, channel width ratio and the angle of the channel's wall.

The important difference between this study and previous studies is in two points. First, it seems that the flow field in the compound channel is relatively different from the simple channel. Second, the most of the natural sections are closer to the compound section.

Methodology: Two study methods are proposed to analyze the intersection of channels. Experimental study and numerical study. But the empirical study has some faults and limitations. For example, time-consuming, high cost in repeating experiments and human errors. Therefore, the current study has investigated the water surface profile using numerical study.

As all numerical studies, several step must be taken. First, choosing the software used for numerical simulation, which is used here from Flow-3D because of its ability to simulate the intersection of two flow. Next, finding the data obtained from the experimental test for testing Flow-3D software. Different size of cells and turbulence models should be explored to obtain the closest results to experimental data. Then, the simulation's results are compared with the experimental data. If the MAE, RMSE and R^2 value were appropriate, it is concluded that the modeling has sufficient accuracy. The values of MAE, RMSE and R^2 for the most optimal simulation with the $k-\omega$ turbulence model were respectively calculated as 0.0175, 0.0189 and 0.95. So it is possible to continue the research and simulating other samples that have not been done in the laboratory.

Results and Discussion: The height of the water reaches to maximum in the middle of the intersection and then decreases to a minimum at a distance of about one meter from the confluence of two channels. After this point, the height of the water increases again to reach

the equilibrium state. Here, the effect of 3 parameters on the surface profile is investigated; with the assumption of constant angle of intersection of two channels (90 degrees).

For an increase of 14.73 times the ratio of the width of the channels, the minimum water depth decreased by 42.2%. Also, reducing the flow rate by 11 times and the wall angle of the channels to one third has reduced the minimum water depth by 10.7 and 10.5 percent. As a result, increasing the width ratio of the channels has had the greatest effect on the surface profile and also reducing the flow rate and angle of the channels have almost the same effect on the water depth inside the main channel.

The velocity and the turbulence energy were investigated for four specific simulations in order to get a better understanding of the intersection of two compound channels. These 4 modes are: maximum and minimum flow rate and channels with trapezoidal and rectangular sections (with the same flow rate).

As a result, with the decrease of Q_r , the velocity changes increase, and also, with its increase, the velocity changes decrease that seems it has a constant value. But with the decrease of the slope of the channel wall, the flow velocity does not decrease much compared to the increase of the free width.

As the flow rate increases, the turbulence energy also increases. However, the effect of reducing the wall slope on increasing the turbulence energy is up to 3 times higher.

Conclusion: The main changes and characteristics of the intersection of two combined channels are related to the characteristics of the tributary channel.

From the comparison of the intersection of simple and compound channels, it is clear that the surface profile is the same in both channels. However, the main difference between the two channels is that the separation zone in the compound channel is very small compared to the simple channel or it is not formed at all. It should be noted that the only mode of formation of the separation zone in the compound channel is related to the trapezoidal section.

Keywords: Compound channel; Velocity field; Turbulent Kinetic Energy; Flow-3D.



© 2024 Iranian Hydraulic Association, Tehran, Iran.
This is an open access article distributed under the terms and conditions of
the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)
(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

بررسی ویژگی‌های جریان در محل تلاقی دو آبراهه مرکب با استفاده از نرم‌افزار Flow 3D (حل عددی)

سید محمد مهدی عالمی^۱، حجت کریمی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

* hkarami@semnan.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۹، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۳، نقد و بررسی: ۱۴۰۳/۰۴/۰۱، وب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

چکیده: تلاقی رودخانه‌ها یا آبراهه‌ها، پدیده‌ای رایج است. اما به‌رغم همانندی بیشتر مقطع‌های رودخانه‌ها به مقطع مرکب و نیز تفاوت‌های آن با مقطع‌های ساده، به نظر می‌رسد بررسی‌های جامعی در زمینه تلاقی دو آبراهه مرکب صورت نگرفته است. لذا هدف اصلی این پژوهش تنها مقایسه تغییرپذیری‌های جریان در تلاقی دو آبراهه مرکب با دو آبراهه ساده می‌باشد تا چنانچه تفاوت آن دو قابل ملاحظه بود، در تحقیقات آتی مسئله‌های تکمیلی مانند فرسایش و رسوب بررسی و ارزیابی شود. در این پژوهش برای شبیه‌سازی جریان، از نرم‌افزار Flow-3D استفاده شده است و برای اعتبارسنجی حل عددی، نتایج شبیه‌سازی با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه شد. میزان‌های سه معیار $RMSE$ ، MAE و R^2 برای بهینه‌ترین شبیه‌سازی با مدل آشفتگی $k-\omega$ ، به ترتیب برابر 0.175 ، 0.189 و 0.95 محاسبه شد. با توجه به بررسی‌ها و آزمایش‌های مطرح در این زمینه، از میان فرانسجه (پارامتر)‌های موثر بر عمق آب درون آبراهه، مواردی مانند نسبت عرض آبراهه‌ها، نسبت دبی‌ها و مقطع دوزنقه‌ای شکل آبراهه، با فرض ثابت بودن زاویه تلاقی دو آبراهه (۹۰ درجه) بررسی شدند. به ازای افزایش نسبت عرض آبراهه‌ها از 0.26 به $3/83$ ، عمق کمینه آب تا $42/2$ درصد کاهش داشت. همچنین کاهش نسبت دبی از 0.917 به 0.83 و کاهش زاویه جداره آبراهه‌ها از 90 به 30 درجه، به ترتیب تا $10/7$ و $10/5$ درصد عمق کمینه آب را کاهش داده است. بر این مبنای عمده تغییرپذیری‌ها و ویژگی‌های محل تلاقی دو آبراهه مرکب، مربوط به ویژگی‌های آبراهه فرعی بوده و نتیجه تأثیری است که جریان فرعی بر جریان اصلی می‌گذارد.

کلیدواژه‌گان: آبراهه مرکب، میدان سرعت، انرژی جنبشی آشفتگی، Flow-3D.

۱- مقدمه

گاهی خطای انسانی همراه است؛ لذا صورتی دیگر از بررسی‌ها که همان بررسی‌های عددی هستند، پیشنهاد شدند. طی ۳۰ سال گذشته، قدرت محاسبه‌پذیری به حدی رشد یافت که برای بیشتر مسئله‌ها امکان حل عددی به وجود آمد و روش‌های فنی مدل‌سازی عددی به سرعت گسترش پیدا کردند که موجب استفاده گسترده از مدل‌های عددی به عنوان یک وسیله طراحی استاندارد در بیشتر کارهای مهندسی شد. یکی از مهم‌ترین عامل‌هایی که این‌گونه بررسی را رایج و کاربردی کرده، عدم ساده‌سازی مسئله با بعضی فرضیه‌ها یا چشم‌پوشی‌ها توسط شبیه‌سازی سه بعدی در نرم‌افزارهای رایانه‌ای است

ارزیابی حرکت سیال‌ها، از موضوع‌هایی است که تا سه دهه گذشته بررسی پدیده‌های موجود در این زمینه تنها از روش‌های تجربی یا تحلیلی آزمایشگاهی صورت می‌گرفت. برای بیان پدیده‌های مشاهده شده در این آزمایش‌ها، زبان ریاضی به کمک دانشمندان آمده و رابطه‌های ریاضی بسیاری گسترش یافته و به نوعی باعث تکمیل آزمایش‌ها شده است. اما این روش‌های ریاضی نظری که در شرایط نرمال صدق کرده‌اند، ممکن است در شرایط پیچیده و دشوار جریان (مانند جریان‌های ثانویه) منجر به پاسخ درستی نشوند. از سویی انجام این آزمایش‌ها با هزینه بالا و

که در نتیجه شبیه‌سازی را به واقعیت نزدیکتر و اطلاعات بدست‌آمده را ارزشمندتر کرده است (Yavari, 2014). با توجه به مزیت‌های بالا برای شبیه‌سازی عددی نسبت به آزمایشگاهی، در این پژوهش از این روش برای تحقیق بهره گرفته شده است. البته لازم به یادآوری است که پایه و میزان اطمینان شبیه‌سازی‌های عددی با استفاده از داده‌های آزمایش‌های تجربی اعتبارسنجی شده و در واقع به وجود آزمایش‌ها وابسته است.

هنگامی که مسیر یک جریان بررسی می‌شود، انشعاب‌های ورودی یا خروجی آن، جزء مهم و جدانشدنی آن جریان است. چرا که در این محل‌های اتصال رخدادهای مهمی پدید می‌آید که منجر به تغییرپذیری‌هایی سریع در

۱. ناحیه سکون (ایستا یا رکود)
۲. ناحیه انحراف جریان
۳. ناحیه جدایی جریان
۴. ناحیه سرعت بیشینه
۵. لایه برشی توسعه یافته بین دو جریان ورودی
۶. برگشت جریان به حالت عادی

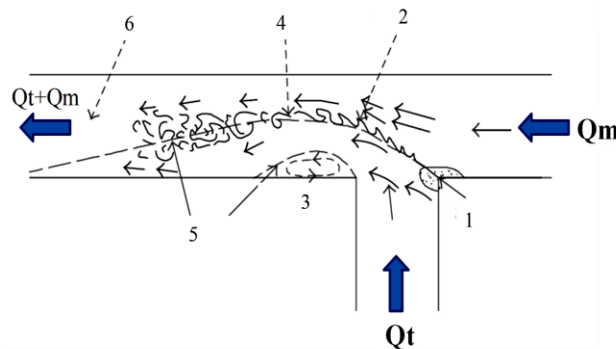


Fig. 1 Areas formed by the collision of two flows (Best, 1987)
شکل ۱ ناحیه‌های تشکیل شده ناشی از برخورد دو جریان (Best, 1987)

کردند. بر این مبنای، با افزایش نسبت دبی اصلی به دبی کل، ابعاد ناحیه جدایی کاهش یافته و فاصله خط تقسیم جریان از جداره درونی آبراهه اصلی بیشتر می‌شود. به بیان دیگر انحراف خطوط جریان فرعی بیشتر شده و با زاویه کمتری وارد آبراهه اصلی می‌شود (Goudarzizadeh & Mousavi, 2010).

بررسی آزمایشگاهی و عددی تاثیر شیب جانبی آبراهه اصلی بر الگوی جریان در تلاقی ۹۰ درجه آبراهه‌های باز توسط Khosravinia et al. (2014) صورت گرفت. در این تحقیق تاثیر شیب جانبی ۴۵ درجه آبراهه اصلی بر توزیع سرعت، سطح آب و ابعاد ناحیه جداشدگی جریان در یک تلاقی ۹۰ درجه بررسی و با حالت دیواره جانبی قائم مقایسه شد. آنان مولفه‌های سه بعدی جریان را در آزمایشگاه اندازه‌گیری و به کمک این داده‌ها مدل عددی

برابر شکل بالا، جریان از بالادست آبراهه اصلی و نیز آبراهه فرعی، با دبی مشخص وارد شده و پس از ایجاد تغییرهایی در محل تلاقی دو آبراهه، از پایین دست آبراهه اصلی خارج می‌شود.

با پیشرفت علم دینامیک سیالات محاسباتی و با استفاده از مدل‌های آشفتگی، به ویژه در دهه اخیر، مدل‌های متنوع با دقت و کاربردهای گوناگونی برای شبیه‌سازی عددی ایجاد شده که در بررسی‌های تلاقی آبراهه‌ها موثر بوده است.

از جمله این بررسی‌ها، بررسی الگوی جریان سه بعدی در محل تقاطع ۹۰ درجه آبراهه‌های مستطیلی روباز توسط Goudarzizadeh & Mousavi (2010) می‌باشد. آنان مدل خود را با استفاده از داده‌های تجربی اعتبارسنجی و با مدل آشفتگی رینولدز، در نرم‌افزار Fluent شبیه‌سازی

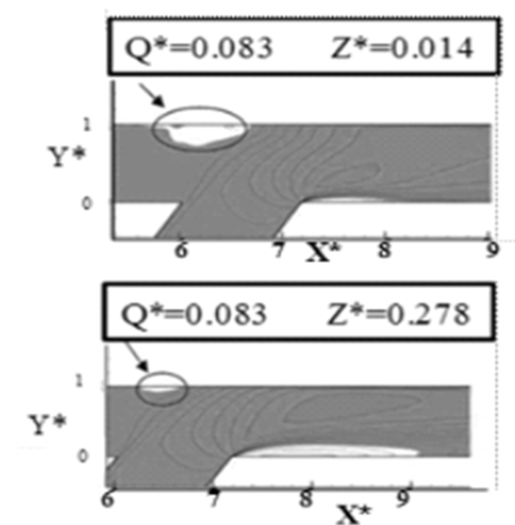


Fig. 2 Turbulence area at the intersection of 60 degrees for the flow rate ratio of 0.083 near the surface and channel bed (Rooneyan, 2014)

شکل ۲ ناحیه آشفتگی در تقاطع ۶۰ درجه برای نسبت دبی ۰/۰۸۳ در نزدیک سطح و بستر آبراهه (Rooneyan, 2014)

مقایسه با دیوار قائم بررسی شد؛ که بیشترین خطای شبیه‌سازی در محدوده تلاقی بوده و بنا بر نتایج، با کاهش زاویه شیب جانبی دیواره آبراهه اصلی، میزان افتادگی رخنمای (پروفیل) سطح آب در محل تلاقی ملایم‌تر شد. افزون بر آن با ضعیف شدن جریان‌های چرخشی، طول و پهنای ناحیه جدادگی در نزدیکی سطح جریان افزایش یافت. همچنین در حالت دیواره مایل بر خلاف دیواره قائم، در نزدیکی بستر ناحیه جدادگی مشخصی مشاهده نشد (Nikpour et al., 2018).

(Khosravinia et al., 2019) با همان هدف بررسی تاثیر شیب جانبی آبراهه اصلی، این بار نسبت دبی را بررسی کردند. لذا هدف آنان از این تحقیق ارائه یک مدل تحلیلی برای هیدرولیک جریان در تلاقی آبراهه‌های روباز بر مبنای معادله‌های پیوستگی، انرژی و مومنوم و شماری فرضیه‌های ساده کننده و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی به منظور صحت‌سنجی مدل تحلیلی بوده است. آزمایش‌ها در دو شیب جانبی ۹۰ و ۴۵ درجه برای آبراهه اصلی انجام گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که افزایش عدد فرود و افزایش نسبت دبی ورودی سبب افزایش آشفتگی شده که نتیجه آن کاهش دقت نتایج مدل تحلیلی بود. همچنین

خود را صحت‌سنجی کردند. بر این مبنا نتیجه گرفتند که ناحیه جدادگی در بستر در حالت دیواره قائم، به کلی قابل تشخیص است، ولی در شیب جانبی ۴۵ درجه، این ناحیه بسیار باریک و کوچک است و در نتیجه در منطقه پیشینه سرعت، انقباض در کف بستر کمتر می‌باشد. لذا در این منطقه تنش‌های برشی نیز کمتر بوده که در نهایت فرسایش کمتری نیز نسبت به شیب قائم خواهد داشت (Toranji, 2017).

تاثیر هندسه آبراهه اصلی بر الگوی جریان و ابعاد ناحیه جدادگی را (Rooneyan, 2014) بررسی کرد. وی سه زاویه تقاطع ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه را در نسبت دبی‌های مختلف بررسی و ارزیابی کرد. علت انتخاب این دو فراسنجه (پارامتر)، بوجود آمدن جریان ثانویه در اثر برخورد دو جریان اصلی و فرعی بود که تحت تاثیر نسبت دبی و زاویه تقاطع است. خروجی نهایی شبیه‌سازی نشان داد که ناحیه جدادگی در هر سه زاویه و نسبت‌های دبی رخ داده است. اما کمترین اندازه آن در تقاطع ۴۵ درجه و در هر دو حالت نزدیک سطح و کف آبراهه رخ می‌دهد. همچنین از این شبیه‌سازی استنباط می‌شود که تغییر ابعاد ناحیه جدادگی از نظر نسبت دبی، به صورت معکوس است. یعنی با افزایش نسبت دبی از ۰/۰۸۳ به ۰/۹۱۷، اندازه ناحیه جدادگی کاهش می‌یابد.

نکته قابل توجه دیگر این تحقیق آن است که، در هر کدام از این سه تقاطع ابعاد ناحیه آشفتگی در سطح آب نسبت به بستر آبراهه کوچکتر است که این موضوع در شکل ۲ نمایش داده شده است.

همچنین ابعاد ناحیه جدادگی و ناحیه جدایی معکوس یکدیگرند، یعنی ناحیه جدادگی در سطح بزرگتر از کف آبراهه می‌باشد (Rooneyan, 2014).

در سال ۲۰۱۸ محمدرضا نیک‌پور و همکاران تاثیر شیب دیواره آبراهه اصلی بر الگوی جریان را توسط شبیه‌سازی عددی پژوهش کردند. الگوی جریان در تلاقی آبراهه‌ها در محیط Fluent و در حالت سه بعدی شبیه‌سازی شده و با داده‌های آزمایشگاهی اعتبارسنجی شد. در بررسی و ارزیابی آزمایشگاهی یاد شده، تاثیر شیب جانبی ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درجه آبراهه اصلی بر ویژگی‌های هیدرولیکی جریان در

استفاده از روش احجام محدود، معادله‌های ناویر استوکس را با روش RANS (متوسط گیری شده رینولدز) گسسته کرده و حل می‌کند. مش‌بندی آن به صورت مستطیلی است؛ یعنی فضای محاسباتی با استفاده از دستگاه‌های مختصات کارتزین به شبکه‌ای از سلول‌های شش‌وجهی منظم تقسیم می‌شود. در این روش، میزان‌های میانگین سرعت برای هر سلول در یک گام زمانی، در مرکز وجه‌های آن قرار می‌گیرد. معادله‌های متوسط‌گیری شده ناویر-استوکس (معادله پیوستگی و مومنتوم)، از جمله معادله‌های حاکم بر جریان سیال می‌باشند. معادله‌های ناویر-استوکس برای جریان آشفته ناپایدار و تراکم‌ناپذیر برای سه راستای x ، y و z به ترتیب در رابطه‌های (۱) تا (۳) معرفی شده است.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \quad (1)$$

$$= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \nu \left[\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2} \right] - \left(\frac{\partial \bar{u}'^2}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}'v'}{\partial y} + \frac{\partial \bar{u}'w'}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} \quad (2)$$

$$= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \nu \left[\frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial z^2} \right] - \left(\frac{\partial \bar{u}'v'}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}'^2}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}'w'}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} \quad (3)$$

$$= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \nu \left[\frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial z^2} \right] - \left(\frac{\partial \bar{u}'w'}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}'w'}{\partial z} + \frac{\partial \bar{w}'^2}{\partial x} \right)$$

در رابطه‌های بالا، p فشار، ν لزجت سینماتیکی سیال و $(\bar{u}, \bar{v}, \bar{w})$ و $(\bar{u}', \bar{v}', \bar{w}')$ به ترتیب مولفه‌های سرعت میانگین و سرعت نوسانی در سه راستای (x, y, z) می‌باشند.

۲-۲- صحت‌سنجی حل عددی

ضرورت وجود یک مدل آزمایشگاهی برای بررسی درستی

کاهش زاویه شیب جانبی آبراهه اصلی با راستای افق سبب افزایش سطح مقطع آبراهه اصلی و کاهش سرعت شده که نتیجه آن آشفتگی کمتر جریان و دقت بیشتر مدل تحلیلی بود. در مدل تحلیلی بیشترین خطا مربوط به دیواره جانبی با زاویه ۹۰ درجه، نسبت دبی‌های بالا و عمق جریان در آبراهه ورودی اصلی بود که در حدود ۱۵ درصد گزارش شد. کمترین میزان خطا نیز مربوط به زاویه جداره ۴۵ درجه، نسبت دبی پایین و عمق جریان در آبراهه خروجی اصلی بود که در حدود ۵ درصد گزارش شد (Khosravinia et al., 2019).

در سال ۲۰۲۰ زینب طالبی و همکاران توزیع جریان زیربحرانی و نوسان‌های سطح آب در تقاطع چهار شاخه آبراهه روباز را توسط نرم‌افزار Flow-3D شبیه‌سازی کردند. تاثیر فراسنجه‌های نسبت دبی ورودی فرعی به ورودی اصلی، عدد فرود آبراهه ورودی اصلی و رخنمای طولی سطح آب در محل تقاطع بررسی شد. از این تحقیق نتیجه شد با افزایش نسبت دبی ورودی، میزان جریان انحراف یافته از آبراهه فرعی ورودی به درون آبراهه اصلی افزایش یافته که نتیجه آن افزایش نسبت دبی خروجی آبراهه اصلی است. با افزایش ارتفاع سرریز خروجی، عمق جریان افزایش و عدد فرود کاهش می‌یابد که در نتیجه آشفتگی سطح آب در محل تلاقی کم شده و رخنمای سطح یکنواخت‌تر می‌شود (Talebi et al., 2020).

مرور نتایج و تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که عموم این آزمایش‌ها و شبیه‌سازی‌های عددی، به بررسی جریان در تقاطع آبراهه‌های مستطیلی و دوزنقه‌ای پرداخته‌اند و به نظر می‌رسد که بررسی و ارزیابی جامع در زمینه ویژگی‌های جریان در محل تلاقی دو آبراهه مرکب، صورت نگرفته است. لذا برای نوآوری در این تحقیق، تلاش شده است تا با به کارگیری نرم‌افزار Flow-3D، فراسنجه‌های موثر بر جریان که در این بررسی‌ها معرفی شده، در تقاطع دو آبراهه مرکب ارزیابی شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- نرم‌افزار Flow-3D

نرم‌افزار دینامیک سیالات محاسباتی تجاری Flow-3D با

مشبندی‌ها را نشان داده است.

جدول ۱ شمار سلول در هر حالت مشبندی

Table 1 Number of celles in each mesh

Name	Number of celles
Mesh 1	329616
Mesh 2	163920
Mesh 3	108375

پس از شبیه‌سازی این ۹ مدل، نتایج توسط سه معیار MAE، RMSE و R^2 ارزیابی شدند که ضابطه هر یک به ترتیب در رابطه‌های (۴) تا (۶) مشاهده می‌شود.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N |R_{(Exp)} - R_{(Sim)}| \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (R_{(Exp)} - R_{(Sim)})^2} \quad (5)$$

$$\begin{cases} SSR = SST - SSE \\ R^2 = \frac{SSR}{SST} \end{cases} \quad (6)$$

در رابطه‌های بالا، $R_{(Exp)}$ و $R_{(Sim)}$ به ترتیب نتایج عمق‌های به دست آمده از آزمایشگاه و شبیه‌سازی بوده و نیز SST در رابطه (۷) مجموع توان دوم خطاها زمانی که از متغیرهای مستقل استفاده نشود (داده‌های تجربی) و SSE مجموع توان دوم خطاها زمانی که از متغیرهای مستقل استفاده شود (شبیه‌سازی عددی)، می‌باشد. SSR نیز مجموع توان دوم رگرسیون نامیده می‌شود. هر چه میزان R^2 به ۱ نزدیک تر باشد، سازگاری داده‌های تجربی و حل عددی بیشتر بوده است. همچنین برای دو معیار MAE و RMSE، هر چه میزان‌ها به صفر نزدیک تر باشند، اختلاف نتایج عددی و تجربی کمتر بوده و مطلوب تلقی می‌شوند.

میزان هر یک از سه معیار بالا برای ۹ شبیه‌سازی به تفکیک برای هر یک از سه معیار ارزیابی در جدول ۲ به نمایش درآمده است. با توجه به مقادیر این جدول و مقایسه مدل انتخاب شده با بررسی‌های پیشین، شبیه‌سازی‌ها دارای دقت کافی هستند.

و اعتبار داده‌های به دست آمده از نرم‌افزار، بحث شد. لذا در این شبیه‌سازی عددی نیز از مدل تجربی Weber (2001) برای اعتبارسنجی شبیه‌سازی نرم‌افزار Flow-3D استفاده شده است. این آزمایش که همچنان هم برای صحت‌سنجی مدل‌های عددی مورد استفاده و سودمند است، دو مزیت مهم نسبت به دیگر آزمایش‌ها دارد که عبارت اند از:

(۱) مقیاس تجهیزات بکار رفته در این آزمایش از بسیاری از آزمایش‌ها بزرگتر و در نتیجه دقت و جزئیات داده‌های نتیجه، بیشتر و بهتر بود.

(۲) آنان جریان پیچیده و سه بعدی در تقاطع آبراهه‌های روباز با زاویه تلاقی ۹۰ درجه و عرض برابر را به طور کامل بررسی کردند. در حالی که تا پیش از آن بررسی و ارزیابی‌ها با تقریب‌های ریاضی ساده شده و به صورت تک بعدی و دو بعدی صورت گرفته بود (Weber et al., 2001).

در این آزمایش، دو آبراهه مستطیلی با عرض یکسان (۰/۹۱ متر) و طول‌های مختلف با نسبت دبی‌های گوناگون با یکدیگر تلاقی پیدا می‌کنند. همچنین دبی خروجی میزان ثابت ۰/۱۷ متر مکعب بر ثانیه با عمق ۰/۲۹۶ متر در نظر گرفته شد تا عدد فرود نتیجه برابر ۰/۳۷ باشد و نیز سرعت متوسط خروجی آبراهه ثابت و برابر ۰/۶۲۸ متر بر ثانیه است. لذا شرط مرزی خروجی مدل Flow-3D، فشار ثابت با ارتفاع سیال ۰/۲۹۶ متر لحاظ گردیده است. همچنین آزمایش با ۶ نسبت دبی متفاوت تکرار شده که برای صحت‌سنجی حل عددی در این پژوهش از نسبت ۰/۲۵ استفاده شده است. به عبارت دیگر شرط مرزی ورودی برای آبراهه اصلی و فرعی دبی حجمی بوده و میزان دبی به ترتیب برابر ۰/۰۴۲ و ۰/۱۲۷ متر مکعب بر ثانیه اعمال شده است.

برای اعتبارسنجی شبیه‌سازی عددی، سه مشبندی متفاوت برای سه مدل آشفتگی مختلف بررسی شده است که در مجموع ۹ شبیه‌سازی را شامل می‌شود. در نهایت نتایج این ۹ شبیه‌سازی با نتایج مدل تجربی که معرفی شده، مقایسه شده است تا بهترین‌ترین مدل برای ادامه تحقیق استفاده شود. جدول ۱ شمار سلول‌ها در هر یک از

در نمودار شکل ۴، مقایسه مدل تجربی با شبیه‌سازی‌های سه اندازه مش با مدل آشفتگی $k-\omega$ نشان داده شده که بر این مبنا مشخص است نزدیک‌ترین حالت به داده‌های تجربی، مدل آشفتگی $k-\omega$ با Mesh 2 بوده است.

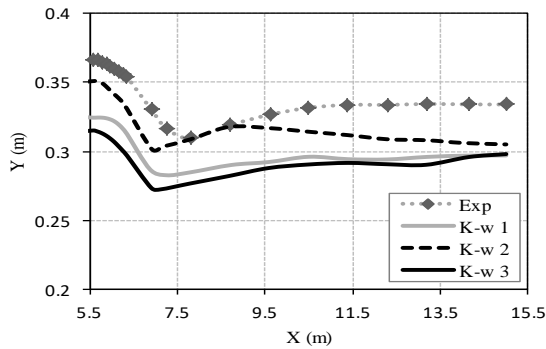


Fig. 4 Comparison of simulation results with experimental method in $k-\omega$ turbulence model

شکل ۴ مقایسه نتایج شبیه‌سازی با مدل تجربی در مدل آشفتگی $k-\omega$

۳- بحث و تحلیل نتایج

از آنجا که اعتبارسنجی حل عددی توسط تلاقی آبراهه‌های مستطیلی صورت گرفته است، لذا نخستین گام در شبیه‌سازی‌ها، تبدیل آبراهه‌های ساده به آبراهه‌های مرکب است. پس باید میزان عرض و ارتفاع دشت‌های سیلابی تخمین زده شود. به همین منظور نسبت دو دشت سیلابی به عرض آبراهه برابر 0.75 فرض شده است و از آنجا که عرض آبراهه مورد بررسی 91 سانتی‌متر می‌باشد، با احتساب نسبت 0.75 ، عرض هر دشت سیلابی در حدود 34 سانتی‌متر خواهد شد. همچنین با توجه به این که عمق آب درون آبراهه‌ها در حدود 35 سانتی‌متر است، ارتفاع دشت سیلابی نیز 20 سانتی‌متر اتخاذ شده است. ابعاد دشت سیلابی در همه شبیه‌سازی‌ها ثابت می‌باشند.

۳-۱- تحلیل ابعادی

بنا بر نتایج بررسی‌های گذشته عمق سیال درون آبراهه به فراسنجه‌هایی مانند زاویه تلاقی دو آبراهه، نسبت عرض آبراهه‌ها، نسبت دبی، شکل مقطع، نسبت ارتفاع سیال در بالا و پایین دست محل تلاقی، عدد فرود پایین دست و غیره وابسته است. حال از میان این عوامل، ۳ عاملی که به نظر

جدول ۲ معیارهای ارزیابی برای هر یک از حالت‌های شبیه‌سازی

Table 2 Evaluation criteria for each of the simulation modes

Mesh	Turbulence model	MAE(m)	RMSE(m)	R ²
Mesh 1	RNG	0.0540	0.05436	0.94
	k-ε	0.03863	0.03915	0.93
	k-ω	0.03783	0.03810	0.97
Mesh 2	RNG	0.05219	0.05306	0.82
	k-ε	0.02208	0.02315	0.93
	k-ω	0.01745	0.01895	0.95
Mesh 3	RNG	0.04129	0.04201	0.97
	k-ε	0.04239	0.04296	0.94
	k-ω	0.04746	0.04801	0.90

در نهایت بین دو مدل $k-\omega$ و $k-\epsilon$ با Mesh 2 که کمترین خطا را داشتند، مدل $k-\omega$ به عنوان مدل بهینه برای ادامه حل عددی روی جریان در تقاطع دو آبراهه مرکب انتخاب شد. چرا که این مدل آشفتگی در جریان‌هایی که کاهش سرعت و جدایی ناشی از گرادیان فشار معکوس دارند، عملکرد بهتری نسبت به مدل $k-\epsilon$ داشته و نیز $k-\epsilon$ از مدل‌های با عدد رینولدز بالا بوده و در ناحیه‌های نزدیک جداره که عدد رینولدز پایین است، با مسئله‌هایی رو به رو می‌باشد. اما مدل $k-\omega$ می‌تواند تغییرپذیری‌های متغیرهای آشفتگی را تا نزدیکی جداره نیز پیش‌بینی کند. پس این مدل در جریان‌های محصور به دیوار (مانند این مسئله) عملکرد بهتری را به نمایش می‌گذارد. شکل ۳ نگراره (گراف) این مدل را نشان می‌دهد.

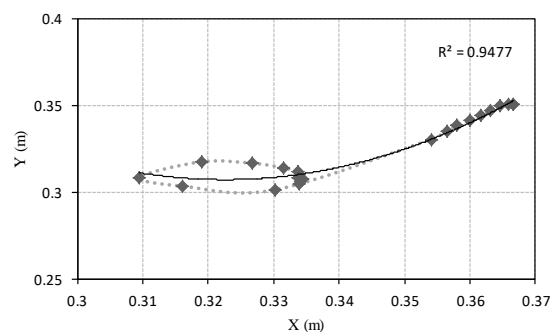


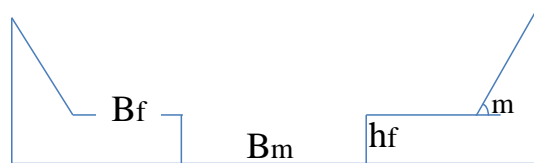
Fig. 3 The regression criterion for $k-\omega$ 2

شکل ۳ معیار رگرسیون برای مدل $k-\omega$ 2

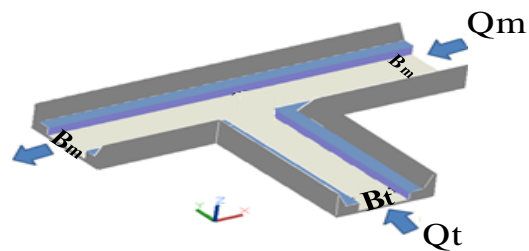
نمایه‌های m و t به ترتیب معرف آبراهه اصلی و آبراهه فرعی هستند. همچنین هر کدام از عامل‌های بالا روی مقطع یک آبراهه ذورنقه‌ای در شکل ۵ مشخص شده است. حل کنونی عددی، بر پایه ۲۴ شبیه‌سازی است که در جدول ۳ نام و ویژگی‌های هر یک معرفی شده است.

تاثیر بیشتری بر عمق جریان داشته‌اند به صورت زیر انتخاب شده است:

- تاثیر نسبت عرض آبراهه اصلی به فرعی ($\frac{B_m}{B_t}$)
- تاثیر زاویه جداره آبراهه‌ها (m_t, m_m)
- تاثیر نسبت دبی آبراهه اصلی به فرعی ($\frac{Q_m}{Q_t}$)



(Main channel cross-section)



(3d view)

Fig. 5 The name of the components in confluence of two compound channels

شکل ۵ نام اجزاء در تلاقی دو آبراهه مرکب

جدول ۳ ویژگی‌های شبیه‌سازی‌ها

Table 3 Specifications of simulations

name	B_m	B_t	B_r	Q_m	Q_t	Q_r	m_m	m_t
W1	0.46	0.23	2	0.042	0.127	0.25	90	90
W2	0.12	0.23	0.53	0.042	0.127	0.25	90	90
W3	0.23	0.46	0.5	0.042	0.127	0.25	90	90
W4	0.23	0.12	1.91	0.042	0.127	0.25	90	90
W5	0.46	0.46	1	0.042	0.127	0.25	90	90
W6	0.12	0.12	1	0.042	0.127	0.25	90	90
W7	0.46	0.12	3.83	0.042	0.127	0.25	90	90
W8	0.12	0.46	0.26	0.042	0.127	0.25	90	90
W9	0.23	0.23	1	0.042	0.127	0.25	90	90
T1	0.23	0.23	1	0.042	0.127	0.25	60	90
T2	0.23	0.23	1	0.042	0.127	0.25	30	90
T3	0.23	0.23	1	0.042	0.127	0.25	90	60
T4	0.23	0.23	1	0.042	0.127	0.25	90	30
T5	0.23	0.23	1	0.042	0.127	0.25	60	60
T6	0.23	0.23	1	0.042	0.127	0.25	30	30
T7	0.23	0.23	1	0.042	0.127	0.25	60	30
T8	0.23	0.23	1	0.042	0.127	0.25	30	60
T9	0.23	0.23	1	0.042	0.127	0.25	90	90
Q1	0.23	0.23	1	0.014	0.156	0.083	90	90
Q2	0.23	0.23	1	0.042	0.127	0.25	90	90
Q3	0.23	0.23	1	0.071	0.099	0.417	90	90
Q4	0.23	0.23	1	0.099	0.071	0.583	90	90
Q5	0.23	0.23	1	0.127	0.042	0.75	90	90
Q6	0.23	0.23	1	0.156	0.014	0.917	90	90

۳/۸، عمق کمینه از ۳۹ به ۲۲/۵ سانتی‌متر رسیده و کاهش ۴۲/۲ درصدی پیدا کرده است.

نمودارهای شکل ۷ در سه دسته سه تایی تقسیم شده‌اند. در سه نمودار بالایی B_m ۱۲ سانتی‌متر، سه نمودار وسط ۲۳ و سه نمودار پایین‌تر ۴۶ سانتی‌متر می‌باشد.

در هر یک از این سه دسته، به ترتیب از بالا به پایین، نمودار مدل‌هایی با B_t ۴۶، ۲۳، و ۱۲ سانتی‌متر قرار گرفته است. از این رو می‌توان چنین گفت هنگامی که عرض آبراهه اصلی ثابت باشد، بیشینه ارتفاع آب نیز یکسان است اما هر چه آبراهه فرعی متقاطع با آن عرض کمتری داشته باشد، ارتفاع جریان کاهش بیشتری خواهد داشت. پس نسبت $\frac{B_m}{B_t}$ با عمق کمینه، رابطه عکس دارد.

در مجموع هنگامی که $B_t=1$ بوده و عرض آبراهه اصلی و فرعی برابر باشد، میزان اختلاف ارتفاع بیشینه و کمینه آب و نیز ارتفاع تعادل، یکسان بوده و تنها تفاوت در میزان عمق است که چنانچه پیش‌تر گفته شد، با افزایش عرض آبراهه عمق آب کمتر خواهد شد. پس در شرایط $B_t=1$ تفاوتی در رخنمای سطح آب ایجاد نمی‌شود. در حالت $B_t>1$ ، با افزایش نسبت عرض از میزان ۱/۹۲ تا ۳/۸۳، میزان اختلاف ارتفاع بیشینه و کمینه از ۹/۱ به ۱۶/۲۳ سانتی‌متر افزایش یافته است و در حالتی که $B_t<1$ بوده است، با توجه به نزدیکی دو رخنمای سطح برای مدل‌های W2 و W8 با نسبت عرض‌های ۰/۵۲ و ۰/۲۶ و همچنین نسبت عرض ۰/۵ برای W3، می‌توان چنین استدلال کرد که با توجه به افزایش عرض آبراهه فرعی در حالت $B_t<1$ ، تغییرپذیری چندانی در رخنمای سطح آب ایجاد نشده است.

۳-۳- تاثیر زاویه جداره آبراهه‌ها (m)

برابر شکل ۷ با ثابت بودن ابعاد دشت سیلابی (عرض ۳۴ ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر) و Q_r ۰/۲۵، اثر سه زاویه جداره ۹۰، ۶۰ و ۳۰ درجه بر رخنمای سطح آب بررسی شد. با توجه به فرعی یا اصلی بودن آبراهه و همچنین سه زاویه بالا، نه حالت مختلف برای شبیه‌سازی تعریف شده است که از میان این مدل‌ها، نتایج سه مدل با مقطع همانند آبراهه‌های اصلی و فرعی، در نمودار شکل ۸ بررسی شده است.

در جدول بالا، طول‌ها بر حسب متر، دبی‌ها متر مکعب بر ثانیه و زاویه‌ها بر حسب درجه می‌باشد.

۳-۲- تاثیر نسبت عرض آبراهه‌ها (B_r)

برای ارزیابی تاثیر نسبت عرض آبراهه در تقاطع دو آبراهه مرکب، با ثابت در نظر گرفتن ابعاد دشت سیلابی (عرض ۳۴ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر)، Q_r ۰/۲۵ و نیز عرض کف آبراهه ۲۳ سانتی‌متری، حالت‌های نصف و دو برابر این میزان یعنی ۱۲ و ۴۶ سانتی‌متر ارزیابی شد. به عبارت دیگر عرض کل آبراهه‌ها (با وجود دشت سیلابی) برابر ۸۰، ۹۱ و ۱۱۴ سانتی‌متر می‌باشد.

بر این مبنا ۹ حالت ایجاد شده است که در نمودار شکل ۶ هر یک از ۹ حالت نسبت عرض با هم مقایسه شده و بر این مبنا می‌توان موارد زیر را نتیجه گرفت:

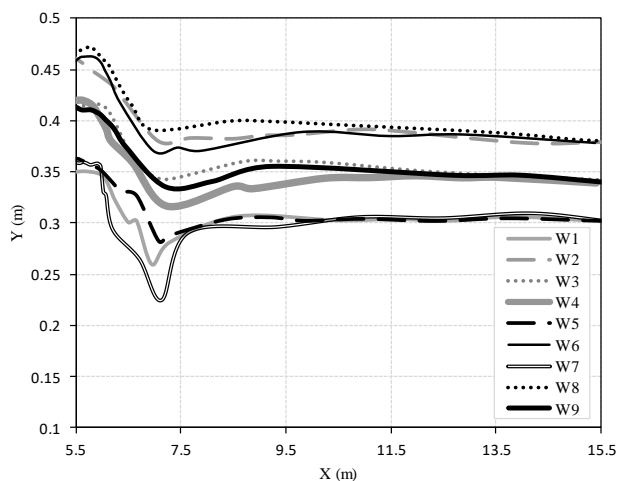


Fig. 6 Diagram of the effect of the ratio of the width of the channels

شکل ۶ نمودار تاثیر نسبت عرض آبراهه‌ها

دبی ورودی به آبراهه فرعی در همه مدل‌ها یکسان بوده است ولی در مدل W7 با توجه به اینکه نسبت عرض آبراهه اصلی به فرعی بیشترین میزان را دارد (۳/۸)، عرض آبراهه فرعی کمترین حالت را داشته و سرعت و ارتفاع آب بیشتری را در محل تلاقی ایجاد کرده که این مومنوم بیشتر، تاثیر کاهشی بیشتری بر ارتفاع آب درون آبراهه داشته است و به طور دقیق عکس این قضیه در مدل W8 رقم خورده است. پس با افزایش نسبت عرض از ۰/۲۶ به

می‌رسد شکل سطح مقطع بالادست در این رخداد تاثیر مهمی داشته باشد. اما برای اثبات صحت این نظریه باید حالت‌های دیگر نیز بررسی شود.

شش حالت دیگر با آبراهه‌های اصلی و فرعی ناهم‌اند نیز بررسی شدند. اما در همه نه حالت بررسی شده، مدل T9 با عمق ۳۳/۵ سانتی‌متر بیشترین و مدل T4 با ۳۰ سانتی‌متر کمترین عمق کمینه را به خود اختصاص دادند. این کاهش ۱۰/۵ درصدی تنها به دلیل کاهش m_t از بیشینه میزان ۹۰ درجه به کمترین میزان خود، یعنی ۳۰ درجه است. چرا که m_m در هر دو حالت برابر ۹۰ درجه بوده است. در مجموع می‌توان این گزاره را نتیجه گرفت که نسبت زاویه جداره آبراهه‌ها ($\frac{m_m}{m_t}$) با عمق کمینه رابطه عکس و با عمق بیشینه رابطه مستقیم دارد.

۴-۳- تاثیر نسبت دبی آبراهه‌ها (Q_r)

از آنجا که آزمایش معرفی شده برای صحت‌سنجی حل عددی، با شش نسبت دبی گوناگون مورد تکرار و بررسی قرار گرفته بود، در این بخش نیز از همین نسبت‌ها استفاده شده و تاثیر نسبت دبی بر جریان متقاطع دو آبراهه مرکب با جداره قائم و زاویه تلاقی ۹۰ درجه بررسی شده است.

در نمودار شکل ۹ هر یک از شش حالت نسبت دبی با هم مقایسه شده است و بر این مبنا می‌توان موارد زیر را نتیجه گرفت: گفته شد نسبت دبی، نتیجه تقسیم دبی ورودی آبراهه اصلی بر دبی ورودی آبراهه فرعی است. پس هرچه این عدد بزرگ‌تر باشد، بدان معنی است که میزان دبی آبراهه اصلی بیشتر بوده است.

نخستین مسئله‌ای که از مقایسه ظاهری نمودارها جلب توجه می‌کند، ترتیب معکوس قرار گیری نمودارها در نقطه‌های بیشینه و کمینه ارتفاعی است. به این صورت که هر چه نسبت دبی کمتر باشد ارتفاع بیشینه آب بالاتر و ارتفاع کمینه آن کمتر می‌باشد. به بیان دیگر نسبت دبی کمتر، اختلاف ارتفاعی بیشتری را منجر می‌شود.

بر این مبنا نمودار Q1 اختلاف ارتفاعی به کلی محسوس و ۹/۷ سانتی‌متری دارد؛ حال آنکه در نمودار Q6 با بیشینه میزان نسبت دبی (۰/۹۱۷)، کمینه ارتفاع آب ناچیز و اختلاف ارتفاعی حدود ۲/۵ سانتی‌متر دارد. همچنین در

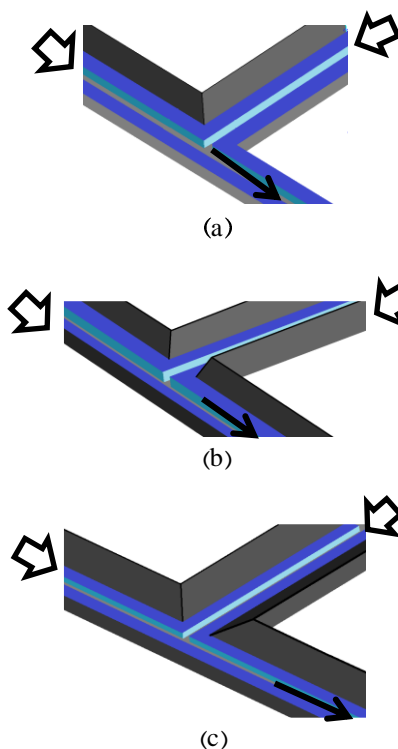


Fig. 7 Three channels with different wall angles: (a) The intersection with a wall angle of 90 degrees (b) The intersection with a wall angle of 60 degrees (c) The intersection with a wall angle of 30 degrees

شکل ۷ سه آبراهه با زاویه جداره مختلف: (a) تلاقی با زاویه جداره ۹۰ درجه، (b) تلاقی با زاویه جداره ۶۰ درجه، (c) تلاقی با زاویه جداره ۳۰ درجه

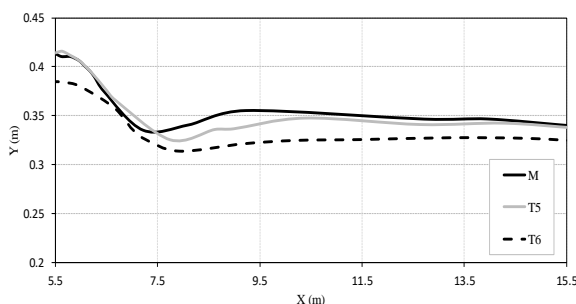


Fig. 8 Diagram of the effect of the wall angle - The intersection of two similar channels

شکل ۸ نمودار تاثیر زاویه جداره - تلاقی دو آبراهه همانند

با کاهش شیب جداره‌های آبراهه، ارتفاع آب نیز کاهش پیدا می‌کند. علت آن است که هر چه m کمتر می‌شود، سطح مقطع آبراهه افزایش می‌یابد. به همین سبب مدل T6 با بیشترین سطح مقطع، ارتفاع بیشینه کمتری دارد.

محل تشکیل ارتفاع کمینه در تلاقی دو آبراهه با جداره قائم، حدود ۶۰ سانتی‌متر عقب‌تر از دو حالت دیگر است که با توجه به شرایط یکسان جریان و دشت سیلابی، به نظر

تغییرپذیری را در قسمت پیش منجر شده بودند. نخست دو مدل با سطح مقطع متفاوت با مدل آبراهه مستطیلی ساده با نسبت دبی یکسان در سطح جریان (ارتفاع ۰/۳۲ متری) باهم مقایسه شده است (شکل ۱۰). در مقطع دوزنقه‌ای (T6) سرعت طولی به طور میانگین ۰/۱۵ متر بر ثانیه کمتر از مقطع مستطیلی می‌باشد. این کاهش سرعت با توجه به B_m یکسان و کمتر بودن عمق در آبراهه دوزنقه‌ای (۲ سانتی‌متر)، ناشی از عرض آزاد سطح می‌باشد؛ چرا که عرض آبراهه در سطح جریان حدود یک متر بواسطه کمتر شدن شیب جداره آبراهه، بیشتر شده است.

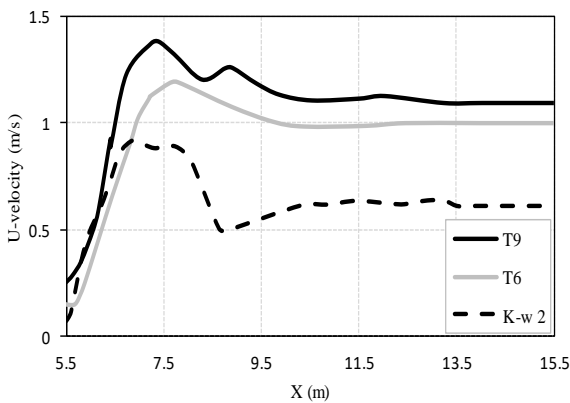


Fig. 10 Diagram of u-velocity for two model with different sections

شکل ۱۰ نمودار سرعت در راستای x برای دو مدل با شکل مقطع متفاوت

پس با افزایش m، سرعت طولی و عمق کاهش می‌یابد. گرچه این کاهش با توجه به عرض آزاد بیشتر، ناچیز به نظر می‌رسد. اما سرعت طولی در شکل ۱۱ برای دو نسبت دبی کمینه و بیشینه نمایش داده شده است. سرعت در Q1 افزایشی ۶/۰۹ برابری را از نقطه بیشینه تا کمینه‌ی عمق آب داشته است. در صورتی که این اختلاف در Q6 ۱/۴۳ برابر است. پس در مجموع می‌توان نتیجه گرفت با کاهش Q_f ، تغییرپذیری‌های سرعت افزایش پیدا می‌کند و برعکس با افزایش آن تغییرپذیری‌های سرعت به حدی کم می‌شود که می‌توان گفت میزانی ثابت دارد. همچنین استنباط می‌شود میزان و الگوی سرعت طولی، در نسبت دبی‌های کمتر از ۰/۲۵، به کلی وابسته به دبی بوده و شکل مقطع تاثیر چندانی بر آن نداشته است.

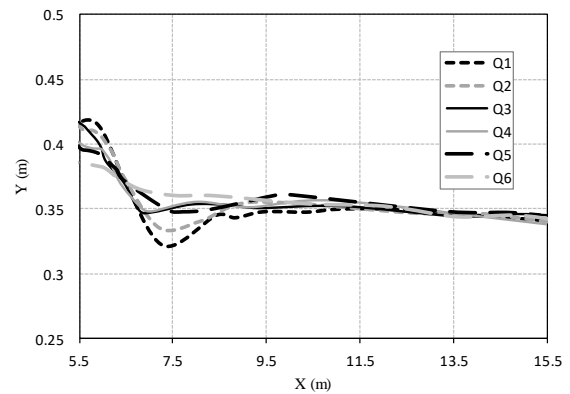


Fig. 9 Diagram of the effect of flow ratio on the water level profile

شکل ۹ نمودار تاثیر نسبت دبی بر رخنمای سطح آب

این مدل ارتفاع کمینه آب ۳۶ سانتی‌متر بوده که با کاهش نسبت دبی، در Q1 به ۳۲ سانتی‌متر می‌رسد. یعنی کاهش ۱۰/۷ درصد عمق با کاهش ۹۱ درصدی نسبت دبی. این موضوع اهمیت ویژگی‌های جریان فرعی بر رخنمای سطح را نشان می‌دهد.

همچنین با سازگاری بسیار بالای دو نمودار Q3 و Q4 با نسبت‌های دبی ۰/۴۱۷ و ۰/۵۸۳، می‌توان چنین استدلال کرد که:

تاثیر Q_f بر کاهش ارتفاع آب پس از محل تلاقی، بسیار زیاد و تعیین کننده است. پس عامل کاهش عمق در محل تلاقی، برخورد جریان آبراهه فرعی به جریان اصلی بوده که در نتیجه در نمودار Q6 با دبی فرعی بسیار کم، کاهش عمق ناچیز و در نمودار Q1 بیش از حالت‌های دیگر شده است.

۳-۵- رخنمای سرعت طولی

در قسمت‌های قبل رخنمای سطح آب مشخص و طی ۲۴ شبیه‌سازی بعضی از عامل‌های موثر بر آن بررسی شد. بر این مبنا دو نقطه با بیشینه و کمینه میزان ارتفاع آب وجود دارد که به ترتیب در وسط محل تلاقی و حدود یک متر پس از تقاطع شکل می‌گیرند. در این قسمت با بررسی سرعت جریان برای ۴ مدل خاص در سطح جریان، سعی شده علت بوجود آمدن این تغییرپذیری‌های ارتفاع در رخنمای سطح مشخص شود. این ۴ حالت عبارت‌اند از: نسبت دبی بیشینه و کمینه و آبراهه‌های با مقطع دوزنقه‌ای و مستطیلی (با دبی یکسان) که درصد بالایی از

مقطع‌های مختلف، به علت یکسان نبودن عرض آبراهه‌ها، عرض آبراهه‌ها با عرض آزادشان بی‌بعد شده اند (Y^*).

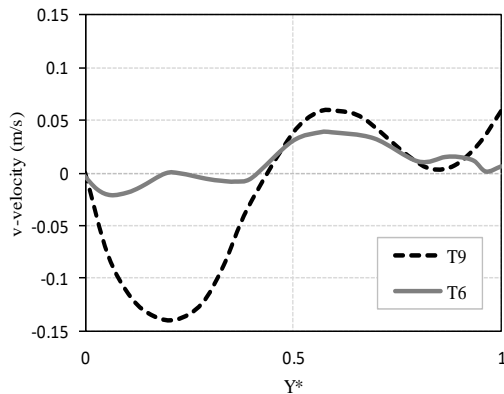


Fig. 12 Diagram of v-velocity for two model with different sections

شکل ۱۲ نمودار سرعت در راستای Y برای دو مدل با شکل مقطع متفاوت

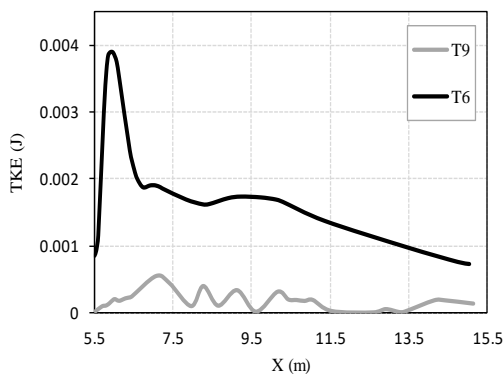
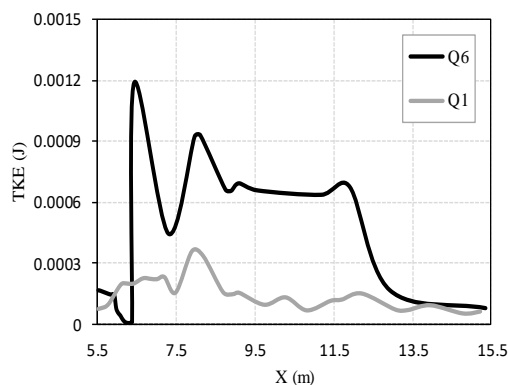


Fig. 13 Diagram of TKE

شکل ۱۳ منحنی انرژی آشفتگی

۷-۳- انرژی آشفتگی

در اثر برخورد دو جریان اصلی و فرعی با یکدیگر، انرژی آشفتگی افزایش پیدا کرده و سپس این انرژی به آرامی

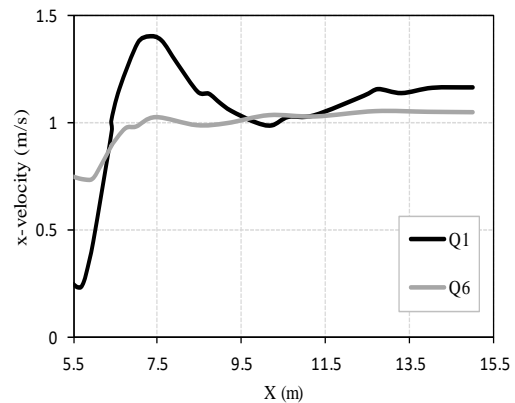


Fig. 11 Diagram of u-velocity for two model with different flow rate

شکل ۱۱ نمودار سرعت در راستای x برای دو مدل با نسبت دبی متفاوت

۶-۳- سرعت عرضی

در این قسمت سرعت در راستای y در محل تلاقی دو آبراهه بررسی شده است. لذا سه مقطع تعریف و ارزیابی شده است که عبارت اند از:

مقطع ۱ - بالادست محل تلاقی ($x=5.5m$)

مقطع ۲ - وسط محل تلاقی ($x=5.955m$)

مقطع ۳ - پایین‌دست محل تلاقی ($x=6.41m$)

سرعت در ناحیه‌های نزدیک به جداره نزدیک به صفر است و همچنین در فاصله‌های منتهی به جداره، جریانی چرخشی پدید می‌آید. منفی یا مثبت شدن سرعت نیز به علت تغییر راستای جریان در نتیجه همین جریان می‌باشد. علامت منفی نشان دهنده راستای سرعت به سمت جداره بیرونی آبراهه اصلی است.

میزان سرعت v در مدل Q1 با نسبت دبی کمتر، جز در مقطع ۱، حدود $0.1 m/s$ بیشتر از مدل Q6 است که با توجه به نسبت ۱۱ برابری دبی در دو مدل، اندازه‌ای ناچیز به نظر می‌رسد.

از آنجا که تغییرپذیری‌های سرعت در T9 به طور میانگین حدود $0.8 m/s$ بیش از مدل T6 است و نیز با توجه به نتیجه‌گیری قسمت پیش که تاثیر نسبت دبی بر سرعت عرضی را ناچیز توصیف کرد، می‌توان گفت با کاهش m به یک سوم، نوسان‌های سرعت عرضی بسیار کاهش یافته و نیز میزان آن تا ۷۵ درصد کاسته می‌شود (شکل ۱۲).

در نمودار مقایسه سرعت عرضی برای دو مدل با

۵- فهرست نشانه‌ها

Q_r	نسبت دبی آبراهه اصلی به فرعی
W_r	نسبت عرض آبراهه اصلی به فرعی
X	طول آبراهه اصلی (m)
Y	عمق آب درون آبراهه اصلی (m)
Q_m	دبی ورودی آبراهه اصلی (m^3s^{-1})
Q_t	دبی ورودی آبراهه فرعی (m^3s^{-1})
B_m	عرض کف آبراهه اصلی (m)
B_t	عرض کف آبراهه فرعی (m)
m_m	زاویه جداره آبراهه اصلی با محور افقی (degree)
m_t	زاویه جداره آبراهه فرعی با محور افقی (degree)
B_f	عرض دشت سیلابی (m)
h_f	ارتفاع دشت سیلابی (m)

۶- منابع‌ها

Best, J.L. (1987). Flow dynamics at river channel confluences: implications for sediment transport and bed morphology. In: *Recent Developments in Fluvial Sedimentology*, Ethridge, F.G., Flores, R.M. and Harvey, M.D., Eds, Spec. Publ. Soc. econ. Paleont. Miner. Tulsa, 39, 27-35.

Goudarzizadeh, R., Mousavi, S.H. & Hedayat, N. (2010). Simulation of 3D flow using numerical model at open-channel confluences. *World Academy of Science, Engineering Technology, International Journal of Physical and Mathematical Sciences*, 4(11), 1437-1442.

Khosravinia, P., Hosseinzadeh Delir, A. Shafaei Bejestan, M. & Farsadzadeh, D. (2014). Experimental and numerical effect of the side slope of the main channel on the flow pattern at the 90° junction degree of open channels. *Danesh Water and Soil Science Journal*, 24(3), 105-119. (In Persian)

Khosravinia, P., Hosseini, S.H. & Hosseinzadeh Dalir, A. (2019). Numerical analyzing of flow in open channel junction with effect of side slope of channel. *Water Journal*, 37(1), 35-43. (In Persian)

Nikpour, M.R. & Khosravinia, P. (2018). Numerical Simulation of Side Slope Effect of Main Channel Wall on Flow Behavior in Open Channels Junction. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 6(11), 1024-1037. (In Persian)

مستهلك شده و کاهش می‌یابد. اما برابر نمودارهای شکل ۱۳، دو فراسنجه رابطه مستقیم با افزایش این انرژی دارد: Q_r بیشتر که چون سرعت جریان اصلی نسبت به جریان فرعی بیشتر است، در لحظه برخورد دو جریان در وسط محل تلاقی، TKE افزایش قابل توجهی دارد. m_m کمتر که به معنی عرض آزاد بیشتر در محل تلاقی و در نتیجه امکان ایجاد بی‌نظمی و آشفتگی بیشتر در محل تلاقی است. لازم به یادآوری است که تاثیر کاهش زاویه جداره بر افزایش TKE در محل تلاقی تا ۳/۲۸ برابر Q_r بیشینه است.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق تاثیر ۳ فراسنجه بر کاهش رخنمای سطح آب بررسی شد که درصد تغییرپذیری‌ها به شرح زیر است: - افزایش ۹۳/۲ درصدی نسبت عرض آبراهه‌ها ($\frac{B_m}{B_t}$) تا ۴۲/۲ درصد عمق کمینه آب را کاهش داد.

- افزایش ۹۱ درصدی نسبت دبی‌ها ($\frac{Q_m}{Q_t}$) تا ۱۰/۷ درصد عمق کمینه آب را افزایش داد.

- کاهش نسبت زاویه جداره آبراهه‌ها ($\frac{m_m}{m_t}$) تا ۱۰/۵ درصد عمق کمترین آب را کاهش داد.

سرعت طولی در مقطع دوزنقه‌ای کاهش ۱۳/۷۶ درصدی نسبت به مقطع مستطیلی داشت و همچنین سرعت طولی در نسبت دبی کمینه در ناحیه سرعت بیشینه ۱/۳۳ برابر مدل با نسبت دبی بیشینه شد.

همچنین در بررسی انرژی آشفتگی مشخص گردید بیشترین میزان انرژی آشفتگی در سطح جریان مربوط به محل تلاقی می‌باشد. در ضمن تاثیر نسبت دبی بیشینه بر TKE تا سه برابر تاثیر مقطع دوزنقه‌ای بوده است.

با توجه به نتیجه‌گیری‌های مطرح شده، می‌توان به این جمع‌بندی رسید که عمده تغییرپذیری‌ها و ویژگی‌های محل تلاقی دو آبراهه مرکب، مربوط به ویژگی‌های آبراهه فرعی بوده و نتیجه تاثیر است که جریان فرعی بر جریان اصلی می‌گذارد.

با توجه به شکل نگرفتن ناحیه جداسازی در تلاقی دو آبراهه مرکب، نتیجه می‌شود الگوی این جریان متفاوت از آبراهه ساده است.

Rooniyan, F. (2014). The effect of confluence angle on the flow pattern at a rectangular open channel. *Engineering Technology & Applied Science Research*, 14(1), 576-580.

Talebi, Z., Azhdary, Kh. & Hosseini, S.H. (2020). Simulation of Subcritical Flow Distribution and Water Surface Fluctuations in Four-branch Open Channel Junction with FLOW 3D. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 14(3), 1018-1031. (In Persian)

Toranji, M.S. (2017). Numerical Study of the effect of obstacles on flow Pattern around junctions in open channels, M.Sc. Thesis, Department of Civil Engineering of Razi University, 103p. (In Persian)

Weber, L.J., Shumate, E.D. & Mawer, N. (2001). Experiments on flow at a 90 degree open-channel junction. *J. Hydraulic Eng.*, 127(5), 340-350.

Yavari, P. (2014). Numerical study of flows in open channel intersections, M.Sc. Thesis, Department of Civil Engineering of Razi University, 143p. (In Persian)