

Numerical Study of The Effects of Flow Velocity and Flood Roughness Components on Hydraulic Flow Performance in Composite Sections with Converging Floodplains


Alireza Mardookhpour ^{1*}, Ramtin Sobhkhiz Foumani ², Hamidreza Ghasemi Bivarzani ³

1- Assistance Professor of Civil Engineering Department, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.

2- PhD Student of Civil Engineering Department, University of Qom, Qom, Iran.

3- M.sc of Civil Engineering Department, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.

* alireza.mardookhpour@liau.ac.ir

Received: 29 October 2021, Accepted: 16 March 2022  J. Hydraul. Homepage: www.jhyd.iha.ir

Abstract

Introduction: The need to control floods and their dangers is not hidden from anyone. In addition, a wide range of economic, social and environmental issues are affected by this phenomenon. The first step in the design and optimal management of flood control methods is the correct identification of river behavior during floods. In most river engineering projects such as flood routing, determining the bed and river area, etc., calculating the average values of hydraulic parameters of the river section is sufficient. Today, the use of numerical and analytical methods in the study of fluid environment have grown and developed. Due to the production of reliable results, they have been able to be a good alternative to physical models. Today, with the rapid development of numerical models and increasing the speed of computer calculations, the use of 3D numerical models is preferred and also due to the fact that measuring the velocity distribution and shear stress in rivers is very time consuming and expensive, and thus the results of 3D numerical models will be valuable. On the other hand, the available studies show that a comprehensive numerical research using FLOW-3D model on composite sections had not been performed yet, so a suitable ground for research is provided. Therefore, the innovation of the present study is the numerical study of the effects of parameters such as roughness on the status and hydraulic performance of the flow in non-prismatic composite sections, which are accompanied by divergent and convergent floodplains, which have received less attention numerically.

Methodology: Younesi (2013) research has been used to validate the results of numerical simulation. In these experiments, first the hydraulic flow in composite prismatic and non-prismatic sections with fixed bed was examined and then, while maintaining the conditions, sediment transfer experiments were performed in prismatic and non-prismatic mode. The experiments were performed in a research channel 15 meters long. This canal is a composite canal by two symmetrical floodplains with a width of 400 mm and a flow rate that can be provided for recirculation in the system of 250 liters per second and a longitudinal slope of 0.0088 000. The depth of the main canal to the edge of the floodplain is equal to 0.18 meters and the width of the main canal is equal to 0.4 meters. For roughing the bed and walls of the main canal, sediments with an average diameter of 0.65 mm have been used and at each stage, the walls and bed of floodplains have been roughened by sediments with an average diameter of 0.65, 1.3 and 1.78 (mm). A triangular weir at the upstream of the canal is used to

measure the inflow to the canal. In order to measure the flow velocity in experiments with relative depth of 0.15 and 0.25, a micro-Molina with a diameter of 14 mm and in experiments with relative depth of 0.35, a three-dimensional speedometer (ADV) was used. The water level was also taken by depth gauges with an accuracy of 0.1 mm.

Result and Discussion: In the present study, in order to validate the numerical model of water surface profile, average depth velocity distribution and boundary shear stress in the three sections at the beginning, middle and end of the divergence zone in experiments test of the prismatic composite section (i.e., Np-0.25-2-11.3, Np-0.25-2-5.7 and P-0.25-2-2) has been evaluated. The results related to the validation of the average depth velocity of the experiments Np-0.25-2-5.7, NP-11.3-2-0.25, and P-2.0-2-2 are discussed using some statistical indexes. In Np-0.25-2-5.7 experiment, the amount of NRMSE in elementary, middle and final grades was calculated to be 5.7, 11.8 and 10.3%, respectively, which is in the excellent grade in the elementary grade and good in the middle and final grades. The RMSE values of three aforementioned states are calculated as 0.026, 0.037 and 0.026, respectively. In the experiment Np-11.3-2-0.25, the NRMSE values in the primary, middle and final levels were calculated as 7, 11.2 and 15.4%, respectively, which are in the excellent category in the primary level and in the good category in the middle and final levels. The RMSE values are calculated as 0.032, 0.038 and 0.04, respectively. In the P- 0.25-2 experiment, the NRMSE value was calculated to be 1.7%, which is in the excellent category. The RMSE value is also calculated to be 0.004. Regarding the medium-depth velocity distribution, it can be said that the numerical model has an acceptable compliance with the laboratory results and only a small error has been entered in the junction area, which can be considered as a result of the movement of secondary cells towards the corners.

Conclusion: In this research, the flow pattern in waterways with composite prismatic and non-prismatic sections was studied using Flow 3D software that is capable of three-dimensional flow analysis. For three different relative roughness's (1, 2 and 2.74) as well as three relative depths (0.15, 0.25 and 0.35) and divergence angles of 5.7 and 11.3 degrees, changes in the longitudinal component of velocity, the average depth velocity distribution, the boundary shear stress distribution as well as the flow rate transmitted by the floodplains were investigated. The results showed that with increasing the width of floodplains along the canal, the amount of velocity decreases. Also, the study of the effect of roughness on the flow pattern showed that in general, with wall roughness, the amount of velocity has decreased in all sections and also the flow pattern at the junction of the main canal and floodplain is more affected by wall roughness. The results also showed that with increasing relative depth or decreasing relative roughness, the velocity gradient between the main channel and floodplains decreases

Keywords: Numerical study, Depth velocity, Relative roughness, Flood, Flow-3D software.

© 2022 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/>)

مطالعه عددی اثرات مولفه‌های سرعت جریان و زبری سیلابدشت‌ها بر عملکرد هیدرولیکی جریان در مقاطع مرکب با سیلابدشت‌های همگرا

علیرضا مردوخ پور^{۱*}، رامتین صبح خیز فومنی^۲، حمیدرضا قاسمی بیورنی^۳

۱- استادیار گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، لاهیجان، ایران.

۲- دانشجوی دکتری گروه عمران، دانشگاه قم، قم، ایران.

۳- کارشناس ارشد گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، لاهیجان، ایران.

* alireza.mardookhpour@liau.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۷، پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۵، وب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

چکیده: شبیه‌سازی جریان در مقاطع مرکب یا رودخانه‌های طبیعی از مهمترین مسائلی است که برای کاهش خطرات سیلاب و همچنین مدیریت دشت‌های سیلابی به آن پرداخته می‌شود. از طرفی مطالعات حاضر نشان می‌دهد تحقیقات جامع عددی بر روی مقاطع مرکب انجام نشده است. لذا نوآوری تحقیق حاضر در مورد مطالعه عددی اثرات پارامترهایی نظیر زبری بر وضعیت و عملکرد هیدرولیک جریان در مقاطع مرکب غیرمنشوری می‌باشد. در تحقیق حاضر، الگوی جریان در آبراهه‌هایی با مقاطع مرکب منشوری و غیر منشوری با استفاده از نرم افزار *Flow 3D* که قابلیت تجزیه و تحلیل سه بعدی جریان را دارد بررسی شد. به ازای سه زبری نسبی مختلف (۱، ۲ و ۲/۴) و نیز سه عمق نسبی (۰/۱۵، ۰/۲۵ و ۰/۳۵) و زاویه‌های واگرایی ۵/۷ و ۱۱/۳ درجه، تغییرات مؤلفه طولی سرعت، توزیع سرعت متوسط عمقی، توزیع تنش برشی مرزی و نیز دبی انتقال یافته توسط سیلابدشت‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش عرض سیلابدشت‌ها در طول کانال از مقدار سرعت کاسته می‌شود. همچنین بررسی اثر زبری بر روی الگوی جریان نشان داد که بطور کلی با زبر شدن جدار، مقدار سرعت در تمامی مقاطع مورد بررسی کاهش یافته است. از طرفی الگوی جریان در محل برخورد کانال اصلی و سیلابدشت تأثیر بیشتری از زبر شدن جدار می‌پذیرد. همچنین می‌توان اشاره کرد که با افزایش عمق نسبی و یا کاهش زبری نسبی، گرادیان سرعت میان کانال اصلی و سیلابدشت‌ها کاهش می‌یابد.

کلیدواژگان: بررسی عددی، سرعت عمقی، زبری نسبی، سیلابدشت، نرم افزار *Flow-3D*.

۱- مقدمه

رودخانه در هنگام رخداد سیل است. در اغلب طرح‌های مهندسی رودخانه از مانند روندیابی سیل، تعیین حد بستر و حریم رودخانه و ... محاسبه میزان‌های میانگین فراسنجه‌های هیدرولیکی مقطع رودخانه کفایت می‌کند (Hooshmandi, 2013).

(Barahmand and Shojaei (2014) با به‌کارگیری نرم افزار *Flow 3D* و با استفاده از مدل آشفتگی RNG به شبیه‌سازی جریان در سرریز سد سلمان فارسی پرداختند. مقایسه نتایج فشار، سرعت و شاخص

ضرورت مهار سیلاب و خطر آن بر کسی پوشیده نیست، آسیب و زیان‌های ناشی از سیل و طغیان رودخانه‌ها در کشور، همه ساله بخش شایان توجهی از اعتبارهای مربوط به رویدادها و بلاهای طبیعی را به خود اختصاص می‌دهد. افزون بر این دامنه گسترده‌ای از مسئله‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی نیز تحت تأثیر این پدیده قرار می‌گیرند. نخستین گام در طراحی و مدیریت بهینه روش‌های کنترل سیلاب، شناسایی درست و مناسب رفتار

شده، نشان می‌دهد که هر دو مدل دقت قابل قبولی دارا بوده ولی مدل برنامه ریزی ژنتیک خطی با ضریب همبستگی و خطای مربعی میانگین ریشه‌ای از کار بهتری دارا می باشد

Alkhatib et al. (2014) با انجام آزمایش هایی در یک فلوم شیشه ای با طول، عرض و عمق مشخص، مدل رگرسیونی چند متغیره را برای پیش‌بینی دبی جریان عبوری از سیلابدشت، مقطع اصلی و نیز دبی کل یک مقطع مرکب منشوری با بستر صاف ارائه کردند.

Al-khatib and Gogush (2015) با انجام آزمایش هایی در یک آبراهه مرکب مستطیلی نامتقارن به بررسی تأثیر انتقال ممنتم جانبی بر روی پراکنش تنش برشی پرداختند. یکی از مهم‌ترین نتایج این تحقیق آن است که: با افزایش عرض سیلابدشت در یک عمق ثابت، میزان تنش برشی متوسط کف آبراهه اصلی کاهش یافته و این میزان با افزایش عمق جریان در یک عرض سیلابدشت ثابت، افزایش می‌یابد.

Parsaei et al. (2015) با استفاده از روش فنی ماشین بردار پشتیبان به پیش‌بینی دبی جریان در مقطع‌های مرکب پرداختند. همچنین مقایسه نتایج SVM با نتایج روش تقسیم مقطع با خطوط افقی با در نظر گرفتن آنها در محاسبه های مربوط به محیط خیس شده نشان داد که مدل SVM با ضریب همبستگی ۰/۹۹، از کار بهتری دارا می‌باشد.

Kordi et al. (2015) با اذعان به اینکه روش SKM در مدل‌سازی سلول های جریان ثانویه در محل اتصال آبراهه اصلی به سیلابدشت به طور ضعیف عمل نموده است، روش ESKM را برای مدل‌سازی جریان‌های ثانویه ارائه کردند. ایشان اظهار داشتند که مدل ارائه شده قابلیت پیش‌بینی پراکنش سرعت میانگین عمقی و تنش برشی مرزی را در مقطع‌های مرکب متقارن و نامتقارن با شرایط مرزی همگن و ناهمگن را دارد.

Mohanta et al. (2015) با استفاده از پویایی (دینامیک) سیال‌های محاسبه‌ای به شبیه‌سازی جریان در آبراهه‌های مرکب منشوری و غیر منشوری با سیلابدشت‌های همگرا پرداختند. ایشان از نرم‌افزار ANSYS - FLUENT برای

جدار خوردگی (کاویتاسیون) در سرریز طرح قدیم و طرح جدید با اصلاح نیمرخ (پروفیل) طولی سرریز و پیش بینی سازه هواده مدل عددی با نتایج مدل آزمایشگاهی، نشان داد همخوانی خوبی بین داده‌های خروجی برقرار بوده و مشاهده شد با افزایش دبی در سرریز طرح جدید نتایج خطا مدل عددی نسبت به مدل فیزیکی کاهش شایان ملاحظه ای می‌یابد.

Latifipour et al. (2015) با استفاده از مدل عددی Flow 3D به شبیه سازی جریان پایین دست سازه‌های شیب شکن پرداختند. نتایج نشان داد که به کمک مدل آشفتگی RNG نرم افزار Flow-3D قابلیت بسیار خوبی در برآورد فراسنجه‌های هیدرولیکی و همچنین الگوی جریان دارد به طوری که تا حدود ۵ درصد خطا در برآورد نیمرخ سطح آب شبیه‌سازی شده مشاهده شد.

Sarvari et al. (2015) با استفاده از مدل Flow 3D به پیش بینی تغییرپذیری های ریخت شناسی در محل تلاقی رودخانه ها پرداختند. مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی نشان داد که مدل یاد شده با میانگین خطایی حدود ۶/۳ درصد قادر به شبیه سازی بیشینه ارتفاع رسوبگذاری در محل تقاطع در آبراهه فرعی و با میانگین خطایی حدود ۲۶ درصد قادر به شبیه سازی عمق فرسایش در ساحل راست آبراهه اصلی در گزینه های مختلف دبی جریان می باشد.

Padhi et al. (2014) با استفاده از داده‌های فاز A کانال FCF و داده‌های فلوم کوچک Knight and Demetriou (1983)، قابلیت کاربرد روش IDCM را برای پیش بینی دبی جریان در مقاطع مرکب منشوری با سیلابدشت‌های صاف بررسی کردند. مقایسه نتایج حاصله با روش DCM گویای از این است که روش IDCM با لحاظ کردن واکنش بین آبراهه اصلی و سیلابدشت ها قادر به پیش‌بینی بهتری می باشد.

Zahiri and Ezzatollah (2014) با استفاده از ۳۹۴ داده آزمایشگاهی و صحرایی حاصل از ۳۰ آبراهه مرکب، به پیش‌بینی دبی جریان در آبراهه مرکب با استفاده از دو مدل برنامه ریزی ژنتیک و «درخت تصمیم» پرداختند. مقایسه نتایج حاصل از دو مدل با داده‌های اندازه گیری

پراکنش درصدی دبی در آبراهه‌های ترکیبی غیر منشوری با دشت‌های سیلابی مایل پرداخته و برخی از نتایج آزمایش‌های انجام‌شده در آبراهه‌های ترکیبی غیر منشوری با دشت‌های سیل‌خیز اریب و مایل توضیح داده شده است. نتایج تجربی نشان داد که درصد دبی در هر زیربخش به فراسنجه‌هایی مانند عمق نسبی، فاصله نسبی، زاویه انحراف و شیب جانبی دشت سیلابی بستگی دارد. با استفاده از نتایج تجربی، مدل‌های وایازی (رگرسیون) برای برآورد درصد دبی در آبراهه اصلی و در دشت‌های سیلابی ایجاد شده‌اند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که مدل‌های رگرسیونی ارائه‌شده در این تحقیق، در محدوده اعتبارسنجی، می‌توانند درصد دبی را در هر زیربخش از یک آبراهه چاه پری آبراهه مرکب مایل پیش‌بینی کنند. امروزه با پیشرفت مدل‌های عددی و افزایش سرعت محاسبه‌های رایانه، استفاده از مدل‌های عددی سه بعدی برتری داشته و همچنین با توجه به اینکه اندازه‌گیری زبری و پراکنش سرعت و تنش برشی در رودخانه‌ها بسیار زمانبر و پرهزینه است، نتایج مدل‌های عددی سه بعدی ارزشمند خواهد بود. بررسی‌های کنونی حاضر نشان می‌دهد تحقیقات جامع عددی با استفاده از مدل FLOW-3D بر روی مقطع‌های مرکب انجام نشده است. لذا زمینه مناسبی برای انجام پژوهش فراهم است. نوآوری این تحقیق در مورد ارزیابی عددی اثرگذاری‌های فراسنجه‌هایی مانند زبری بر وضعیت و عملکرد هیدرولیک جریان در مقاطع مرکب غیرمنشوری می‌باشد که به همراه سیلابدشت‌های واگرا و همگرا می‌باشد که کمتر از حیث عددی مورد توجه واقع شده است.

۲- مواد و روش‌ها

امروزه، استفاده از روش‌های عددی و تحلیلی در بررسی محیط سیال رشد و توسعه یافته‌اند و به دلیل تولید نتایج قابل اطمینان، توانسته‌اند جایگزین خوبی برای مدل‌های فیزیکی باشند. نرم افزار Flow 3D یک نرم افزار قوی در زمینه پویایی (دینامیک) سیال‌ها است که تولید، توسعه و پشتیبانی آن توسط Flow Science, Inc صورت گرفته است. Flow 3D یک مدل مناسب برای حل مسائل

شبیه‌سازی جریان بهره‌جستند. نتایج نشان داد که مدل عددی با به‌کارگیری مدل آشفتگی شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ (LES) قابلیت پیش‌بینی پراکنش سرعت میانگین عمقی در مقطع‌های مرکب منشوری و غیر منشوری را دارد.

(Das and Khatua (2018) به بررسی مقاومت جریان در یک آبراهه مرکب با دشت‌های سیلابی واگرا و همگرا پرداخته‌اند. آزمایش‌ها در آبراهه ترکیبی متقارن با دشت‌های سیلابی واگرا و همگرا برای عمق‌های جریان نسبی مختلف برای بررسی ویژگی‌های مقاومت جریان روی کرانه در بخش‌های غیر منشوری انجام شد. مدل حاضر با ارائه خطای کمتر، نتایج رضایت بخشی را در مقایسه با دیگر روش‌ها برای آبراهه‌های تجربی مختلف و داده‌های میدانی ارائه داده است.

(Ahmad et al. (2020) به ارزیابی عددی برای بررسی ساختارهای جریان سه بعدی پیچیده با پوشش گیاهی لایه‌ای عمودی قرار گرفته بر روی دشت‌های سیلابی در یک آبراهه ترکیبی دوزنقه‌ای متقارن پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که سرعت جریان در دشت‌های سیلابی به دلیل مقاومت پوشش گیاهی به طور شایان توجهی کاهش یافت که در نتیجه باعث افزایش درصد حدود ۷۰ درصد از عبور دبی از آبراهه اصلی شد. همچنین پراکنش فضایی مشخصه‌های جریان میانگین و آشفتگی به طور شایان توجهی در نزدیکی رابط‌های دشت سیلابی و آبراهه اصلی تحت تاثیر قرار گرفت.

(Garrote et al. (2020) به واسنجی (کالیبراسیون) ضریب زبری مانینگ برای بهبود تجزیه و تحلیل خطر سیل در غیاب داده‌های عمق سنجی رودخانه در اسپانیا پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که کاهش میانگین خطا در میزان عمق جریان از ۵۰ تا ۷۵ سانتی‌متر (مدل‌های بدون عمق سنجی و n میزان مانینگ «طبیعی») به تنها حدود ۱۰ سانتی‌متر (مدل‌های بدون عمق سنجی و n میزان مانینگ «مرجع») به سمت کاهش در برآورد آسیب و زیان‌های مستقیم سیل، که از ۲۵ تا ۳۰ درصد به حدود ۵ درصد کاهش یافت.

(Dolati Mahtaj and Rezaei (2022) به پیش‌بینی

جدول ۱ ویژگی های آزمایش (Younesi, 2013)

| Experiment code | ξ | Q(lit/s) | Dr | θ |
|--------------------------|-------|------------|----------------|----------|
| P - ξ - Dr | 1 | 41,50,61.5 | 0.15,0.25,0.35 | - |
| | 2 | 39,46.5,57 | 0.15,0.25,0.35 | - |
| | 2.74 | 37,44,52 | 0.15,0.25,0.35 | - |
| | 2.74 | 37,44,52 | 0.15,0.25,0.35 | 5.7 |
| NP- θ - 2.74 - Dr | | 37,44,52 | 0.15,0.25,0.35 | 11.3 |
| | | 37,44,52 | 0.15,0.25,0.35 | 5.7 |

منظور بررسی نیمرخ (پروفیل) سطح آب، پراکنش مؤلفه طولی سرعت و نیز عوامل مؤثر بر آن به کمک نرم افزار Flow-3D شبیه سازی شده است. در همه آزمایش های شبیه سازی شده بر روی مقطع های مرکب، زمان اجرای مدل برای شبیه سازی هیدرولیک جریان بین ۷۵ تا ۱۵۰ ثانیه در نظر گرفته شده است که با سپری شدن این مدت زمان جریان در آبراه پایدار می گردد. همچنین در این تحقیق از نرم افزار AutoCad 3D برای مدلسازی هندسه آبراه مرکب استفاده شده است که با توجه به زبری ناهمگن مقطع مرکب، دو جز جداگانه با فرمت stl در محیط Flow 3D فراخوانی شده است. در شکل (۲) هندسه مقطع های مرکب در محیط Flow 3D نشان داده شده است.

پس از بررسی شبکه بندی های مختلف، شبکه بندی میدان جریان با شمار کل سلول های برابر با ۱۲۰۰۰۰۰ در آزمایش های P - ξ - Dr و NP - 11.3 - ξ - Dr در نظر گرفته شد. از طرفی در آزمایش های NP - 5.7 - ξ - Dr مقدار ۱۸۰۰۰۰۰ مناسب تشخیص داده شد. در شکل (۳) شبکه بندی میدان جریان با شمار کل سلول ها در شبکه برابر ۴۰۰۰۰۰ و ۱۲۰۰۰۰۰ نشان داده شده است. در این شکل محدوده شبکه بندی میدان جریان در آزمایش های مقطع های مرکب نشان داده شده است. در تمامی آزمایش های مقطع های مرکب غیر منشوری شبکه بندی میدان جریان از یک متر پیش از آغاز ناحیه واگرایی انجام گرفته و تا یک متر بعد از پایان آن ادامه دارد. همچنین کل مقطع های عرضی آبراه شبکه بندی شده است. انتخاب این نوع شبکه بندی پس از بررسی چند شبکه بندی مختلف، مناسب تشخیص داده شده است. شبکه بندی مقطع منشوری نیز در ۴ متر از طول آبراه و در کل مقطع عرضی صورت گرفت.

پیچیده پویایی (دینامیک) سیال ها بوده و قادر است دامنه وسیعی از جریان سیال ها را مدل کند. این مدل برای شبیه سازی جریان های سطح آزاد سه بعدی غیر ماندگار با هندسه پیچیده کاربرد فراوانی دارد (Flow Science, Inc., 2008).

۲-۱- مطالعه آزمایشگاهی مرتبط با تحقیق

جهت درستی سنجی نتایج شبیه سازی عددی از تحقیقات Younesi (2013) استفاده شده است. در این آزمایش ها ابتدا هیدرولیک جریان در مقطع های مرکب منشوری و غیر منشوری با بستر ثابت بررسی و آن گاه با حفظ شرایط، آزمایش های انتقال رسوب در حالت منشوری و غیر منشوری انجام شده است. آزمایش های در یک آبراه تحقیقاتی به طول ۱۵ متر انجام گرفته است. این آبراه مرکبی با دو سیلابدشت متقارن به عرض ۴۰۰ میلی متر با شدت جریان قابل تأمین جهت بازچرخانی در سیستم ۲۵۰ لیتر در ثانیه و شیب طولی ۰/۰۰۰۸۸ می باشد. عمق آبراه اصلی تا لبه سیلابدشت برابر ۰/۱۸ متر و عرض آبراه اصلی و برابر ۰/۴ متر می باشد. به منظور زبر نمودن بستر و دیواره های آبراه اصلی از رسوباتی با قطر متوسط ۰/۶۵ میلی متر استفاده شده و در هر مرحله دیواره و بستر سیلابدشت ها توسط رسوب های با قطر میانگین ۰/۶۵، ۱/۳ و ۱/۷۸ (میلی متر) زبر شده است. از یک سرریز مثلثی برای اندازه گیری دبی جریان ورودی به آبراه، در بالادست ر استفاده شده است. به منظور اندازه گیری سرعت جریان در آزمایش های با عمق نسبی ۰/۱۵ و ۰/۲۵ از یک میکرو مولینه با قطر ۱۴ میلی متر و در آزمایش های با عمق نسبی ۰/۳۵ از یک دستگاه سرعت سنج سه بعدی (ADV) استفاده شده است. تراز سطح آب نیز توسط عمق سنج هایی با دقت ۰/۱ میلی متر برداشت شده است. در جدول (۱) ویژگی های آزمایش های مقطع های منشوری و غیر منشوری که برای شبیه سازی جریان با مدل Flow 3D انتخاب شده اند، ارائه شده است.

۲-۲- شبیه سازی عددی مقاطع مرکب

در این بخش به مراحل شبیه سازی عددی مقاطع مرکب مانند انواع مقطع های مرکب منشوری و غیر منشوری به

بررسی و مقایسه نتایج آنها مدل برتر انتخاب شد. همان طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود مدل LES توانایی مدلسازی سلول‌های جریان ثانویه را نداشته و در برآورد تنش برشی مرزی دقت خوبی دارا نمی‌باشد، در حالی که مدل RNG در مدلسازی این سلول‌ها نتیجه شایان قبولی را ارائه کرده است. بنابر این مدل RNG به عنوان مدل آشفتگی مناسب انتخاب شده است.

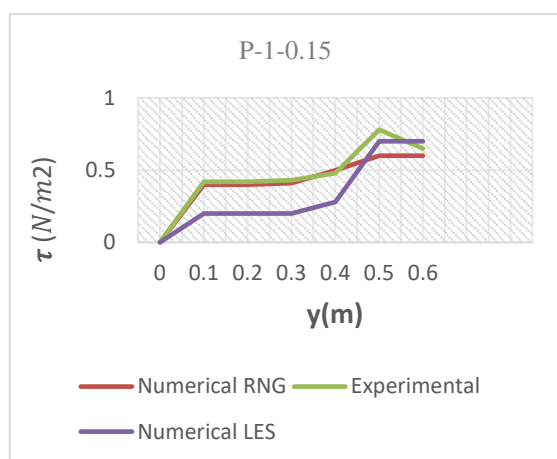


Fig. 4 Comparison of RNG and LES turbulence models with laboratory results in experiment 0.15-1-P

شکل ۴ مقایسه مدل‌های آشفتگی RNG و LES با نتایج آزمایشگاهی در آزمایشگاه P-۱-۰.۱۵

در همه شبیه‌سازی‌های انجام گرفته شرایط مرزی یکسانی اعمال شده است. برای شرایط مرزی در ورودی بالادست میدان از شرط مرزی دیریکله استفاده شده است. استفاده از این شرط به این معناست که میزان متغیرها بر روی مرز معین باشد. اعمال این شرط در مدل با دادن میزان دبی جریان صورت گرفته است. شرط مرزی پایین دست میدان جریان از نوع Outflow و در مورد دیواره‌ها نیز شرط مرزی Wall انتخاب شده است. در شکل (۵) ویژگی‌های شرایط مرزی اعمال شده ارائه شده است.

۳-۲- شاخص‌های ارزیابی مدل

در این تحقیق به منظور درستی‌سنجی مدل عددی از شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) از رابطه (۱) و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) از رابطه (۲) استفاده شده است. شاخص RMSE میزان تفاوت میان داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی

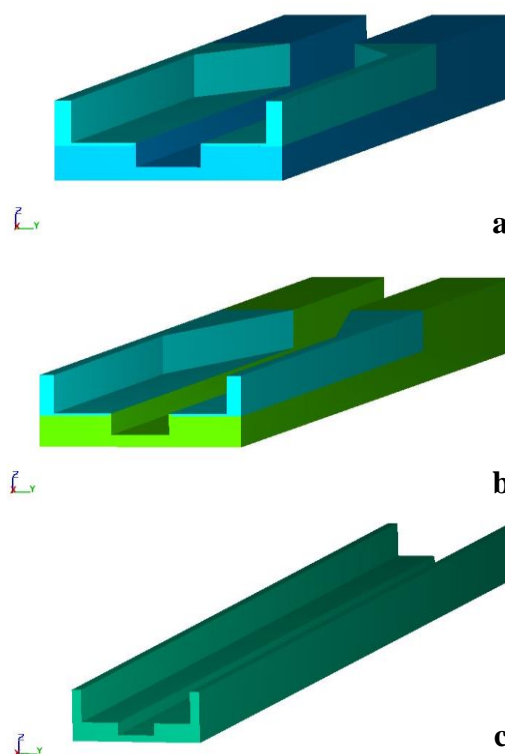


Fig. 2 Composite channel view in Flow 3D environment (a) Non-prismatic section $\theta = 11.3$ (b) $\theta = 5.7$ (c) Prismatic section

شکل ۲ نمای آبراهه مرکب در محیط Flow 3D (a) مقطع غیر منشوری $\theta = 11.3$ (b) $\theta = 5.7$ (c) مقطع منشوری

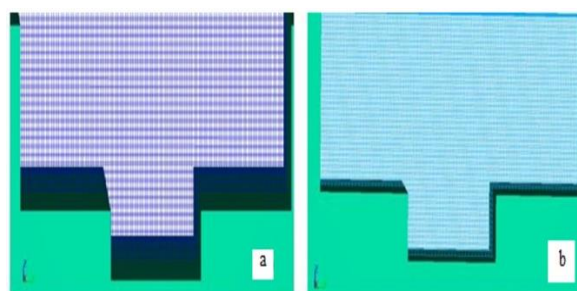


Fig. 3 Flow field networking with the total number of cells in the network equal to (a) 400,000 and (b) 12,000,000

شکل ۳ شبکه بندی میدان جریان با شمار کل سلول‌ها در شبکه (a) 400000، (b) 1200000

با توجه به اینکه جریان‌های ثانویه، جریان القاء شده توسط آشفتگی هستند، انتخاب نوع مدل آشفتگی به طوری که بتواند در مدلسازی سلول‌های جریان ثانویه مؤثر باشد، از مهم‌ترین مرحله‌های مدلسازی عددی هیدرولیک جریان در مقطع‌های مرکب می‌باشد. در این تحقیق دو مدل آشفتگی RNG و LES برای مقایسه انتخاب و پس از

و ۰.۲۵-۰.۷-۵ NP-۵.۷-۲-۰.۲۵ ارائه شده است.

جدول ۲ میزان شاخص های RMSE, NRMSE آزمایش

مقطع منشوری

Table 2 Values of RMSE and NRMSE indices of prismatic section test

| Experiment code | Flow Characterizes | RMSE | NRMSE (%) |
|-----------------|-----------------------|--------|-----------|
| P-2-0.25 | Medium depth velocity | 0.004 | 1.7 |
| | Water level profiles | 0.0008 | 0.34 |

جدول ۳ میزان شاخص های RMSE, NRMSE آزمایش مقطع

غیر منشوری

Table 3 Values of RMSE and NRMSE indices of non-prism section test

| Experiment code | Flow Characterizes | Section | RMSE | NRMSE (%) |
|-----------------|-----------------------|---------|--------|-----------|
| NP-5.7-2-0.25 | Medium depth velocity | 1 | 0.026 | 5.7 |
| | | 2 | 0.037 | 11.8 |
| | | 3 | 0.026 | 10.3 |
| NP-11.3-2-0.25 | Water level profiles | - | 0.0031 | 1.3 |
| | | 1 | 0.0032 | 7 |
| | | 2 | 0.038 | 11.2 |
| NP-11.3-2-0.25 | Medium depth velocity | 3 | 0.04 | 15.4 |
| | | - | 0.0026 | 1.1 |
| | | 3 | 0.04 | 15.4 |

در شکل های (۶) تا (۱۲) نتایج مربوط به درستی سنجی سرعت میانگین عمقی آزمایش های NP-5.7-2-0.25 و NP-11.3-2-0.25 نشان داده شده است. در آزمایش NP-5.7-2-0.25 میزان NRMSE در مقطع ابتدایی، میانی و انتهایی به ترتیب ۵/۷، ۱۱/۸ و ۱۰/۳ درصد محاسبه شده است که در مقطع ابتدایی در رده عالی و مقطع های میانی و انتهایی در رده خوب قرار می گیرند. همان طور که ملاحظه می شود، میزان RMSE نیز به ترتیب ۰/۰۲۶، ۰/۰۳۷ و ۰/۰۲۶ محاسبه شده است. در آزمایش NP-11.3-2-0.25 مقدار NRMSE در مقطع ابتدایی، میانی و انتهایی به ترتیب ۷، ۱۱/۲ و ۱۵/۴ درصد محاسبه شده است که در مقطع ابتدایی در رده عالی و مقطع های میانی و انتهایی در رده خوب قرار می گیرند. همان طور که ملاحظه می شود، مقدار RMSE نیز به ترتیب ۰/۰۳۲، ۰/۰۳۸ و ۰/۰۴ محاسبه شده است. در آزمایش P-2-0.25 مقدار NRMSE برابر ۱/۷ درصد محاسبه شده است که در رده عالی قرار می گیرد. همانطور که ملاحظه می شود، مقدار RMSE نیز ۰/۰۴

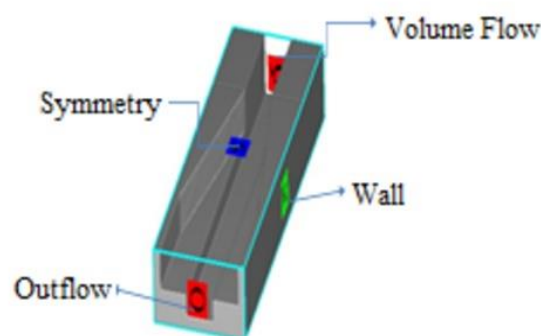


Fig. 5 Applied boundary conditions

شکل ۵ شرایط مرزی اعمال شده

را نشان می دهد و هر چه این شاخص کمتر باشد، نشانه شبیه سازی بهتر مدل می باشد. همچنین شاخص NRMSE زیر ۱۰ درصد نشان دهنده دقیق بودن مدل (رده عالی)، ۱۰-۲۰ درصد مناسب بودن مدل (رده مناسب)، ۲۰-۳۰ درصد دقت متوسط (رده متوسط و بیش از ۳۰ درصد نشانه ضعیف بودن مدل (رده ضعیف) است.

$$RMSE = \frac{\sqrt{1}}{n} \sum (q_i - \bar{q})^2 \quad (1)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{X}} * 100 \quad (2)$$

۳- تجزیه و تحلیل نتایج

در این بخش، به بررسی داده ها و استخراج نتایج حاصل از مدل عددی و مقایسه آنها با نتایج آزمایشگاهی Younesi (2013) پرداخته می شود. سپس تأثیر توأمان زبری و اگرایی سیلابدشت ها بر روی مشخصه های جریان بررسی شده و در نهایت با نتایج مقطع منشوری مقایسه می شود.

۳-۱- درستی سنجی نتایج

در این تحقیق به منظور درستی سنجی مدل عددی نیمرخ سطح آب، پراکنش سرعت میانگین عمقی و تنش برشی مرزی در سه مقطع ابتدا، وسط و انتهای ناحیه واگرایی) در آزمایش های NP-۱۱.۳-۲-۰.۲۵ و NP-۵.۷-۲-۰.۲۵ و همچنین آزمایش P-۲-۰.۲۵ مقطع مرکب منشوری ارزیابی شده است. در جدول (۱) میزان شاخص های RMSE و NRMSE مربوط به آزمایش P-۲-۰.۲۵ مقطع مرکب منشوری، و نیز در جدول (۲) مقادیر شاخص های RMSE و NRMSE در آزمایش های NP-۰.۲۵-۲-۱۱.۳

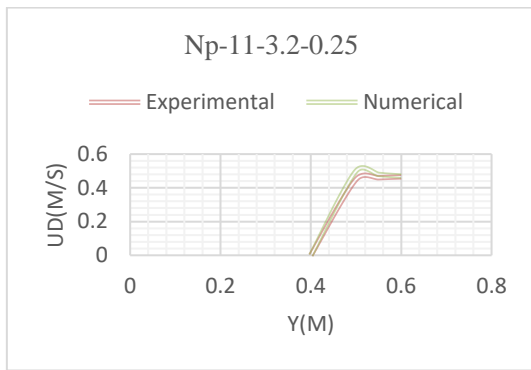


Fig.9 Validation of the average depth velocity at the beginning of the divergence of the experiment
 شکل ۹ درستی سنجی مربوط به سرعت میانگین عمقی در ابتدای واگرایی آزمایش NP-۱۱/۳-۲-۰/۲۵

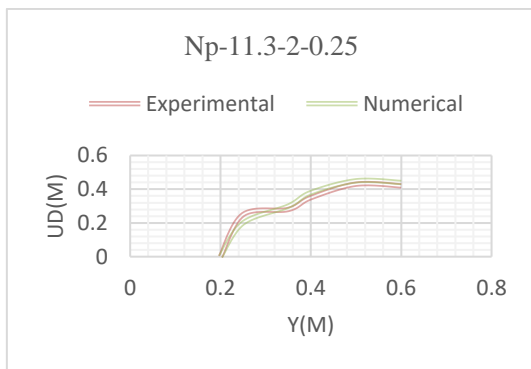


Fig. 10 Validation of the average depth velocity in the middle of the divergence of the experiment
 شکل ۱۰ درستی سنجی مربوط به سرعت میانگین عمقی در وسط واگرایی آزمایش NP-۱۱/۳-۲-۰/۲۵

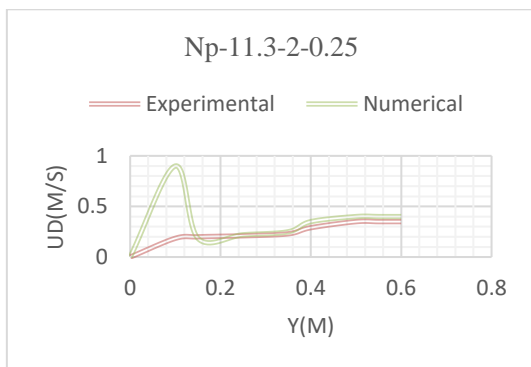


Fig. 11 Validation of the average depth velocity at the end of the divergence of the experiment
 شکل ۱۱ درستی سنجی مربوط به سرعت میانگین عمقی در انتهای واگرایی آزمایش NP-۱۱/۳-۲-۰/۲۵

۲-۳- پراکنش مؤلفه طولی سرعت در عمق در بررسی تأثیر توأمان زبری و واگرایی سیلابدشت‌ها بر هیدرولیک جریان نایکنواخت
 به منظور مقایسه تأثیر زبری و واگرایی سیلابدشت‌ها و نیز بررسی ساختار جریان ثانویه در آبراهه، سرعت جریان در

محاسبه شده است. در مورد پراکنش سرعت میانگین عمقی نیز می‌توان گفت که مدل عددی همخوانی قابل قبولی با نتایج آزمایشگاهی دارد و تنها در ناحیه محل اتصال خطای کمی وارد شده است که می‌توان آن را ناشی از حرکت سلول‌های ثانویه به سمت گوشه‌ها دانست.

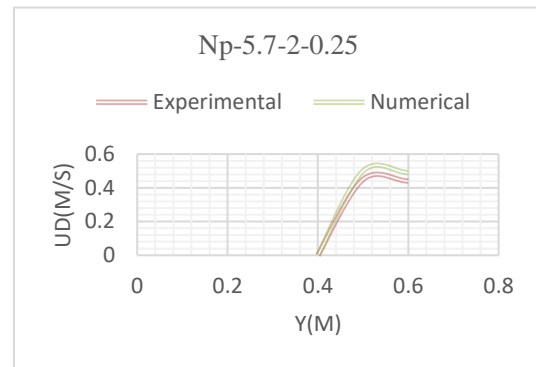


Fig. 6 Validation of the average depth velocity at the beginning of the divergence of the experiment
 شکل ۶ درستی سنجی مربوط به سرعت میانگین عمقی در ابتدای واگرایی آزمایش NP-۵/۷-۲-۰/۲۵

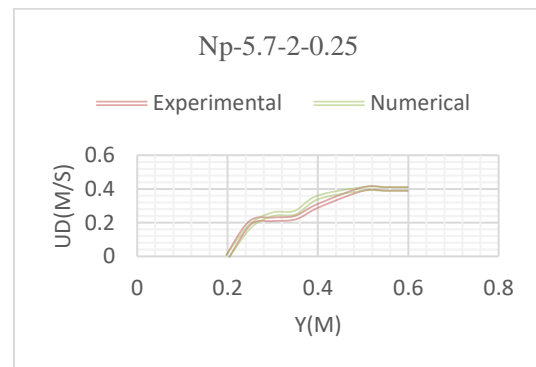


Fig. 7 Validation of the average depth velocity in the middle of the divergence of the NP test 0.25-2.7.
 شکل ۷ درستی سنجی مربوط به سرعت میانگین عمقی در وسط واگرایی آزمایش NP-۵/۷-۲-۰/۲۵

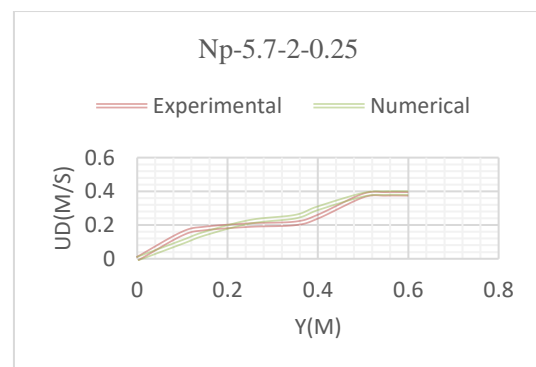


Fig. 8 Validation of the average depth velocity at the end of the divergence of the experiment
 شکل ۸ درستی سنجی مربوط به سرعت میانگین عمقی در انتهای واگرایی آزمایش NP-۵/۷-۲-۰/۲۵

است. در شبیه سازی عددی صورت گرفته نیز سرعت در سه مقطع عرضی اشاره شده بر روی گره هایی با فاصله ۱/۴ سانتیمتر در راستای عمق و عرض های مختلف محاسبه شده است.

در شکل های (۱۳) و (۱۴) به ترتیب نیمرخ عمقی سرعت حاصل از مدل آزمایشگاهی (Younesi (2013) و مدل عددی با نیمرخ لگاریتمی سرعت مقایسه شده است. نتایج گویای از این است که در همه ی مقطع ها، به جز در نزدیکی محل اتصال آبراهه اصلی به سیلابدشت ها $y=0.42$ (m) نیمرخ عمقی سرعت از قانون لگاریتمی سرعت پیروی می کند. Mohanta et al. (2015) نیز در بررسی های خود بر روی هیدرولیک جریان در مقطع های مرکب غیر منشوری با سیلابدشت های همگرا نتایج همانندی را ارائه کردند.

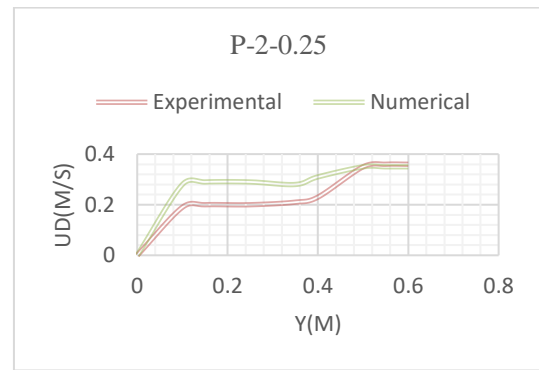


Fig. 12 Validation related to medium depth velocity in NP-0.25 experiment

شکل ۱۲ درستی سنجی مربوط به سرعت میانگین عمقی در آزمایش NP-۲-۰/۲۵

آبراهه اصلی و سیلابدشت ها اندازه گیری شده است. در همه آزمایش های سرعت های موضعی در سه مقطع عرضی ابتدا ($X=5$ m), وسط ($X=6,7$ m) و انتهای محدوده واگرایی ($X=7,9$ m) بر روی نقطه های واقع در عمق ها و عرض های مختلف در یک مقطع عرضی اندازه گیری شده

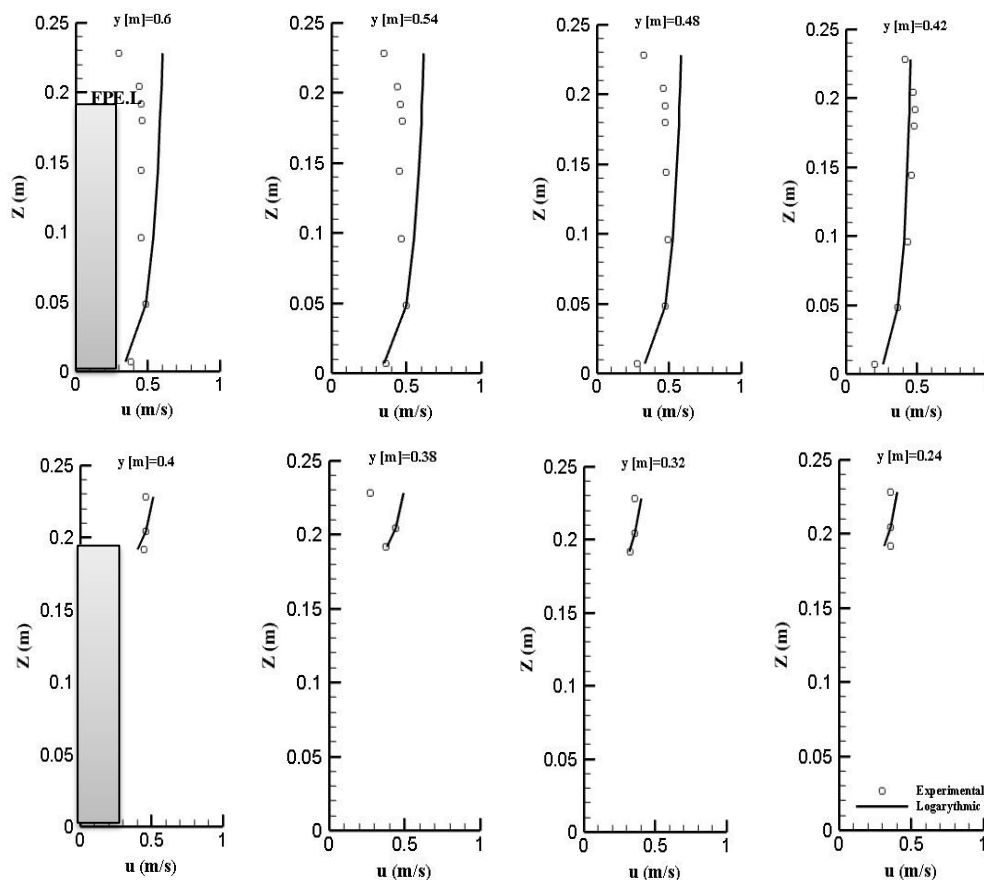


Fig. 13 Comparison of depth profile of longitudinal component of laboratory velocity and logarithmic velocity profile of intermediate section

شکل ۱۳ مقایسه نیمرخ عمقی مؤلفه طولی سرعت آزمایشگاهی و نیمرخ لگاریتمی سرعت در مقطع میانی

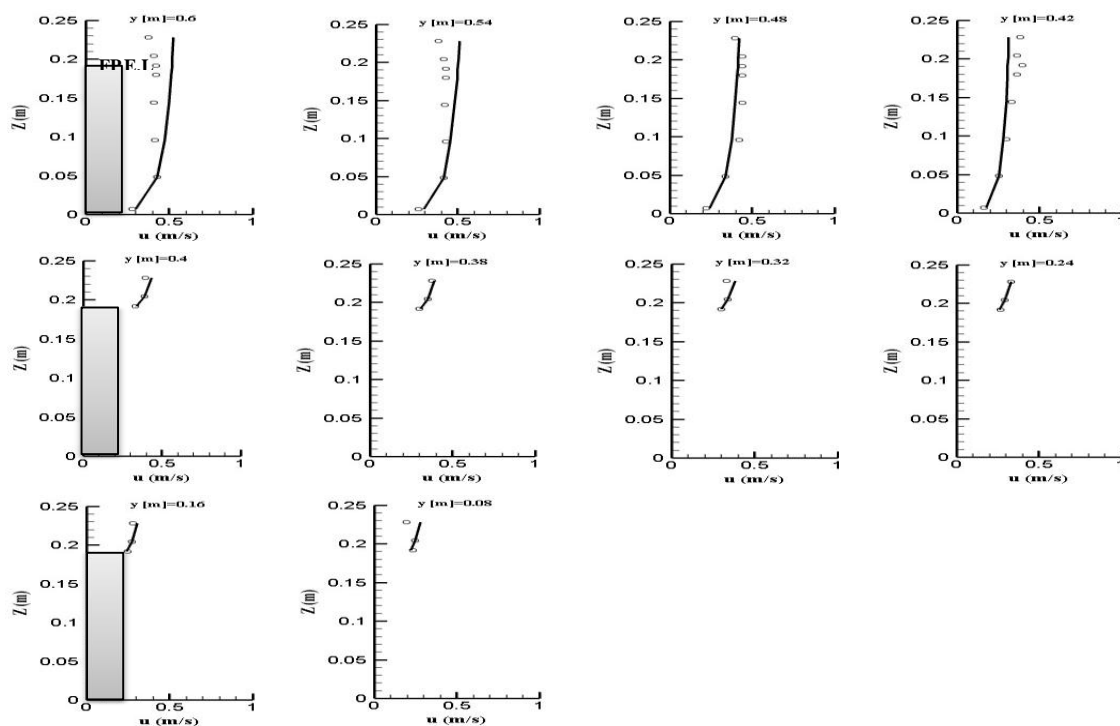


Fig. 14 Comparison of depth profiles of longitudinal component of laboratory velocity and logarithmic velocity profiles in end section

شکل ۱۴ مقایسه نیمرخ عمقی مؤلفه طولی سرعت آزمایشگاهی و پروفیل نیمرخ سرعت در مقطع انتهایی

شدن بستر باعث کاهش سرعت و در نتیجه افزایش مقاومت جریان می شود. مقدار کاهش سرعت در عمق جریان متغیر بوده و در نزدیکی سطح آب، میزان سرعت در زبری نسبی $(\xi=2/74)$ نسبت به $(\xi=1)$ تا ۶ درصد در مقطع میانی و ۹/۴ درصد در مقطع انتهایی کاهش یافته است.

در شکل های (۱۵) و (۱۶) نیمرخ عمقی مؤلفه طولی سرعت حاصل از مدل عددی و آزمایشگاهی در مرکز آبراهه اصلی به ازای میزان مختلف زبری در مقطع های میانی و انتهایی محدوده واگرایی، در آزمایش $0.25-11/3$ NP آورده شده است. در این شکل $(\xi=1)$ مربوط به زبری همگن (زبری یکسان در آبراهه اصلی و سیلابدشتها) می باشد. این نمودار نشان می دهد که زبر

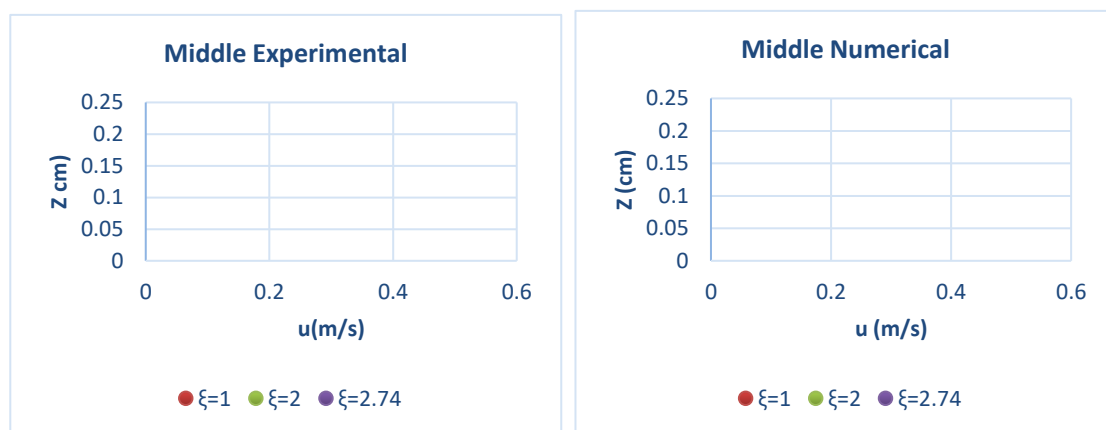


Fig. 15 Effect of increased roughness on the velocity depth profile in the center of the main channel of the mid-section of the experiment

شکل ۱۵ تاثیر افزایش زبری بر روی نیمرخ عمقی سرعت در مرکز آبراهه اصلی مقطع میانی آزمایش $0.25-11/3$ NP

می‌دهد که شکل کلی نیمرخ سرعت نیز با زبر شدن بستر تغییر می‌کند. در نزدیکی بستر، سرعت صفر بوده و با فاصله گرفتن از بستر میزان سرعت افزایش می‌یابد و در فاصله ۸ سانتیمتر از کف در مقطع میانی و ۱۰ سانتی‌متر در مقطع انتهایی به بیشینه می‌رسد. سپس تا رسیدن به سطح آزاد آب مقدار سرعت روند کاهشی را دنبال می‌کند. تغییر شکل نیمرخ سرعت نشان می‌دهد که زبر شدن بستر منجر به شدت یافتن جریان های ثانویه شده و بنابراین جریان های چرخشی عمود بر راستای اصلی جریان بوجود می‌آیند که در نزدیکی سطح آب، شدت این جریان‌های ثانویه به بیشینه می‌رسد.

تغییرپذیری‌های سرعت در محل اتصال آبراهه اصلی و سیلابدشت به ازای زبری‌های مختلف در شکل‌های (۱۸) و (۱۹) آورده شده است. شکل (۱۸) مقطع میانی و شکل (۱۹) مقطع انتهایی آزمایش $\xi = 0.25$ - $\xi = 11/3$ - NP را نشان می‌دهد.

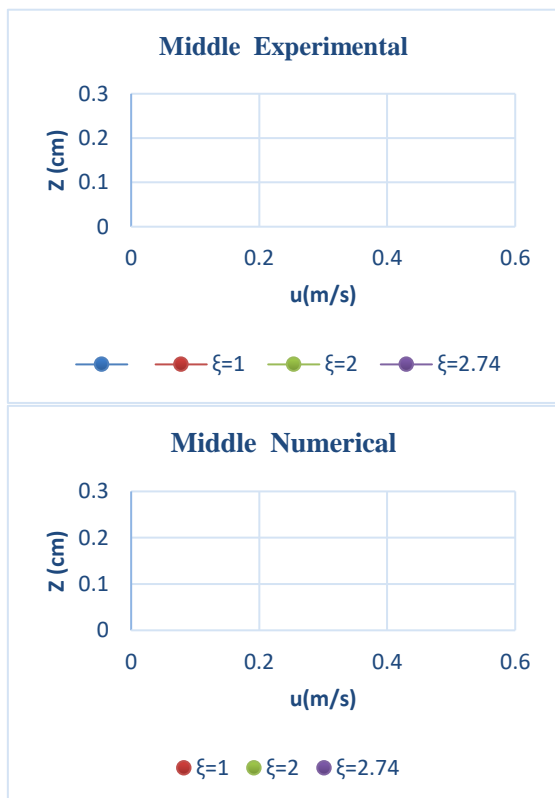


Fig. 18 The effect of increasing the roughness on the depth velocity profile at the contact point of the main channel to the mid-flood flood section.

شکل ۱۸ تاثیر افزایش زبری بر روی نیمرخ عمقی سرعت در مرز تماس آبراهه اصلی به سیلابدشت در مقطع میانی آزمایش $\xi = 0.25$ - $\xi = 11/3$ - NP

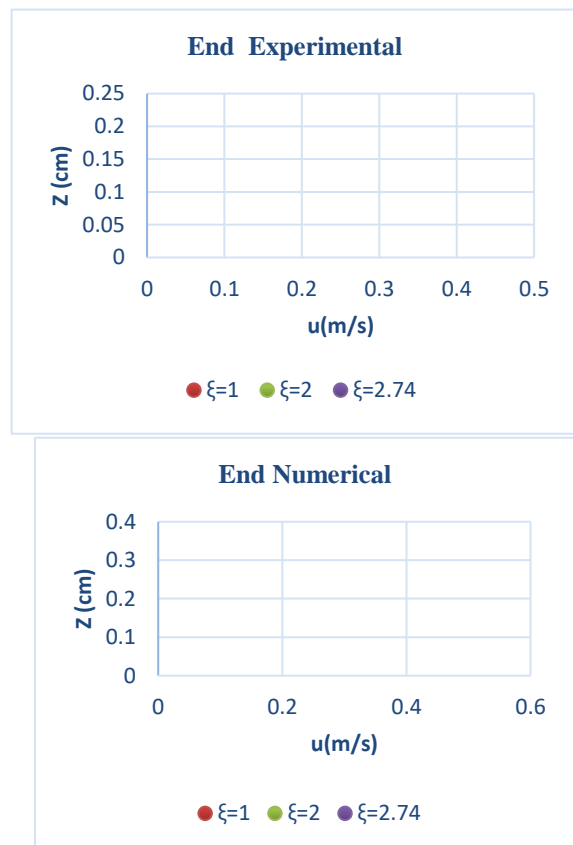


Fig. 16 The effect of increasing the roughness on the depth velocity profile in the center of the main channel of the end section of the experiment - 0.25- ξ - 3 / 11- NP

شکل ۱۶ تاثیر افزایش زبری بر روی نیمرخ عمقی سرعت در مرکز آبراهه اصلی در مقطع انتهایی آزمایش $\xi = 0.25$ - $\xi = 11/3$ - NP

Bousmar et al. (2006) در بررسی‌هایی که بر روی پراکنش سرعت در مقطع‌های مرکب غیر منشوری با بستر صاف انجام نمودند، پراکنش نیمرخ عمقی سرعت در حالت صاف را به صورت زیر نشان دادند.

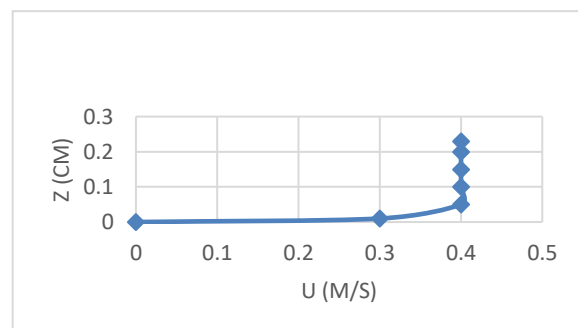


Fig. 17 Deep distribution of longitudinal velocity component in non-prismatic section with smooth bed

شکل ۱۷ پراکنش عمقی مؤلفه طولی سرعت در مقطع غیر منشوری با بستر صاف

مقایسه نیمرخ سرعت بستر زبر با شکل (۱۷) نشان

پراکنش سرعت میانگین عمقی از انتگرال گیری مؤلفه طولی سرعت در راستای عمقی آبراهه محاسبه شده است. در شکل (۲۰) پراکنش سرعت متوسط عمقی بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی مربوط به زاویه واگرایی ۱۱/۳ درجه، زبری همگن و عمق نسبی ۰/۲۵ در مقطع‌های ابتدا، وسط و انتهای ناحیه واگرایی نشان داده شده است.

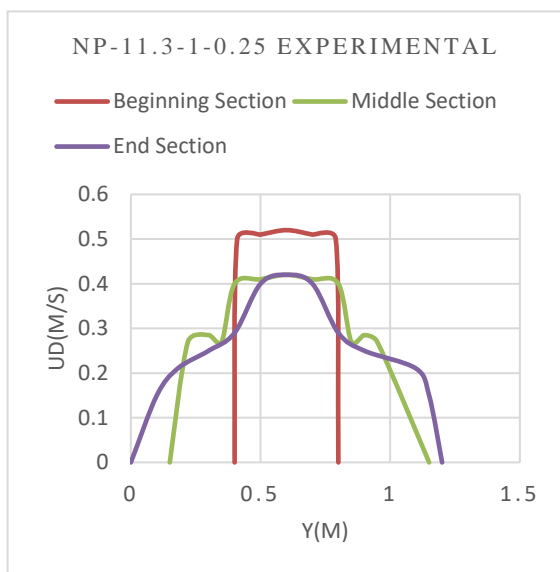


Fig. 20 Average laboratory velocity distribution in the first, middle and end of divergence sections
 شکل ۲۰ پراکنش سرعت میانگین آزمایشگاهی در مقاطع ابتدا، میانی و انتهای واگرایی

در شکل (۲۱) پراکنش سرعت متوسط آزمایشگاهی در مقاطع ابتدا، وسط و انتهای واگرایی به ترتیب پراکنش سرعت متوسط عمقی حاصل از نتایج عددی و آزمایشگاهی در ابتدا، وسط و انتهای ناحیه واگرایی مربوط به زاویه واگرایی ۱۱/۳ درجه، زبری همگن و عمق نسبی ۰/۲۵، مقایسه و بدین صورت نتایج مدل عددی ارزیابی و درستی سنجی شده است. در شکل‌های (۲۰) تا (۲۵) پراکنش متوسط سرعت عمقی به دست آمده از نتایج مدل آزمایشگاهی و مدل عددی در مقطع‌های ابتدا، وسط و انتهای ناحیه واگرایی به ازای میزان مختلف عمق نسبی نشان داده شده است.

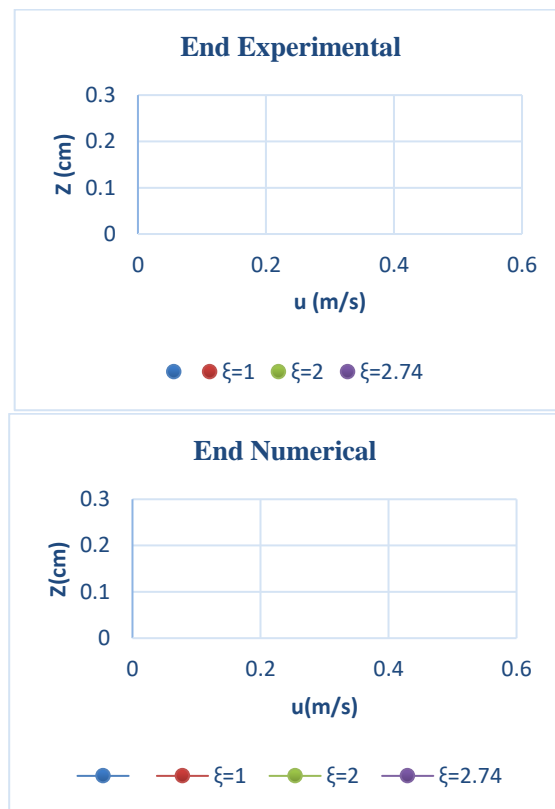


Fig. 19 The effect of increasing the roughness on the depth velocity profile at the contact boundary of the main channel to the floodplain at the end of the experiment.

شکل ۱۹ تاثیر افزایش زبری بر روی نیمرخ عمقی سرعت در مرز تماس آبراهه اصلی به سیلابدشت مقطع انتهایی آزمایش ۰/۲۵-ξ-۱۱/۳- NP

به‌طور کلی در مرز سیلابدشت و کانال اصلی ($y=0.4$) نیمرخ سرعت یک روند افزایشی را دنبال می‌نماید. با این حال، بیشینه سرعت در این مکان که در سطح آب رخ می‌دهد نسبت به آبراهه اصلی کاهش یافته است. همانطور که مشاهده می‌گردد، تغییرات زبری بر الگوی جریان در مقطع‌های مرکب بسیار تأثیر گذار است. زیرا وجه تمایز مقاطع مرکب از مقاطع ساده تبادل ممنتم ناشی از جریان‌های گردابی در محل برخورد آبراهه اصلی و سیلابدشت است و با افزایش تغییرپذیری‌های سرعت در این ناحیه، میزان تبادل ممنتم نیز افزایش می‌یابد و در پی آن مقاومت جریان و همچنین شدت جریان عبوری از آبراهه دستخوش تغییر می‌شود.

۳-۳- پراکنش مؤلفه سرعت متوسط عمقی در بررسی تأثیر توأمان زبری و واگرایی سیلابدشت‌ها بر هیدرولیک جریان نایک‌نواخت

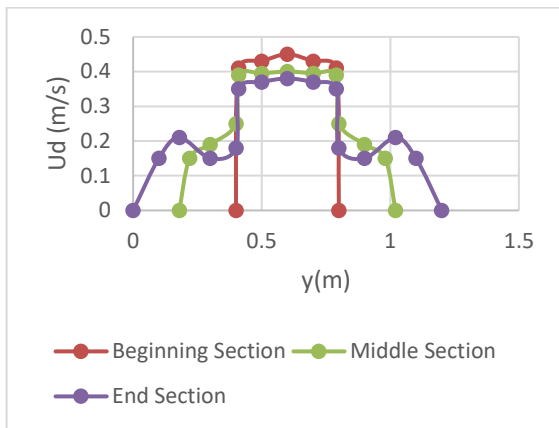
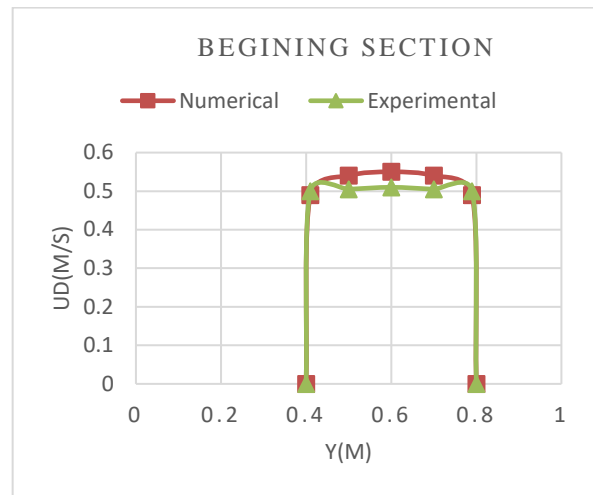


Fig. 22 Mean depth velocity distribution obtained from laboratory model in NP-11.3-1-0.15 experiment

شکل ۲۲ پراکنش سرعت میانگین عمقی حاصل از مدل آزمایشگاهی در آزمایش NP-11.3-1-0.15



(a)

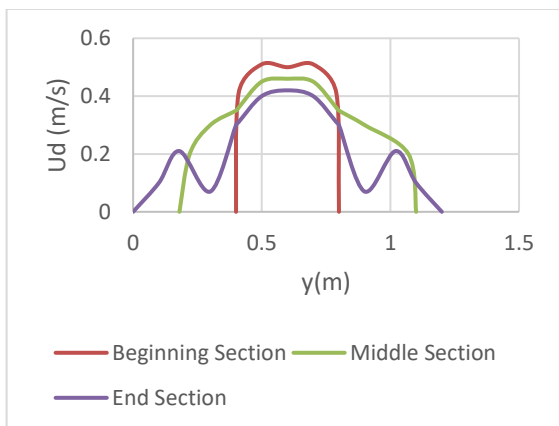
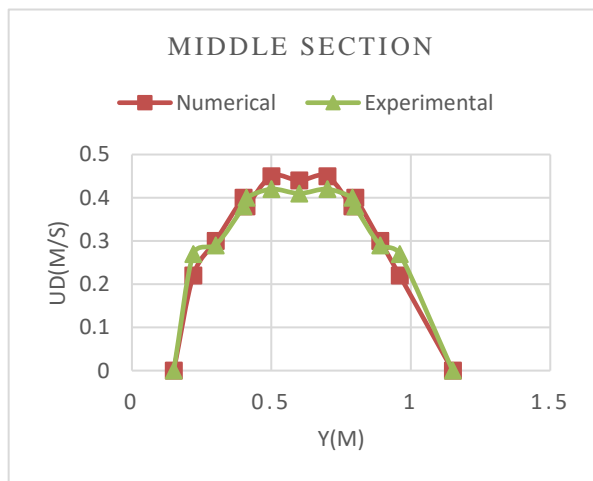


Fig. 23 Mean depth velocity distribution obtained from numerical model in NP-11.3-1-0.15 experiment

شکل ۲۳ پراکنش سرعت میانگین عمقی حاصل از مدل عددی در آزمایش NP-11.3-1-0.15



(b)

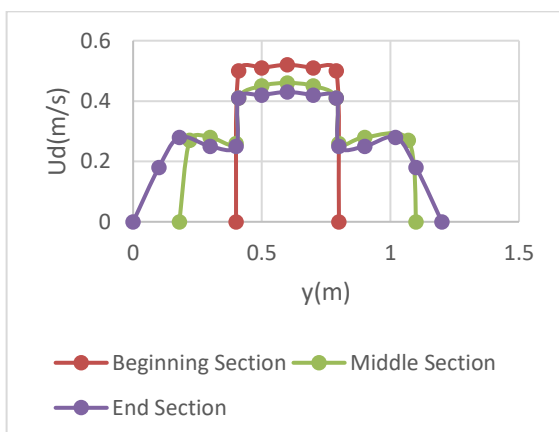
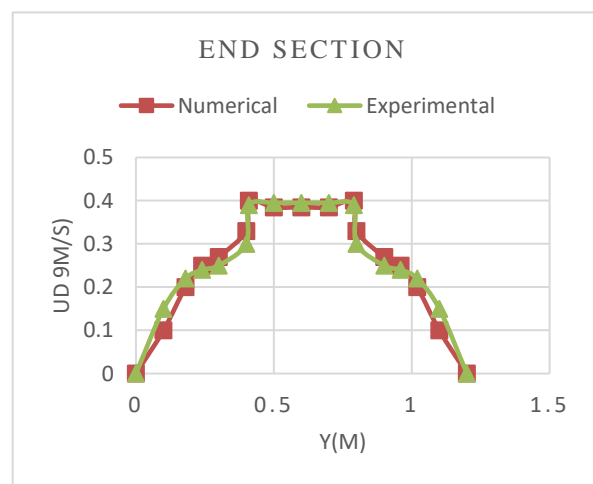


Fig. 24 Mean depth velocity distribution obtained from laboratory model in NP-11.3-1-0.25 experiment

شکل ۲۴ پراکنش سرعت متوسط عمقی حاصل از مدل آزمایشگاهی در آزمایش NP-11.3-1-0.25



(c)

Comparison of numerical and laboratory average velocity distributions in sections (a) beginning, (b) middle (c) end of divergence

شکل ۲۱ مقایسه پراکنش سرعت میانگین عمقی عددی و آزمایشگاهی در مقاطع (a) ابتدا، (b) میانی، (c) انتهای واگرایی

با توجه به نتایج عددی و آزمایشگاهی می توان اظهار نمود که در عمق‌های نسبی بالا ($Dr = 0.35$) جریان جانبی که وارد سیلاب‌دشته‌ها می شود موجب می شود که سرعت به-طور موضعی در نزدیکی دیواره های آبراهه اصلی کاهش یابد. این مسأله در قسمت دوم ناحیه واگرایی قوی تر می باشد. در شکل های (۲۸) تا (۲۹) پراکنش میانگین سرعت عمقی حاصل از مدل های آزمایشگاهی و عددی مربوط به زاویه واگرایی $11/3$ درجه و عمق نسبی 0.25 ، به ازای میزان مختلف زبری آورده شده است.

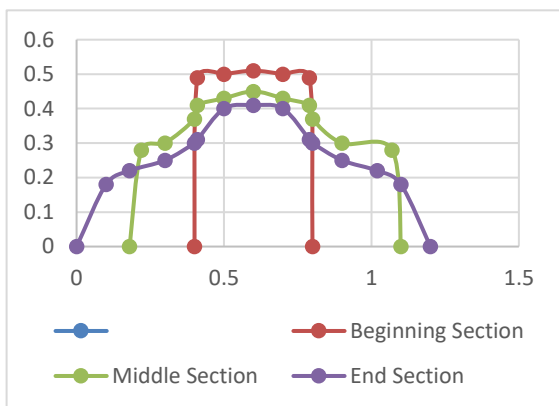


Fig. 28 Medium depth velocity distribution obtained from the laboratory model in the experiment NP-11.3-1-0.25

شکل ۲۸ پراکنش سرعت میانگین عمقی حاصل از مدل آزمایشگاهی در آزمایش NP-۱۱/۳-۱-۰/۲۵

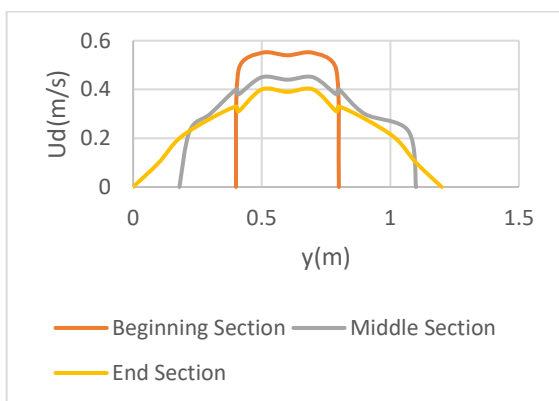


Fig. 29 Medium depth velocity distribution obtained from numerical model in experiment NP-11.3-1-0.25

شکل ۲۹ پراکنش سرعت میانگین عمقی حاصل از مدل عددی در آزمایش NP-۱۱/۳-۱-۰/۲۵

همانطور که در شکل (۳۲) و (۳۳) ملاحظه می‌شود پراکنش میانگین سرعت عمقی در عرض آبراهه اصلی تاحدودی یکنواخت بوده ولی در نزدیکی جداره ها گرادیان به نسبت بزرگی وجود دارد. تنها در محل اتصال آبراهه

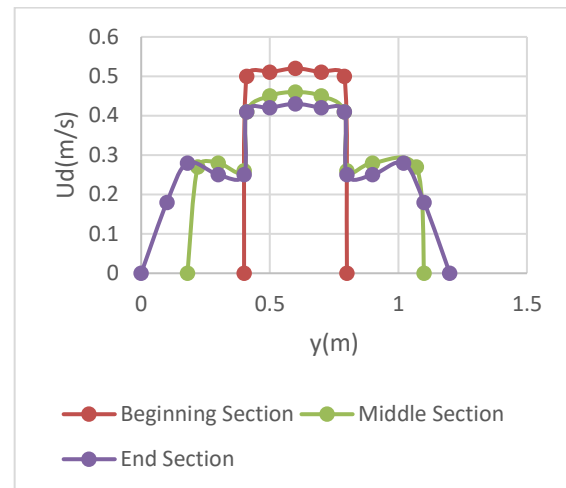


Fig. 25 Mean depth velocity distribution obtained from numerical model in NP-11.3-1-0.25 experiment

شکل ۲۵ پراکنش سرعت میانگین عمقی حاصل از مدل عددی در آزمایش NP-11.3-1-0.25

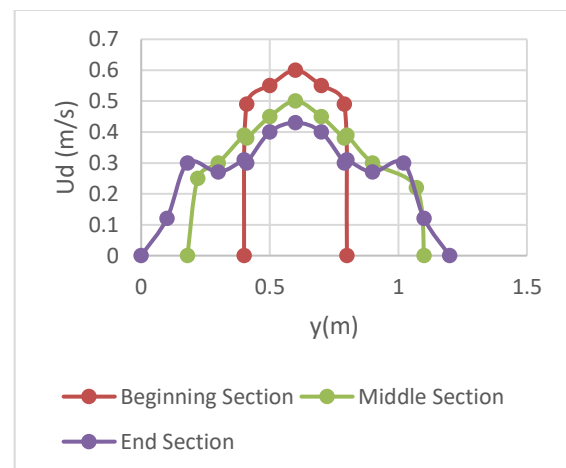


Fig. 26 Mean depth velocity distribution obtained from laboratory model in NP-11.3-1-0.35 experiment

شکل ۲۶ پراکنش سرعت میانگین عمقی حاصل از مدل آزمایشگاهی در آزمایش NP-11.3-1-0.35

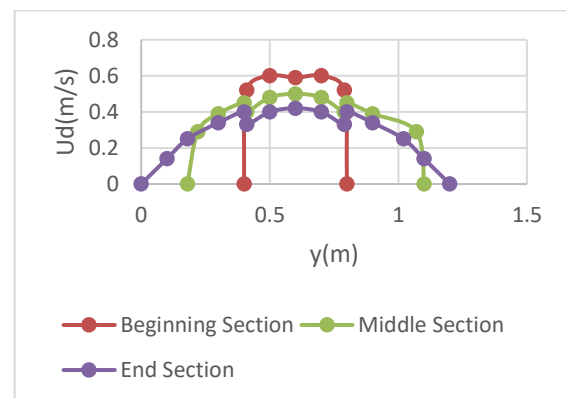


Fig. 27 Mean depth velocity distribution obtained from numerical model in experiment NP-11.3-1-0.35

شکل ۲۷ پراکنش سرعت میانگین عمقی حاصل از مدل عددی در آزمایش NP-11.3-1-0.35

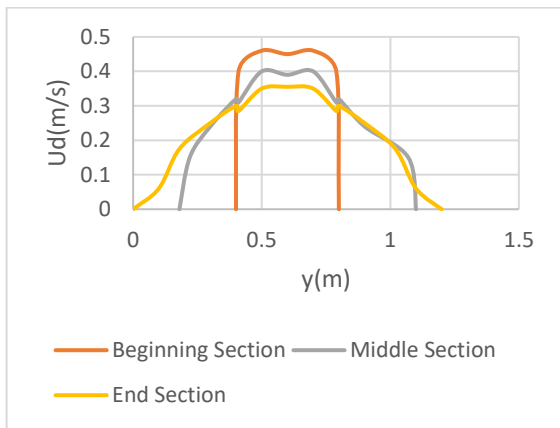


Fig. 33 Medium depth velocity distribution obtained from numerical model in NP-11.3-2.74-0.25

شکل ۳۳ پراکنش سرعت میانگین عمقی حاصل از مدل عددی در آزمایش NP-۱۱/۳-۲/۷۴-۰/۲۵

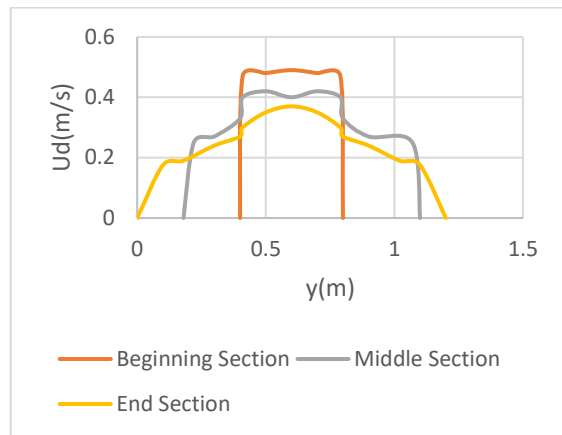


Fig. 30 Medium depth velocity distribution obtained from the laboratory model in the experiment NP-11.3-2-0.25

شکل ۳۰ پراکنش سرعت میانگین عمقی حاصل از مدل آزمایشگاهی در آزمایش NP-۱۱/۳-۲-۰/۲۵

اصلی به سیلابدشت تغییرپذیری های سرعت شدید است و پس از ورود جریان به سیلابدشتها مقدار سرعت به طور ناگهانی کاهش می یابد. همچنین با افزایش زبری نسبی، گرادیان سرعت در محل اتصال آبراهه اصلی به سیلابدشت افزایش می یابد.

۴-۳- پراکنش عرضی مؤلفه طولی سرعت در عمق در بررسی تأثیر توأمان زبری و واگرایی سیلابدشتها بر هیدرولیک جریان نایکنواخت در شکل (۳۴) پراکنش عرضی سرعت آزمایشگاهی و عددی در مقطع های میانی و انتهایی محدوده واگرایی مربوط به زاویه واگرایی ۱۱/۳ درجه و زبری همگن در عمق نسبی ۰/۳۵ مورد بررسی شده است.

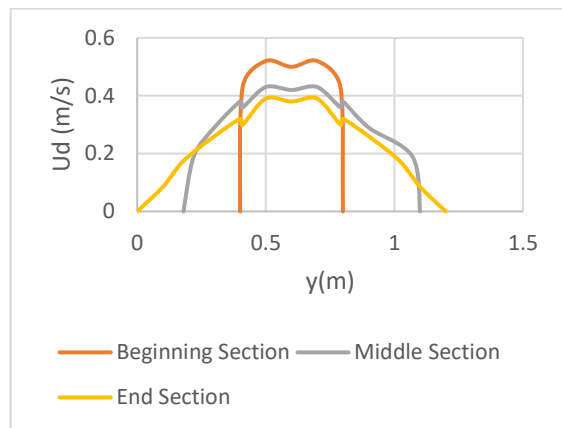


Fig. 31 Mean depth velocity distribution obtained from numerical model in NP-11.3-2-0.25 experiment

شکل ۳۱ پراکنش سرعت میانگین عمقی حاصل از مدل عددی در آزمایش NP-۱۱/۳-۲-۰/۲۵

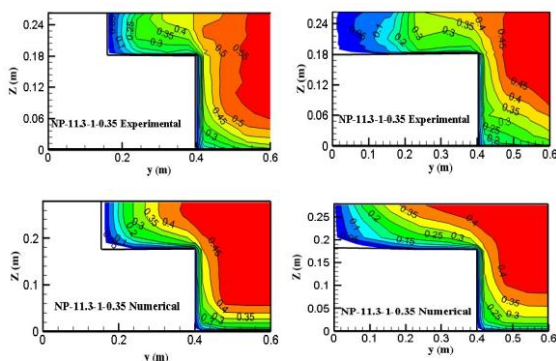


Fig. 34 Comparison of transverse velocity distribution obtained from numerical model with laboratory results in NP-11.3-1-0.35 experiment.

شکل ۳۴ مقایسه پراکنش عرضی سرعت حاصل از مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی در آزمایش NP-11.3-1-0.35

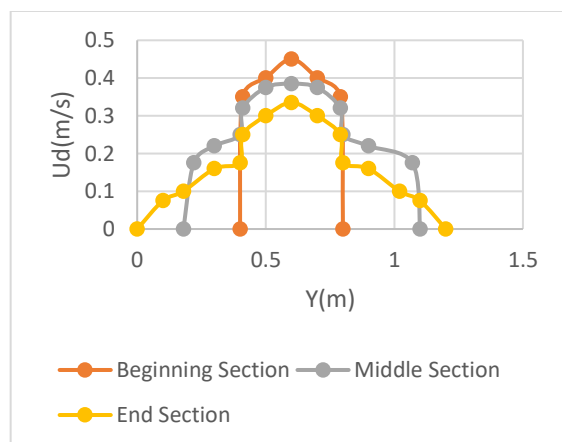


Fig. 32 Medium depth velocity distribution obtained from the laboratory model in the experiment Np-11.3-2.74-0.25

شکل ۳۲ پراکنش سرعت میانگین عمقی حاصل از مدل آزمایشگاهی در آزمایش NP-۱۱/۳-۲/۷۴-۰/۲۵

عددی مربوط به دو زاویه واگرایی ۵/۷ و ۱۱/۳ درجه، عمق نسبی ۰/۳۵ و زبری نسبی ۲/۷۴ مقایسه شده است.

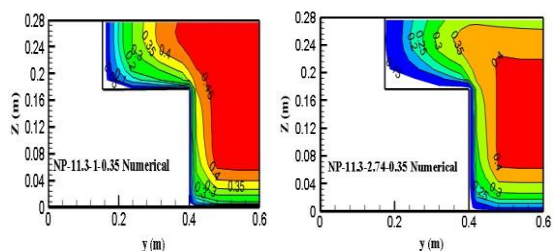


Fig 35 Investigation of the effect of increasing roughness on the transverse velocity distribution

شکل ۳۵ بررسی تاثیر افزایش زبری بر روی پراکنش عرضی سرعت

نتایج نشان می‌دهد که سرعت در مقطع میانی بیشتر از مقطع انتهایی بوده و افزایش عرض سیلابدشتهها در طول آبراهه موجب کاهش سرعت می‌شود. در شکل (۳۵) اثر افزایش زبری سیلابدشتهها بر روی پراکنش عرضی مؤلفه طولی سرعت نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود افزایش زبری نسبی موجب مقاومت جریان و در نتیجه کاهش میزان سرعت می‌شود.

پس از بررسی اثر افزایش زبری سیلابدشتهها، تاثیر افزایش زاویه واگرایی سیلابدشتهها بر روی پراکنش سرعت در عرض بررسی می‌شود. در شکل (۳۶) نتایج حاصل از مدل

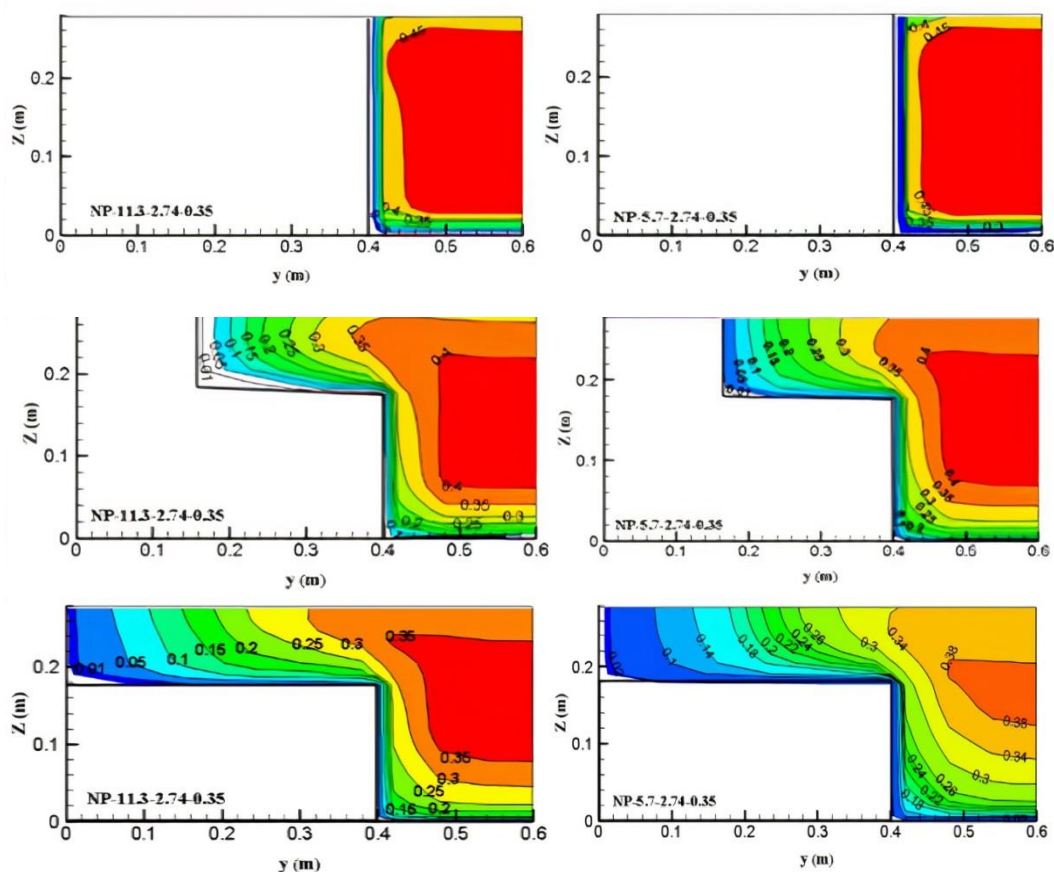


Fig. 36 Investigation of the effect of increasing divergence angle on the transverse velocity distribution in NP-11.3, 5.7-2.74-0.35 experiments

شکل ۳۶ بررسی تاثیر افزایش زاویه واگرایی بر روی توزیع عرضی سرعت در آزمایش‌های NP-11.3, 5.7-2.74-0.35

انتقال جرم در مقطع‌های مرکب غیر منشوری، از طریق بررسی چگونگی پراکنش دبی جریان در طول آبراهه امکان پذیر می‌باشد (Rezaei and Knight, 2011). در شکل (۳۷) درصد نسبت دبی سیلابدشت و آبراهه

۳-۵- درصد دبی تقسیم یافته

انتقال جرم میان آبراهه اصلی و سیلابدشتهها یکی از موضوعات مهمی است که در بحث تبادل ممنتیم میان آبراهه اصلی و سیلابدشت‌ها مطرح می‌باشد. پیش‌بینی

داده شده است.

اصلی به دبی کل جریان در مقابل طول ناحیه واگرایی در آزمایش NP-11.3-1-Dr حاصل از نتایج مدل عددی نشان

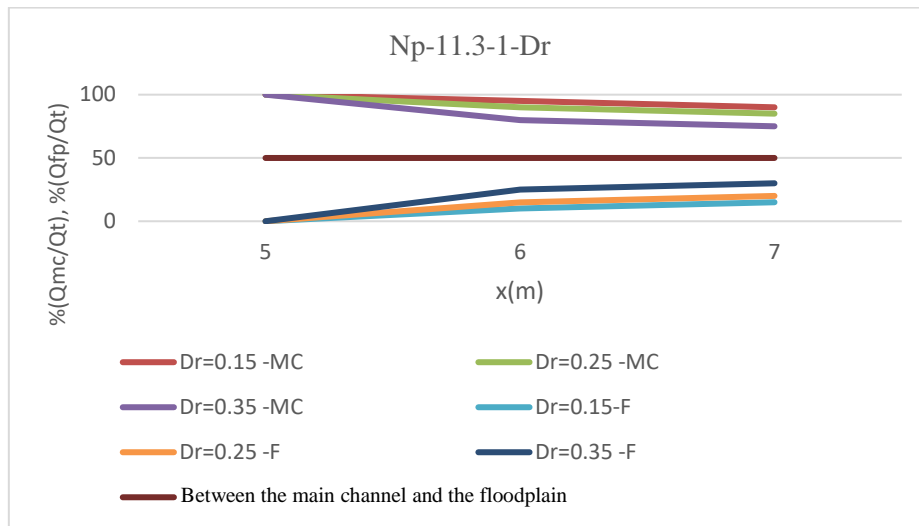


Fig. 37 Investigation of the effect of relative depth increase on split flow due to divergence in NP-11.3-1-Dr experiment

شکل ۳۷ بررسی تاثیر افزایش عمق نسبی بر روی دبی تقسیم یافته در اثر واگرایی در آزمایش NP-11.3-1-Dr

۲- بررسی تاثیر زبری بر روی الگوی جریان نشان داد که به طور کلی با زبر شدن جدار، میزان سرعت در همه ی مقطع های مورد بررسی کاهش یافته است.

۳- الگوی جریان در محل برخورد آبراهه اصلی و سیلابدشت تأثیر بیشتری از زبر شدن جدار می پذیرد.

۴- با افزایش عمق نسبی و یا کاهش زبری نسبی، گرادیان سرعت میان آبراهه اصلی و سیلابدشت ها کاهش می یابد.

۵- افزایش زاویه واگرایی موجب افزایش گرادیان سرعت می شود.

۶- درستی سنجی نتایج حاصل از شبیه سازی سه بعدی جریان با نتایج آزمایشگاهی (Younesi (2013) نشان داد که شبکه بندی و شرایط مرزی مورد استفاده به درستی انتخاب شده است.

۷- در مقطع های مرکب غیر منشوری، در همه ی مقطع ها، به جز در نزدیکی محل اتصال آبراهه اصلی به سیلابدشت ها ($y=0.42$ m) نیمرخ عمقی سرعت از قانون لگاریتمی سرعت پیروی می نماید. در نتایج آزمایشگاهی (Mohanta et al. (2015) نیز به این مورد اشاره شده است.

۸- در عمق های نسبی بالا، اثرگذاری های جریان جانبی به درون سیلابدشت ها باعث کاهش موضعی سرعت در

همان طور که مشاهده می گردد با افزایش عمق نسبی، میزان دبی انتقال یافته توسط سیلابدشت ها افزایش می یابد. همچنین می توان گفت که در عمق های نسبی بالا، پراکنش دبی جریان بصورت غیر خطی می باشد و میزان انتقال جرم در بخش دوم ناحیه واگرایی بیشتر از بخش نخست است. (Rezaei and Knight (2011) در بررسی و ارزیابی های خود بر روی مقطع مرکب با سیلابدشت های همگرا نتایج همانند را ارائه نمودند.

۵- نتیجه گیری

در این تحقیق، الگوی جریان در آبراهه هایی با مقطع های مرکب منشوری و غیر منشوری با استفاده از نرم افزار Flow 3D که قابلیت تجزیه و تحلیل سه بعدی جریان را دارد بررسی شد. به ازای سه زبری نسبی مختلف (۱، ۲ و ۲/۷۴) و نیز سه عمق نسبی (۰/۱۵، ۰/۲۵ و ۰/۳۵) و زاویه های واگرایی ۵/۷ و ۱۱/۳ درجه، تغییرپذیری های مؤلفه طولی سرعت، پراکنش سرعت میانگین عمقی، پراکنش تنش برشی مرزی و نیز دبی انتقال یافته توسط سیلابدشت ها بررسی شد.

۱- با افزایش عرض سیلابدشت ها در طول آبراهه از میزان سرعت کاسته می شود.

Flow Science, Inc. (2008). Flow-3D User Manual V9.3.

Garrote, J., Jimenez, M., Albert, C. and Herero, A. (2021). The Manning's Roughness Coefficient Calibration Method to Improve Flood Hazard Analysis in the Absence of River Bathymetric Data: Application to the Urban Historical Zamora City Centre in Spain, *Journal of Applied Sciences*. 11(19), 67-92.

Hooshmandi, F. (2013). Modeling the transverse distribution of bed shear stress in rivers. Master Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Faculty of Water and Soil Engineering. (in Persian)

Knight, D.W. and Demetriou, J.D. (1983). Flood plain and main channel flow interaction. *Journal of Hydraulic Engineering*. 109(8), 1073-1092.

Kordi, H., Amini, R., Zahiri, A. and Kordi, E. (2015). Improved Shiono and Knight Method for Overflow Modeling. *Journal of Hydrologic Engineering*. 20(12), 04015041.

Mohanta, A., Khatua, K.K. and Patra, K.C. (2015). Flow Modeling in Symmetrically Narrowing Flood Plains. *Aquatic Procedia*. 4, 826-833.

Latifipour, F., Shafaei Bajestan, M., Razavi Nabavi, S. and Saremi, A. (2014). Investigation of the flow pattern downstream of the slope control structures of the upward leakage body using a numerical model, 10th International Congress of Civil Engineering, Tabriz, Iran.

Padhi, E., Patra, K.C. and Khatua, K.K. (2014). Experimental and Validation of Discharge Prediction Approaches in Straight Two Stage Compound Channels, *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, National Conference on Advances in Engineering and Technology, AET 29th March 2014.

Parsaie, A., Yonesi, H.A. and Najafian, S. (2015). Predictive modeling of discharge in compound open channel by support vector machine technique. *Modeling Earth Systems and Environment*. 1(1), <https://doi.org/10.1007/s40808-015-0002-9>.

Rezaei, B. and Knight, D.W. (2011). Overbank Flow in Compound Channels with Non-prismatic Floodplains. *Journal of Hydraulic Engineering*. 137(8), 815-824.

Sarvari, M., Amiri Tokaldany, E. and Rostami, M. (2015). Evaluation of FLOW-3D Numerical Model in Predicting the Morphological Changes at River

مجاورت دیواره های آبراهه اصلی و به‌ویژه در نیمه دوم منطقه واگرایی می‌شود. در نتایج آزمایشگاهی Rezaei and Knight (2011) نیز به این مطلب اشاره شده است.

۵- فهرست نشانه‌ها

| | |
|----------|--------------------------------------|
| θ | زاویه واگرایی (degree) |
| D_r | عمق نسبی |
| Q | دبی ($\frac{m^3}{s}$) |
| ξ | قطر نسبی |
| P | کد نمایانگر آزمایش‌های آبراهه منشوری |
| τ | تنش برشی ($\frac{N}{m}$) |
| ud | بردار سرعت ($\frac{m^3}{s}$) |

۶- منبع‌ها

Ahmad, M., Ghani, U., Anjum, N. and Ahmed, A. (2020). Investigating the Flow Hydrodynamics in a Compound Channel with Layered Vegetated Floodplains, *Civil Engineering Journal*. 6(5), 860-876.

Al-Khatib, I.A. and Göğüş, M. (2015). Boundary shear stress in asymmetric rectangular compound channels. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*. 38(2), 278-292.

Brahmand, N. and Shojaei, B. (2014). Numerical modeling of Salman Farsi dam overflow with D3-Flow software to investigate the occurrence of cavitation phenomenon, the first national conference on architecture, civil engineering and urban environment, Hamedan.

Bousmar, D., Proust, S. and Zech, Y. (2006). Experiments on the flow in a enlarging compound channel. *Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics*. Sep. 6-8. Lisbon. Portugal.

Das, B.S. and Khatua, K.K. (2018). Flow Resistance in a Compound Channel with Diverging and Converging Floodplains, *Journal of Hydraulic Engineering*. 144(8), 04018051. doi:10.1061/(asce)hy.1943-7900.0001496.

Dolati Mahtaj, M. and Rezaei, B. (2022). Prediction of Percentage Discharge Distribution in Non-Prismatic Compound Channels with Skewed Floodplains, 12th International River Engineering Conference, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

Zahiri, A. and Azamathulla, H.M. (2014). Comparison between linear genetic programming and MS tree models to predict flow discharge in compound channels. *Neural Computing and Applications*. 24(2), 413-420.

Junction, *Journal of Hydraulics*. 10(1), 53-63. (in Persian)

Younesi, H. (2013). Study of bed load transfer in the main duct of composite canal with non-prismatic flood. PhD Thesis, University of Tehran, Department of Irrigation and Development. (in Persian)