

Research Paper

Investigation of Velocity Changes in a Straight Asymmetric Rectangular Composite Channel Using Flow-3D Software

Masoud Haji Por¹,Mehdi Behdarvandi Askar^{2*},Ehsan Parsi³,Mohammad
Ansari Ghojghar⁴

¹ Master of Science, Department of Offshore Structures, Faculty of Marine Engineering, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran, ms.hajipour@gmail.com

² Assistant Professor, Department of Offshore Structures, Faculty of Marine Engineering, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran,

(*Corresponding Author: sazehenteghal@yahoo.com)

³ Study Expert, Arvand Water and Energy Consulting Engineers Company, Ahvaz, Iran, ehsan-parsi@iauhvaz.ac.ir

⁴ Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, ansari.ghojghar@ut.ac.ir



10.22125/IWE.2021.257258.1444

Received:

October.15.2020

Accepted:

February.12.2021

Available online:

October 5, 2022**Keywords:****Flood plain, Flow3D software, main channel, rectangular composite channel.****Abstract**

In this study, the flow inside a rectangular composite channel was studied by finite volume numerical method, for which Flow-3d software was used. Comparing the results of the numerical model with the laboratory results, it was concluded that the numerical model can well simulate the flow inside a rectangular composite channel. Performing numerical modeling of suitable boundary conditions, a grid with the desired dimensions and a suitable turbulence model was obtained to describe the hydraulic flow inside the rectangular composite channel. Three turbulence models of the two equations K- ϵ , RNG K- ϵ and K- ω and one turbulence model of large vortices LES were used. Also, the effect of geometric parameters and flow on the average velocity in the composite channel was investigated. The results obtained from this study show that with increasing the width of the floodplain at different depths, the flow velocity has decreased, so that in the value of $= 0.75 (y_f / H)$, with decreasing the flood width of the right plain from 5.71 to 13.33 cm, the ratio of flow velocity in the section of the main channel to the average velocity has also increased by 51%. It should be noted that with increasing the depth of the floodplain, the flow velocity has decreased. Also, with increasing the height of the main channel wall, the flow velocity decreases.

1. Introduction

Composite channels are hydraulic sections that consist of two main sections: "main channel" and "plain flood". The main channel is the part whose bottom level is lower and generally has a general cross-section close to a rectangle or a trapezoid. This section conveys normal runoff and base flow, which

* **Corresponding Author:** Mehdi Behdarvandi Askar

Address: Department of Offshore Structures, Faculty of Marine Engineering, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran.

Email: sazehenteghal@yahoo.com

Tel: 09166169813

most of the time flows in the river. On the other hand, flood plain is a part of the composite section that has a floor level much higher than the main channel and is located on one side or on both sides of the main channel. This section does not play a role in the flow transfer under normal conditions and only comes into action in flood conditions, so it generally has a significant vegetation cover and as a result, it has much more roughness than the main channel in terms of hydraulics.

2. Materials and Methods

In this study, the flow equations (Navier-Stokes) were simulated in two phases with the VOF method. Also, in the simulation process, K- ϵ , RNG K- ϵ and K- ω two-equation turbulence models and a large eddy turbulence model (LES) were used to describe the flow turbulence. In this research, the results of the research of Al-khatib & Hassan (2013) were used for the purpose of validating and calibrating the numerical method.

3. Results

In this research, the flow inside the rectangular composite channel was studied with finite volume numerical method, for which Flow-3d software was used. Three two-equation K- ϵ , RNG K- ϵ and K- ω turbulence models and a LES large eddy turbulence model were used. The results showed that with the increase in the flood width of the plain at different depths, the flow speed decreased, so that the value of ($y_f/H=0.75$), with the decrease in the width of the flood plain on the right side from 5.71 to 13.33 cm. The ratio of flow speed in the section of the main channel to the average speed has also increased by 51%.

4. Discussion and Conclusion

In the simulation of the flow inside the composite channel, four types of networks with different dimensions were used. According to the numerical results of the depth of flow in different sections (hydraulic flow) related to the network of M1 and M2 blocks, they did not match well with the laboratory data. While in the simulation done with M3 and M4 block network, the results are in good agreement with the experimental data and it can be concluded that the results are independent of the network dimensions. The results obtained from this research show that with the increase in flood width, the flow speed has decreased in different depths. The results obtained from this research show that with the increase in flood width, the flow speed has decreased in different depths. Also, with the increase in the height of the wall of the main channel, the flow speed decreases.

5. Six important references

1. Al-Khatib, I. A., Hassan, H. (2013). Development of empirical regression-based models for predicting mean velocities in asymmetric compound channels. *Flow Measurement and Instrumentation*, 33, 77-87.
2. Mohanta, A. (2014). "Flow modelling of a Non-Prismatic compound channel By Using CFD."; Doctoral dissertation. NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY. ROURKELA.
3. Mohanta, A., Khatua, K. K. and Patra, K. C. (2015). Flow modeling in symmetrically narrowing flood plains. *Aquatic Procedia*. 4, 826-833.
4. Naik, B., Khatua, K., Sahoo, R. and Satapathy, S. S. (2014). Flow analysis for a converging compound channel. *Int. J. Appl. Eng. Res.* 9(2): 133-138.
5. Parsaie, A. (2016). Analyzing the distribution of momentum and energy coefficients in compound open channel. *Modeling Earth Sys. Environ.* 2, 1-5.
6. Shiono, K. and Knight, D. W. (1991). Turbulent open-channel flows with variable depth across the channel. *J. Fluid Mech.* 222, 617-646.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

بررسی تغییرات سرعت در کانال مرکب مستطیلی نامتقارن مستقیم با استفاده از نرم افزار Flow-3D

مسعود حاجی پور^۱، مهدی بهداروندی عسکر^{۲*}، احسان پارسی^۳، محمد انصاری قوجقار^۴

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۷/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۴

مقاله پژوهشی

چکیده

در این تحقیق، جریان درون کانال مرکب مستطیلی، با روش عددی حجم محدود مورد مطالعه قرار گرفت که بدین منظور از نرم افزار Flow-3d استفاده شد. با مقایسه‌ی نتایج مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی نتیجه گرفته شد که مدل عددی بخوبی می تواند جریان درون کانال مرکب مستطیلی را شبیه‌سازی کند. با انجام مدل‌سازی‌های عددی شرایط مرزی مناسب، مش‌بندی با ابعاد مورد نظر و مدل مناسب آشفتگی برای توصیف هیدرولیک جریان درون کانال مرکب مستطیلی بدست آمد. سه مدل آشفتگی دو معادله‌ای $K-\epsilon$ ، $RNG K-\epsilon$ و $K-\omega$ و یک مدل آشفتگی گردابه‌های بزرگ LES مورد استفاده قرار گرفت. همچنین اثر پارامترهای هندسی و جریان بر میزان سرعت متوسط در کانال مرکب بررسی شد. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که با افزایش عرض سیلاب‌دشت در عمق‌های مختلف سرعت جریان کاهش یافته است، به طوری که در مقدار $(y_f/H)=0/75$ ، با کاهش عرض سیلاب دشت سمت راست از $5/71$ به $13/33$ سانتیمتر نسبت سرعت جریان در مقطع کانال اصلی به سرعت متوسط نیز ۵۱ درصد افزایش یافته است. لازم به ذکر است که با افزایش عمق سیلاب‌دشت سرعت جریان کاهش یافته است. همچنین با افزایش ارتفاع دیواره کانال اصلی سرعت جریان کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: دشت سیلابی، کانال مرکب مستطیلی، کانال اصلی، نرم افزار Flow3D.

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه عمران سازه‌های دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران.

^۲ استادیار، گروه عمران سازه‌های دریایی، دانشکده مهندسی دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران.

^۳ کارشناس مطالعات، شرکت مهندسی مشاور آب و انرژی اروند، اهواز، ایران.

^۴ گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

مقدمه

کانال‌های مرکب، مقاطع هیدرولیکی می‌باشند که از دو بخش اصلی «کانال اصلی» و «سیلاب‌دشت» تشکیل شده‌اند. کانال اصلی بخشی است که تراز کف آن پایین‌تر است و عموماً دارای مقطع کلی نزدیک به مستطیل یا دوزنقه می‌باشد. این بخش رواناب‌های معمول و دبی پایه را، که در اکثر مواقع در رودخانه جریان دارند، منتقل می‌کند. سیلاب-دشت در مقابل، قسمتی از مقطع مرکب است که دارای تراز کف به مراتب بالاتر از کانال اصلی است و در یک طرف یا در طرفین کانال اصلی واقع می‌شود. این بخش در شرایط معمول در انتقال جریان نقشی ندارد و تنها در شرایط سیلابی وارد عمل می‌شود لذا عموماً دارای پوشش گیاهی قابل توجهی می‌باشد و در نتیجه از نظر هیدرولیکی از زبری به مراتب بیشتری نسبت به کانال اصلی برخوردار است. با توجه به تعریف فوق روشن است که مقطع مرکب، مقطع هیدرولیکی معمول بسیاری از رودخانه‌ها در دشت‌های آبرفتی است، یعنی مناطقی که از دیرباز مهد زندگی بشر بوده‌اند (سفیدکوهی و همکاران، ۱۳۹۷).

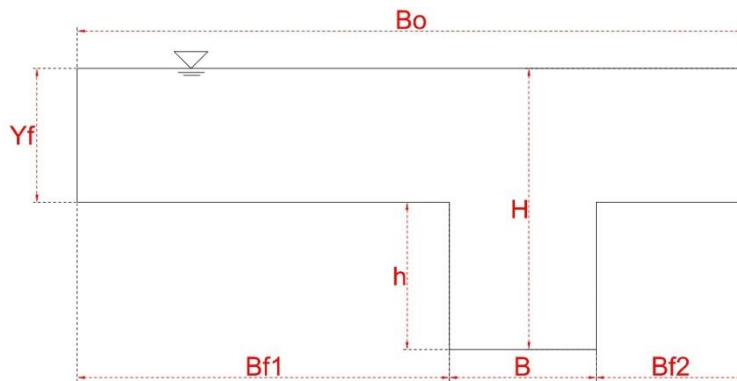
(Shiono and Knight (1991) با متوسط‌گیری از معادلات ناویر-استوکس، به مدل‌سازی جریان ثانویه در مقاطع مرکز با جریان دائمی و یکنواخت پرداختند. Mohanta et al, (2014) با استفاده از مدل عددی fluent به پیش بینی جریان در مقاطع مرکب غیر منشوری پرداختند. ایشان مدل آشفتگی LES را برای مدل‌سازی به کار گرفتند و از نتایج آزمایشگاهی تحقیق خود برای صحت‌سنجی مدل عددی استفاده کردند. (Naik et al, (2014) با اجرای آزمایش‌هایی در یک مقطع مرکب با سیلاب‌دشت غیرمنشوری، هیدرولیک جریان را بررسی کردند. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که سرعت متوسط عمقی و تنش برشی مرزی در طول همگرایی کانال افزایش می‌یابد. Mohanta et al, (2015) با استفاده از مدل عددی Fluent به شبیه سازی هیدرولیک جریان در مقاطع مرکب غیرمنشوری پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل LES قادر به مدل‌سازی آشفتگی در مقاطع مرکب با سیلاب دشت های همگراست و نیز مدل عددی قادر به پیش

بینی دقیق سرعت متوسط عمقی و تنش برشی مرزی خواهد بود. (Parsaie (2016) در تحقیق خود نتیجه گرفت که اثر تغییر مقطع سیلاب‌دشت منجر به تبادل مومنوم اضافی و تبادل آشفتگی بین کانال اصلی و سیلاب‌دشت بر شرایط هیدرولیکی جریان اثر محسوسی دارد. او همچنین در پژوهش خود نتیجه گرفت که در این شرایط دو فرآیند مهم هیدرولیکی رخ می‌دهد. یکی تبادل آشفتگی بین کانال اصلی و سیلاب‌دشت و دیگری تبادل جرم در طول مسیر حرکت جریان مابین جزء مقاطع می‌باشد. بهادری و بهداروندی عسکر (۱۳۹۴) با استفاده از مدل عددی Flow 3D تنش برشی را در کانال مرکب مستطیلی بررسی کردند و نتیجه گرفتند که افزایش زبری نسبی سبب افزایش تنش برشی و درصد تنش برشی ظاهری می‌شود. ظهیری (۱۳۹۵) با استفاده از حل عددی مدل شیونو و نایت به روش اجزا محدود، توزیع عرضی سرعت در رودخانه میناب را واسنجی و توزیع عرضی تنش برشی برای سیلاب سال ۱۳۷۴ را شبیه‌سازی کرد و نتیجه گرفت وضعیت فرسایش و رسوب‌گذاری در عرض رودخانه بر اساس تنش-های برشی به دست آمده از مدل ریاضی به واقعیت بسیار نزدیک است. نجفیان و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از مدل عددی FLOW3D و شبیه‌سازی آزمایشگاهی، خصوصیات جریان در کانال منشوری با زبری ناهمگن را شبیه‌سازی کردند و نتیجه گرفتند که افزایش زبری دشت سیلابی سبب کاهش سرعت متوسط و تشدید گرادپان تنش برشی مرزی در محل اتصال مقطع اصلی و دشت سیلابی می‌شود. قهرمان‌زاده و همکاران (۱۳۹۷)، به بررسی عددی اثر زاویه همگرایی سیلاب دشت بر سرعت جریان در مقطع عرضی کانال های مرکب پرداختند. همچنین ایشان به اثر زاویه همگرایی سیلاب دشت‌ها بر میزان سرعت متوسط جریان عبوری با بهره‌گیری از یک روش حل عددی پرداختند. برای شبیه‌سازی مدل‌ها از نرم‌افزار FLOW3D استفاده شد و تغییرات سرعت متوسط برای ۳ دبی جریان ورودی مختلف مطالعه شد. ولی زاده و آرمان (۱۳۹۷)، در پژوهش خود با عنوان، شبیه‌سازی سه بعدی محدوده‌های ناشی از سرعت در کانال مرکب مستطیلی به کمک نرم‌افزار Ansys

مواد و روش‌ها

در شکل (۱) شماتیک کانال مرکب نامتقارن نشان داده شده است. در این پژوهش معادلات جریان (ناویراستوکس) به صورت دو فازی با روش VOF شبیه‌سازی گردید. همچنین در فرآیند شبیه‌سازی از مدل‌های آشفتگی دو معادله‌ای K-ε، RNG K-ε و K-ω و یک مدل آشفتگی گردابه‌های بزرگ (LES) جهت توصیف آشفتگی جریان استفاده گردید. در تحقیق حاضر از نتایج تحقیقات Al-khatib & Hassan, (2013) به منظور صحت سنجی و کالیبراسیون روش عددی، استفاده شد که پژوهش ایشان بر روی کانال مرکب نامتقارن مستطیلی صورت گرفت

Fluent به مطالعه کانال مرکب پرداختند. در تحقیق حاضر، کارایی مدل عددی سه بعدی Ansys Fluent در شبیه‌سازی پارامترهای مختلف هیدرولیکی برای کانال مرکب مستطیلی با بسترهای صاف و زبر مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق کوشش گردیده است که اثر پارامترهای هندسی کانال مرکب در حالت نامتقارن بر اساسی‌ترین عامل هیدرولیکی جریان (سرعت و سرعت متوسط) مورد بررسی قرار گیرد. بخش زیادی از تحقیقات انجام شده در کانال مرکب در مقاطع مرکب متقارن انجام شده است و مطالعات اندکی بر روی مقاطع مرکب نامتقارن انجام گرفته است. با توجه به اینکه مقطع مرکز نامتقارن نزدیک‌ترین مقطع به مقاطع واقعی رودخانه‌هاست لذا با انتخاب و بررسی حالات نامتقارن کانال‌های مرکب میتوان نتایج واقعی‌تری را برای تعمیم‌دادن به هیدرولیک رودخانه بدست آورد.



شکل (۱): نمایی از مدل آزمایشگاهی مورد مطالعه

است. در این نرم افزار، معادلات ناویراستوکس متوسط گیری شده در زمان برای تحلیل سه بعدی در حالت سیال تراکم ناپذیر در دستگاه مختصات کارتزین (X, y, z) استفاده شده که به صورت زیر می باشند و سپس روش حجم سیال (Volume of Fluid) جهت تسهیل حل معادلات به کار گرفته شده است. در نهایت این معادلات به صورت زیر قابل ارائه می باشد (قاسم‌زاده، ۱۳۹۶):

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u A_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v A_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w A_z)}{\partial z} = R_{SOR}$$

Flow-3D یک نرم افزار مناسب برای حل مسائل دینامیک سیالات می‌باشد و قابلیت تحلیل سه بعدی جریان را دارد. معادلات حاکم در این نرم‌افزار، معادلات ناویر استوکس متوسط گیری شده در زمان بوده و برای حل ترم‌های تلاطم حاصل از انتگرال گیری زمانی از ۵ مدل مختلف تخمین آشفتگی استفاده می‌کند. در تحقیق حاضر به منظور شبیه‌سازی میدان جریان از نرم‌افزار Flow-3D استفاده شده

معادلات مومنوم : چشمه V_F ، کسری از حجم مرتبط با جریان و P فشار می باشند. u' سرعت نوسانی و \bar{u} سرعت متوسط زمانی در جهت X به همین ترتیب ترم های v و w در جهت های Y و Z می باشند. هنگام شبیه سازی جریان با سطح آزاد تعدادی از سلول های شبکه که در تماس با سطح جریان می باشند نیمه پر هستند. تابع حجم سیال کمیتی به نام F است که نشانگر جزئی از سلول شبکه ی محاسباتی بوده که توسط سیال پر شده است. استفاده از این تابع علاوه بر در نظر گرفتن مناسب سطح آزاد امکان شبیه سازی جریان با سطوح تر و خشک متناوب، را نیز فراهم می کند. برای توصیف ترم های آشفتگی مدل های مختلفی بیان شده است. در این مقاله سه مدل تلاطم دو معادله ای ($K-\epsilon$ ، $RNG K-\epsilon$ ، $K-\omega$) و یک مدل گردابه های بزرگ (LES) مورد استفاده قرار گرفته است.

مدل $k-\epsilon$:

در این مدل ترم L_m ، به صورت $L_m = \frac{K^2}{\epsilon}$ تعریف می گردد که K معرف انرژی جنبشی مولفه های آشفتگی سرعت و ϵ نرخ استهلاک انرژی می باشد. ترم های K و ϵ مطابق روابط ۱۶ و ۱۷ تعریف می گردند

$$\frac{\partial(\rho\epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial X_j}(\rho U_j \epsilon) = \frac{\partial}{\partial X_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial X_j} \right] + \frac{\epsilon}{k} (C_{\epsilon 1} P_k - C_{\epsilon 2} \rho \epsilon + C_{\epsilon 1} P_{kb}) \quad (10)$$

مدل RNG :

در این مدل معادله انرژی جنبشی مطابق مدل $K-\epsilon$ می باشد اما مقدار ضرایب σ_ϵ و $C_{\epsilon 2}$ در معادله ی ۱۷ تغییر کرده و همچنین ضریب $C_{\epsilon 1}$ نیز ثابت نیست و تابعی از P_k (آشفتگی ناشی از نیروهای ویسکوزیته) می باشد.

معادلات مومنوم : $\rho V_F \frac{\partial u}{\partial t} + \rho \left(u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -V_F \frac{\partial P}{\partial x} + \rho V_F G_x + w s x - \rho V_F \left(\frac{\partial}{\partial x} (A_x \tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_x \tau_{xy}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_x \tau_{xz}) \right)$

$$u = \bar{u} + u' \quad (3)$$

$$v = \bar{v} + v' \quad (4)$$

$$w = \bar{w} + w' \quad (5)$$

$$\tau_{xx} = -2\mu \left[\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{1}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right] \quad (6)$$

$$\tau_{xy} = -\mu \left[\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right] \quad (7)$$

$$\tau_{xz} = -\mu \left[\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} \right] \quad (8)$$

روابط (۱) و (۲) به ترتیب معادله پیوستگی و معادله مومنوم می باشند. لازم به ذکر است که رابطه (۲) معادله مومنوم در راستای X می باشد و در جهت Y و Z نیز به همین ترتیب می باشند که در آن مولفه های سرعت در راستاهای (x, y, z) ، $w s x$ تنش برشی دیوار، (A_x, A_y, A_z) کسری از مساحت مرتبط با جریان، (G_x, G_y, G_z) شتاب جرمی، ρ چگالی سیال، $R S O R$ ترم

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial X_j}(\rho U_j k) = \frac{\partial}{\partial X_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial X_j} \right] - \rho \epsilon + P_k + P_{kb} \quad (9)$$

که در روابط فوق $C_{\epsilon 1}$ و $C_{\epsilon 2}$ ضرایب تجربی است، σ_k و σ_ϵ نیز به ترتیب اعداد پرانتل و اشمیت آشفته می باشند، ترم P_k بیانگر تلاطم ناشی از نیروهای ویسکوزیته است و ترم های P_{kb} و $P_{\epsilon b}$ بیانگر اثرات نیروهای شناوری می باشد.

مدل LES:

این روش بر اساس این فرض است که مقیاس های مربوطه در جریان های متلاطم را می توان به دو جزء مقیاس بزرگ و مقیاس کوچک (زیر شبکه) تقسیم کرد. فرض می شود که این تقسیم، اثر قابل توجهی بر تغییر شکل حرکت متلاطم مقیاس بزرگ ندارد. عموماً حرکت های مقیاس بزرگ بسیار پر انرژی تر از حرکت های مقیاس کوچک بوده و سهم اصلی را در انتقال مقادیر بقایی دارد. LES تلاش می کند تا این حرکت های مقیاس بزرگ را دقیق تر از حرکت های مقیاس کوچک شبیه سازی کند. اعتقاد بر این است که مقیاس های کوچک تلاطم دارای مشخصه های عمومی تری از مقیاس های بزرگ هستند که مدلسازی آنها را ساده می کند. بنابراین در LES حرکت های مقیاس بزرگ دقیق تر حل می شود و حرکت های مقیاس کوچک (عدد موجی بالا) به جای حل شدن، مدلسازی می شود. در LES، معادلات حاکم، معادلات ناویر-استوکس فیلتر شده می باشند و یک مدل اغتشاشی برای ارائه تانسور تنش و جریان حرارت به کار می رود.

(۱۵)

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_i \bar{u}_j}{\partial X_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_j} (\tau_{SGS})$$

(۱۶)

$$\tau_{SGS} = L + C + R$$

(۱۷)

$$R = \overline{u_i u_j}$$

(۱۸)

$$L = \overline{\overline{u_i u_j}} - \overline{u_i u_j}$$

(۱۹)

$$C = \overline{u_i u_j} + \overline{u_i u_j}$$

مدل K- ω : در این مدل دو معادله برای انرژی جنبشی نوسانات سرعت و فرکانس آشفتگی نوشته می شود و باحل این دو معادله مقدار ویسکوزیته آشفتگی محاسبه می شود.

$$\omega = \frac{\varepsilon}{K} \quad (۱۱)$$

(۱۲)

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial X_j} (\rho U_j K) = \frac{\partial}{\partial X_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial X_j} \right] - \beta \rho k \omega + P_k + P_{kb}$$

(۱۳)

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial X_j} (\rho U_j \omega) = \frac{\partial}{\partial X_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial \omega}{\partial X_j} \right] - \alpha \frac{\omega}{k} P_k + \beta \rho \omega^2 + P_{\omega b}$$

که α ، β ، σ_k و σ_ω ضرایب ثابت مدل می باشند. همچنین ضرایب P_k و P_{kb} مشابه مدل K- ε می باشد و ترم $P_{\omega b}$ بیانگر اثرات نیروهای شناوری در معادله ω (فرکانس آشفتگی) می باشد. همچنین ویسکوزیته تلاطم با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه می شود:

(۱۴)

$$V_t = a_1 \times \frac{K}{\omega}$$

که a_1 در اعداد رینولدز بالا در مدل K- ω برابر ۱ و برای حالت رینولدز کم وابسته به مقادیر K و ω می باشد.

نتایج و بحث

در این پژوهش ابتدا مدل عددی بر اساس داده‌های آزمایشگاهی صحت سنجی گردید. بدین ترتیب مناسب‌ترین گزینه شبکه بندی انتخاب شد. همچنین بهترین مدل آشفستگی و شرط مرزی که نتایج نزدیکی با داده‌های آزمایشگاهی دارند تعیین گردید. همانطور که در جدول (۱) نشان داده شده است، در شبیه سازی جریان درون کانال مرکب چهار نوع شبکه با ابعاد مختلف مورد استفاده قرار گرفت. مشخصات چهار نوع شبکه‌ی M1، M2، M3 و M4 در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱): آنالیز شبکه‌ی محاسباتی مدل آزمایشگاهی

تعداد شبکه درون کانال مرکب و در سه جهت			تعداد کل شبکه محاسباتی	شبکه محاسباتی
X	Y	Z		
۴۰۰	۳۰	۳۰	۳۶۰۰۰۰	M1
۶۰۰	۳۰	۳۰	۵۴۰۰۰۰	M2
۹۰۰	۴۵	۴۵	۱۸۲۲۵۰۰	M3
۱۰۰۰	۵۰	۵۰	۲۵۰۰۰۰۰	M4

در روابط فوق X_i عمق جریان حاصل از داده‌های آزمایشگاهی بوده و Y_i عمق جریان حاصل از نتایج عددی می‌باشد که از نرم افزار بدست آمده است. در جدول زیر مقدار خطای نسبی برای هر عمق نشان داده شده است. مدل تلاطم مورد استفاده در تمامی شبیه‌سازی‌های این بخش مدل گردابه‌های بزرگ (LES) می‌باشد. با مشاهده نتایج شبیه‌سازی کانال مرکب برای سیلاب دشت‌ها با عرض‌های ۲۰ و مقایسه با داده‌های آزمایشگاهی نتیجه گرفته شد که گروه شبکه بندی‌های M1 و M2 بخوبی هیدرولیک جریان درون کانال مرکب را شبیه‌سازی نمی‌کنند. در جدول ۲ به ترتیب برای کانال مرکب و سیلاب دشت‌ها با عرض ۲۰ نتایج حاصل از شبیه‌سازی جریان با شبکه بندی‌های مختلف با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه شده است. همانطور که مشخص است نتایج حاصل از دو شبکه بندی M3 و M4 در مقایسه با داده‌های آزمایشگاهی برای هر سه نوع کانال مرکب به یکدیگر نزدیک می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که ریزتر شدن ابعاد شبکه از گروه شبکه M3 به بعد تاثیری در نتایج استخراجی از نرم افزار

ترم فیلترکننده می‌باشد. بنابراین شبیه‌سازی جریان با استفاده از مدل‌های ذکر شده انجام و سپس بهترین مدل که نزدیکترین جواب‌ها را به مدل آزمایشگاهی داشت انتخاب گردید. در نتیجه بهترین مدل اغتشاش که نتیجه بهتری را با داده‌های آزمایشگاهی نشان می‌داد (مدل LES) انتخاب شد.

در جدول (۲) نتایج آزمایشگاهی با داده‌های حاصل از روش عددی با هر چهار نوع شبکه بندی نشان داده شده است. با توجه به جدول نتایج عددی عمق جریان در مقطع‌های مختلف (هیدرولیک جریان) مربوط به شبکه بلاک‌های M1 و M2 با داده‌های آزمایشگاهی مطابقت مناسبی نداشتند. در حالی که در شبیه‌سازی انجام شده با شبکه بلاک‌های M3 و M4 جواب‌های حاصل همراهی خوبی با داده‌های آزمایشگاهی داشته و می‌توان نتیجه گرفت که نتایج مستقل از ابعاد شبکه می‌باشند. بنابراین با این ابعاد شبکه می‌توان به جواب‌های قابل اعتمادی دست یافت. لازم به ذکر است که به دلیل کاهش زمان آنالیزها از گروه شبکه M3 که تعداد شبکه کمتری نسبت به گروه شبکه‌های M4 دارد، نیز می‌توان استفاده کرد. همچنین برای محاسبه میزان خطا از رابطه زیر استفاده گردید:

$$PE (\text{Percent Error}) = \frac{X_i - Y_i}{X_i} \quad (20)$$

نبوده، برای شبیه‌سازی جریان درون کانال مرکب با ابعاد متفاوت سیلاب دشت در نظر گرفت.

Flow 3D نگذاشته است. بنابراین شبکه بندی M3 را می-توان به عنوان شبکه‌ای که تحت تاثیر ابعاد سلول‌های شبکه

جدول (۲): مقایسه نتایج آزمایشگاهی با روش عددی در شبکه بندی های مختلف با مدل آشفتگی LES مربوط به Type3 قسمت کانال اصلی

EXP	mesh1			mesh2			mesh3			mesh4			
mean velocity	yf/h	mean velocity	yf/h	Err	mean velocity	yf/h	Err	mean velocity	yf/h	Err	mean velocity	yf/h	Err
۰/۲۷	۰/۵۶	۰/۴۶	۰/۳۷	۰/۱۸	۰/۴۸	۰/۳۵	۰/۱۴	۰/۵۲	۰/۳۳	۰/۰۸	۰/۵۲	۰/۳۱	۰/۰۷
۰/۳۱	۰/۶۱	۰/۵۱	۰/۴۱	۰/۱۷	۰/۵۳	۰/۳۹	۰/۱۳	۰/۵۶	۰/۳۷	۰/۰۷	۰/۵۷	۰/۳۵	۰/۰۷
۰/۳۹	۰/۶۶	۰/۵۶	۰/۴۹	۰/۱۵	۰/۵۸	۰/۴۷	۰/۱۲	۰/۶۲	۰/۴۵	۰/۰۶	۰/۶۲	۰/۴۳	۰/۰۶
۰/۴۳	۰/۶۷	۰/۵۷	۰/۵۳	۰/۱۵	۰/۵۹	۰/۵۱	۰/۱۲	۰/۶۳	۰/۴۹	۰/۰۶	۰/۶۳	۰/۴۷	۰/۰۶
۰/۴۵	۰/۷۰	۰/۶۰	۰/۵۵	۰/۱۴	۰/۶۲	۰/۵۳	۰/۱۱	۰/۶۵	۰/۵۱	۰/۰۶	۰/۶۶	۰/۴۹	۰/۰۶
۰/۴۶	۰/۷۳	۰/۶۳	۰/۵۶	۰/۱۴	۰/۶۵	۰/۵۴	۰/۱۱	۰/۶۹	۰/۵۲	۰/۰۶	۰/۶۹	۰/۵۰	۰/۰۵
۰/۵۰	۰/۸۲	۰/۷۲	۰/۶۰	۰/۱۲	۰/۷۴	۰/۵۸	۰/۱۰	۰/۷۸	۰/۵۶	۰/۰۵	۰/۷۸	۰/۵۴	۰/۰۵
۰/۵۲	۰/۸۵	۰/۷۵	۰/۶۲	۰/۱۲	۰/۷۷	۰/۶۰	۰/۰۹	۰/۸۱	۰/۵۸	۰/۰۵	۰/۸۱	۰/۵۶	۰/۰۵
۰/۵۴	۰/۸۶	۰/۷۶	۰/۶۴	۰/۱۲	۰/۷۸	۰/۶۲	۰/۰۹	۰/۸۱	۰/۶۰	۰/۰۵	۰/۸۲	۰/۵۸	۰/۰۵
۰/۵۶	۰/۸۷	۰/۷۷	۰/۶۶	۰/۱۱	۰/۷۹	۰/۶۴	۰/۰۹	۰/۸۳	۰/۶۲	۰/۰۵	۰/۸۳	۰/۶۰	۰/۰۵

الف) $Br = \left(\frac{BF_1}{BF_2}\right)$ ، نسبت عرض سیلاب دشت سمت راست به عرض سیلاب دشت سمت چپ است.

ب) $Dr = \left(\frac{Y_F}{H}\right)$ ، (عمق نسبی) نسبت عمق آب دشت سیلابی به عمق آب کانال اصلی می باشد.

ج) $Wr = \left(\frac{B_0}{B}\right)$ ، (عرض کف نسبی) نسبت عرض کل کانال به عرض کانال اصلی می باشد.

د) $hr = \left(\frac{B}{h}\right)$ ، نسبت عرض کانال اصلی به عمق کانال اصلی می باشد. لازم به ذکر است در شبیه‌سازی‌های صورت گرفته با ثابت فرض بودن یک پارامتر سه پارامتر دیگر تغییر می-کنند. مقادیر متغیرها در جدول زیر آورده شده است

با انجام شبیه سازی‌های درون کانال مرکب تا این بخش از پژوهش این نتیجه حاصل شد که شبکه بندی گروه ۳ به عنوان مناسب‌ترین شبکه بندی تعیین گردید. لازم به ذکر است که مدل آشفتگی LES به عنوان بهترین مدل برای شبیه‌سازی آشفتگی انتخاب شد. همچنین شرایط مرزی مناسب که نتایج حاصل از شبیه سازی به داده‌های حاصل از آزمایشگاه نزدیک باشد، تعیین گردید. بعد از مراحل صحت سنجی و تعیین بهترین شبکه بندی و انتخاب مناسب ترین شرط مرزی و مدل تلاطم به بررسی تاثیر پارامترهای هندسی و هیدرولیکی بر سرعت جریان پرداخته خواهد شد. بدین ترتیب با تغییر ۴ پارامتر Wr ، Dr ، Br و hr به بررسی سرعت جریان پرداخته خواهد شد. هر کدام از این پارامترها در ادامه معرفی شده است:

جدول (۳): پارامترهای هندسی مورد بررسی بر سرعت جریان

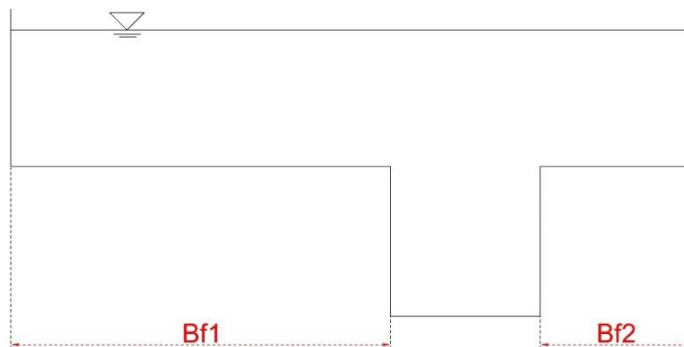
$Dr = \frac{Y_F}{H}$	۰/۱۲۵	۰/۲۵۰	۰/۳۵۰	۰/۵۰۰	۰/۷۵۰
$Br = \frac{BF_1}{BF_2}$	۳/۵	۳/۰	۲/۵	۲	۱/۵
$Wr = \frac{B_0}{B}$	۶	۵/۵	۵	۴/۵	۴
$hr = \frac{B}{h}$	۱۰	۸	۶	۴	۳

بررسی اثر نسبت عرض دشت سیلابی سمت چپ به عرض دشت سیلاب سمت راست:

لازم به ذکر است که در این بخش شبیه سازی جریان برای پنج مقدار متفاوت BF_1/BF_2 صورت گرفته که در شبیه سازی برای هر یک از این مقادیر پارامترهای عمق آب دشت سیلابی به عمق آب کانال اصلی، عرض کل کانال به عرض کف مسیر کانال و عرض کف مسیر کانال به ارتفاع دیواره کانال اصلی نیز تغییر کرده است

در این بخش به بررسی تغییرات نسبت عرض دشت سیلابی سمت چپ (BF_1) به عرض دشت سیلاب سمت راست (BF_2) پرداخته شده است. در شکل زیر کانال مرکب با پارامتر مورد بحث آورده شده است. همچنین در جدول ۴ نیز مقادیر مختلف BF_1/BF_2 نشان داده شده است.

شکل (۲): کانال مرکب با پارامتر نسبت عرض دشت سیلابی سمت چپ به عرض دشت سیلاب سمت راست

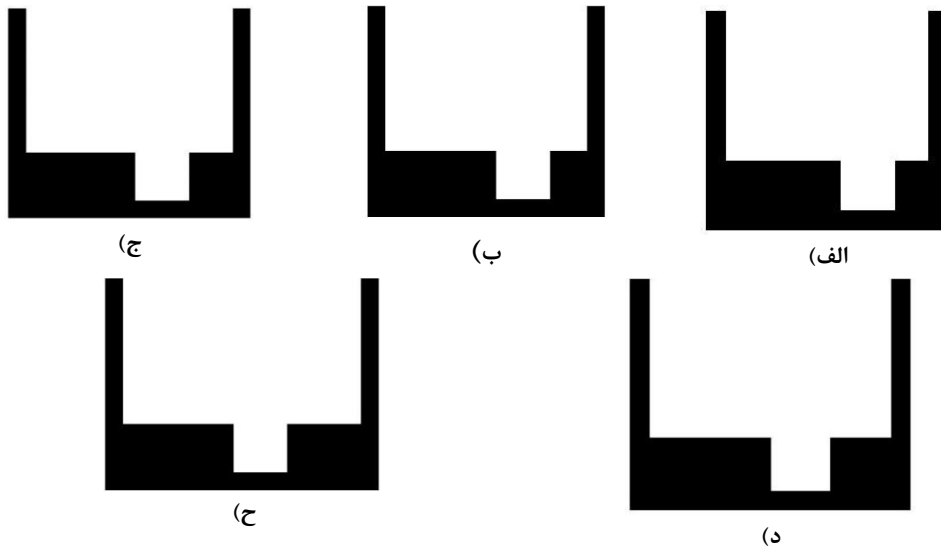


جدول (۴): مقادیر پارامتر BF_1/BF_2 در کانال مرکب

$\frac{BF_1}{BF_2}$	۱/۵	۲	۲/۵	۳	۳/۵
---------------------	-----	---	-----	---	-----

گرفت. در شکل ۳ پنج مدل ساخته شده از کانال مرکب با $\frac{BF_1}{BF_2}$ متفاوت با عمق آب دشت سیلابی ۲۶/۲۵ سانتی متر و ارتفاع دیواره کانال اصلی ۸/۷۵ سانتیمتر نشان داده شده است

به منظور شبیه سازی جریان در کانال مرکب و بررسی نسبت عرض دشت سیلابی سمت چپ به عرض دشت سیلاب سمت راست، پارامترهای عرض کف مسیر کانال ۱۰ cm، عمق آب کانال اصلی ۳۵ cm در نظر گرفته شد. همچنین پارامترهای عمق آب دشت سیلابی و ارتفاع دیواره کانال اصلی نیز با ۵ مقدار متفاوت شبیه سازی صورت

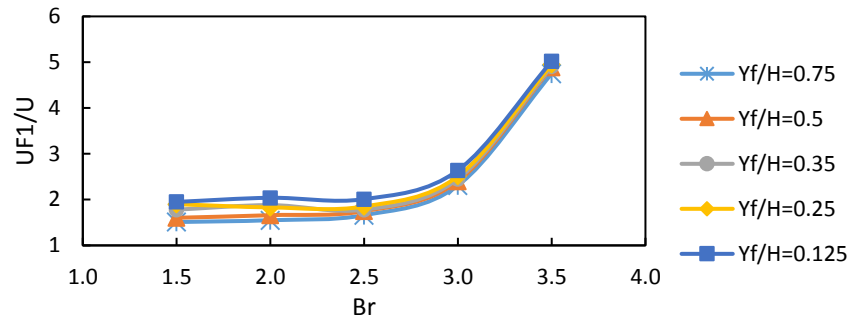


شکل (۳): کانال مرکب با نسبت عرض دشت سیلابی سمت چپ به عرض دشت سیلاب سمت راست الف) $\frac{BF_1}{BF_2} = \frac{5}{3}$ ، ب) $\frac{BF_1}{BF_2} = 3$ ، ج) $\frac{BF_1}{BF_2} = \frac{5}{1}$ ، د) $\frac{BF_1}{BF_2} = 2$ ، ه) $\frac{BF_1}{BF_2} = \frac{5}{2}$ ، ز) $\frac{BF_1}{BF_2} = 2$ ، ح) $\frac{BF_1}{BF_2} = \frac{5}{1}$

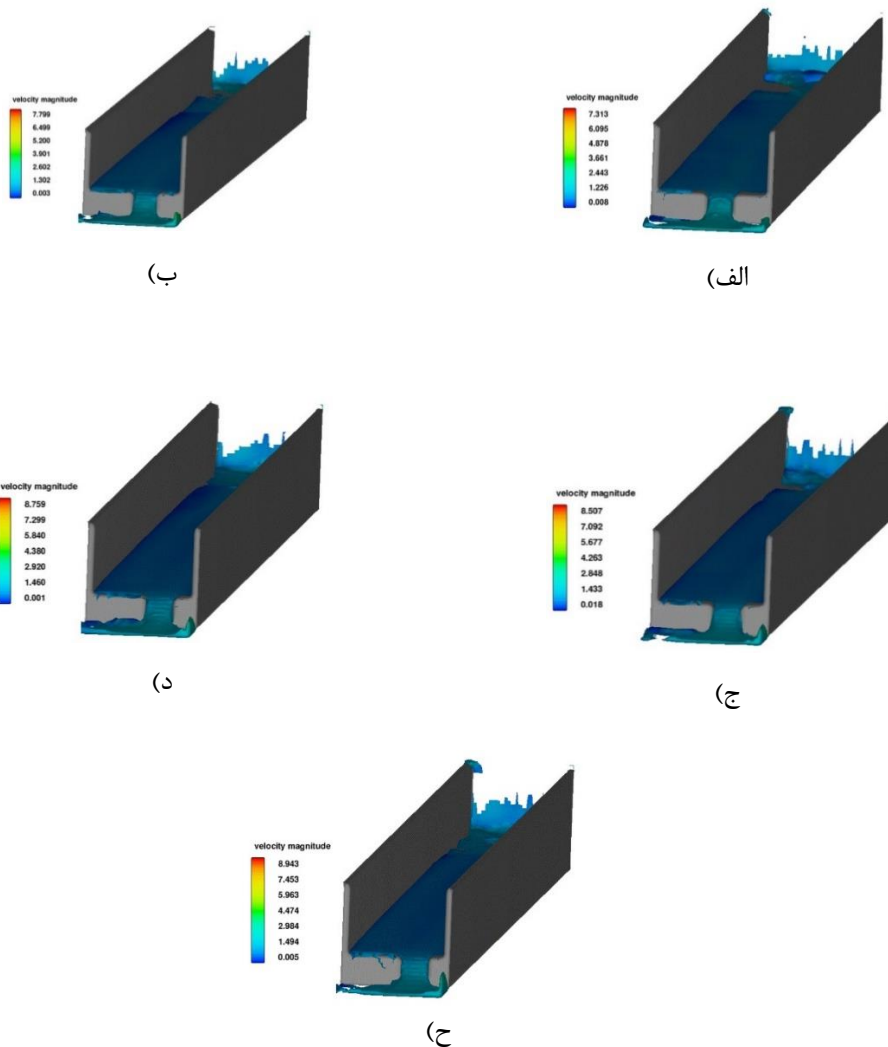
۱) نتایج شبیه‌سازی جریان اثر تغییرات عرض نسبی Br ($\frac{BF_1}{BF_2}$)، در نسبت های مختلف عمق آب دشت سیلابی به مقدار عمق آب کانال اصلی Dr ($\frac{Y_f}{H}$):

در این قسمت نتایج شبیه سازی در عمق های مختلف آب دشت سیلابی آورده شده است. عمق های آب دشت سیلابی که شبیه سازی بر روی آن صورت گرفته شامل ۲۶/۲۵، ۱۲/۲۵، ۱۷/۵، ۸/۷۵ و ۴/۳۷۵ سانتیمتر می باشد. این عمق ها به نحوی در نظر گرفته شده است که با ثابت فرض کردن مقدار عمق آب کانال اصلی H ، مقادیر $(\frac{Y_f}{H})$ ، به ترتیب ۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۳۵، ۰/۲۵ و ۰/۱۲۵ در نظر گرفته شده است. با توجه به شکل ۴ با افزایش عرض سیلاب دشت در عمق های مختلف سرعت جریان کاهش یافته است، به طوری که در مقدار $(\frac{Y_f}{H}) = ۰/۷۵$ ، با کاهش عرض سیلاب دشت سمت راست از ۵/۷۱ به ۱۳/۳۳ سانتیمتر (به عبارت دیگر با کاهش Br از ۳/۵ به ۱/۵) نسبت سرعت جریان در

مقطع کانال اصلی به سرعت متوسط نیز ۵۱ درصد افزایش یافته است. لازم به ذکر است که با توجه به شکل با افزایش عمق سیلاب دشت سرعت جریان کاهش یافته است، به طوری که در مقدار $Br = 1.5$ ، با افزایش عمق سیلاب دشت از ۴/۳۷۵ تا ۲۶/۲۵ سانتیمتر سرعت نسبی ۴ درصد کاهش یافته است. همانطور که در شکل ۴-۴ از نتایج شبیه سازی نشان داده شده است، شبیه سازی جریان اثر تغییرات عرض نسبی Br ($\frac{BF_1}{BF_2}$)، در عمق های مختلف آب دشت سیلابی، با افزایش عرض سیلاب دشت مقدار نسبت سرعت جریان در مقطع کانال اصلی به سرعت متوسط کاهش می یابد



شکل (۴): بررسی تاثیر سرعت جریان در اندازه های مختلف از عرض سیلاب دشت در عمق های متفاوت سیلاب دشت

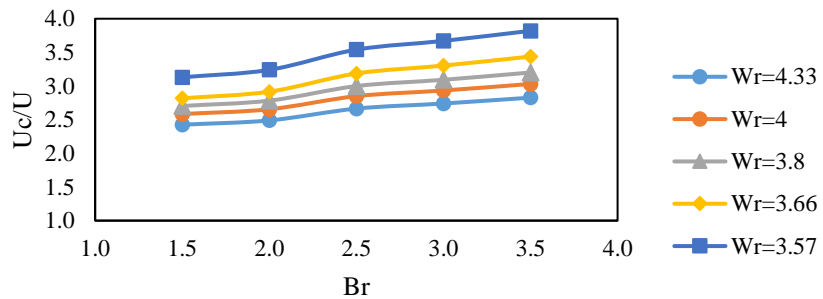


شکل (۵): شبیه سازی جریان اثر تغییرات $\frac{BF_1}{BF_2}$ در عمق های مختلف آب دشت سیلابی

(۲) نتایج شبیه سازی جریان اثر تغییرات عرض سیلاب دشت سمت چپ به سیلاب دشت سمت راست Br ($\frac{BF_1}{BF_2}$)، در نسبت عرض کل کانال به عرض کف مسیر کانال مختلف Wr ($\frac{B_0}{B}$):

کانال به نحوی در نظر گرفته شده است که با ثابت فرض کردن مقدار عرض کانال اصلی ($B=10$ cm)، مقادیر ($\frac{B_0}{B}$)، به ترتیب ۴/۳۳، ۴، ۳/۸، ۳/۶۷ و ۳/۵۷ می باشد. با توجه به شکل ۶ حاصل شده، با افزایش عرض کل کانال، سرعت جریان افزایش می یابد

در این قسمت نتایج شبیه سازی در نسبت های مختلف عرض سیلاب دشت سمت راست به سمت چپ در نسبت های مختلف عرض کل کانال به عرض کانال اصلی مورد بررسی قرار گرفت. در این شبیه سازی عرض کل کانال مقادیر شامل ۴۳/۳۳، ۴۰، ۳۸، ۳۶/۶۶ و ۳۵/۷۱ سانتیمتر می باشد. عرض کل



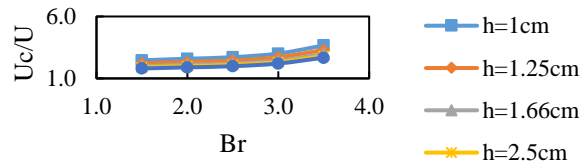
شکل (۶): بررسی تاثیر سرعت جریان در اندازه های مختلف از عرض سیلاب دشت در عرض کل کانال به عرض کف مسیر کانال مختلف

(۳) نتایج شبیه سازی جریان اثر تغییرات عرض سیلاب دشت سمت چپ به سیلاب دشت سمت راست Br ($\frac{BF_1}{BF_2}$)، در نسبت عرض کف مسیر کانال به ارتفاع دیواره کانال اصلی مختلف hr ($\frac{B}{h}$):

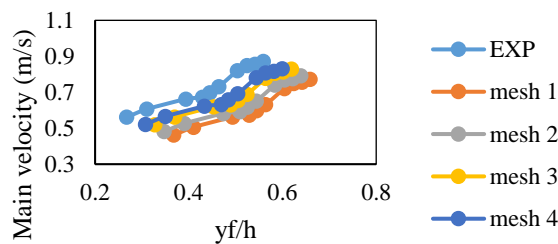
به ترتیب ۱۰، ۸، ۶، ۴ و ۳ در نظر گرفته شده است. با توجه به شکل ۴-۷ حاصل شده، با افزایش ارتفاع دیواره کانال اصلی سرعت جریان کاهش می یابد، به طوری که با افزایش دیواره کانال اصلی از ۱ سانتیمتر به ۳/۳۳ سانتیمتر سرعت جریان ۲۷ درصد سرعت جریان کاهش می یابد. همچنین در شکل (۸) مقایسه نتایج آزمایشگاهی با روش عددی در شبکه بندی های مختلف نشان داده شده است

در این قسمت نتایج شبیه سازی در نسبت های مختلف عرض سیلاب دشت در ارتفاع دیواره کانال اصلی مختلف بررسی شده است. در این شبیه سازی ارتفاع دیواره کانال اصلی مقادیر شامل ۱، ۱/۲۵، ۱/۶۶، ۲/۵ و ۳/۳۳ سانتیمتر می باشد.

ارتفاع دیواره کانال اصلی به نحوی در نظر گرفته شده است که با ثابت فرض کردن مقدار عمق آب کانال اصلی ($H=35$ cm) و عرض کف مسیر کانال ($B=10$)، مقادیر ($\frac{B}{h}$)،



شکل (۷): بررسی تاثیر سرعت جریان در اندازه های مختلف از عرض سیلاب دشت در ارتفاع دیواره کانال اصلی مختلف



شکل (۸): مقایسه نتایج آزمایشگاهی با روش عددی در شبکه بندی های مختلف

نتیجه گیری

در این پژوهش سعی گردید که اثر پارامترهای هندسی کانال مرکب در حالت نامتقارن بر سرعت جریان مورد بررسی قرار گیرد. در این تحقیق جریان به صورت دوفازی در کانال مرکب نامتقارن شبیه سازی شد. نتایج نشان داد که از بین چهار مدل آشفتگی $K-\epsilon$, $RNG K-\epsilon$, $Eddy$ ، مدل ω دارای انطباق بیشتری با داده های آزمایشگاهی می باشد. همچنین با افزایش عرض سیلاب-دشت در عمق های مختلف سرعت جریان کاهش یافته است، به طوری که در مقدار $(y_f/H)=0.75$ ، با کاهش عرض

سیلاب دشت سمت راست از $5/71$ به $13/33$ سانتیمتر (به عبارت دیگر با کاهش Br از $3/5$ به $1/5$) نسبت سرعت جریان در مقطع کانال اصلی به سرعت متوسط نیز ۵۱ درصد افزایش یافته است. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش عمق سیلاب دشت و ارتفاع دیواره کانال اصلی سرعت جریان کاهش می یابد. با توجه به اینکه مقطع مرکب نامتقارن نزدیک ترین مقطع به مقاطع واقعی رودخانه ها است لذا نتایج این تحقیق جهت تعمیم به هیدرولیک رودخانه دارای دقت مناسبی است

منابع

- بهداری، ش. بهداروندی عسکر، م. (۱۳۹۴). بررسی اثر زبری نسبی بر تنش برشی و تنش برشی ظاهری در کانال مرکب مستطیلی متقارن مستقیم. فصلنامه علمی تخصصی مهندسی آب، دوره ۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، صفحه ۱۰۱-۱۱۱.
- ظهیری، ع. (۱۳۹۵). تحلیل جریان در عرض رودخانه به روش اجزاء محدود. دانش آب و خاک. دوره ۲۶، شماره ۴/۲، قاسم زاده. ف. (۱۳۹۶). شبیه سازی مسائل هیدرولیکی در FLOW 3D. انتشارات نوآور، تهران.

- قهرمان زاده، ع. محمدی، م. شکوری، ب. (۱۳۹۷). بررسی عددی اثر زاویه همگرایی سیلاب دشت بر سرعت جریان در مقطع عرضی کانالهای مرکب. کنفرانس عمران، معماری و شهرسازی کشورهای جهان اسلام. دانشگاه تبریز، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، دانشگاه علمی کاربردی شهرداری تبریز. تبریز، ایران.
- محمودی سفیدکوهی، ن. مفتاح هلقی، م. ظهیری، ع. قربانی، خ. (۱۳۹۷). برآورد ضریب آبگذری سازه سرریز دریچه مرکب قوسی با استفاده از روش برنامه‌ریزی بیان ژن، پنجمین کنفرانس ملی مهندسی عمران، معماری و توسعه شهری، بابل، موسسه علمی تحقیقاتی کومه علم‌آوران دانش، COI: ACUC05_026. و طبق
- نجفیان، ش. یونسی، ح. پارسایی، ع. ترابی پوده، ح. (۱۳۹۶). مدلسازی عددی و فیزیکی خصوصیات جریان در کانال مرکب منشوری با زبری ناهمگن. تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری زهکشی. دوره ۱۸، شماره ۶۸.
- ولی‌زاده، ر. آرمان، ع. (۱۳۹۷). شبیه‌سازی سه بعدی محدوده‌های ناشی از سرعت در کانال مرکب مستطیلی به کمک نرم افزار Ansys Fluent. سومین کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و طراحی شهری. دانشگاه میعاد، تبریز، ایران.
- Al-Khatib, I. A., Hassan, H. (2013). Development of empirical regression-based models for predicting mean velocities in asymmetric compound channels. *Flow Measurement and Instrumentation*, 33, 77-87.
- Mohanta. A. (2014). "Flow modelling of a Non Prismatic compound channel By Using CFD."; Doctoral dissertation. NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY. ROURKELA.
- Mohanta, A., Khatua, K. K. and Patra, K. C. (2015). Flow modeling in symmetrically narrowing flood plains. *Aquatic Procedia*. 4, 826-833.
- Naik, B., Khatua, K., Sahoo, R. and Satapathy, S. S. (2014). Flow analysis for a converging compound Channel. *Int. J. Appl. Eng. Res.* 9(2): 133-138.
- Parsaie, A. (2016). Analyzing the distribution of momentum and energy coefficients in compound open Channel. *Modeling Earth Sys. Environ.* 2, 1-5.
- Shiono, K. and Knight, D. W. (1991). Turbulent open-channel flows with variable depth across the channel. *J. Fluid Mech.* 222, 617-646.



Investigation of Velocity Changes in a Straight Asymmetric Rectangular Composite Channel Using Flow-3D Software

Masoud Haji Por¹, Mehdi Behdarvandi Askar^{2*}, Ehsan Parsi³, Mohammad Ansari Ghojghar⁴

Abstract

In this study, the flow inside a rectangular composite channel was studied by finite volume numerical method, for which Flow-3d software was used. Comparing the results of the numerical model with the laboratory results, it was concluded that the numerical model can well simulate the flow inside a rectangular composite channel. Performing numerical modeling of suitable boundary conditions, a grid with the desired dimensions and a suitable turbulence model was obtained to describe the hydraulic flow inside the rectangular composite channel. Three turbulence models of the two equations K- ϵ , RNG K- ϵ and K- ω and one turbulence model of large vortices LES were used. Also, the effect of geometric parameters and flow on the average velocity in the composite channel was investigated. The results obtained from this study show that with increasing the width of the floodplain at different depths, the flow velocity has decreased, so that in the value of $= 0.75 (y_f / H)$, with decreasing the flood width of the right plain from 5.71 to 13.33 cm, the ratio of flow velocity in the section of the main channel to the average velocity has also increased by 51%. It should be noted that with increasing the depth of the floodplain, the flow velocity has decreased. Also, with increasing the height of the main channel wall, the flow velocity decreases.

Keywords: Flood plain, Flow3D software, main channel, rectangular composite channel.

¹ Master of Science, Department of Offshore Structures, Faculty of Marine Engineering, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran.

² Assistant Professor, Department of Offshore Structures, Faculty of Marine Engineering, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran.

³ Study Expert, Arvand Water and Energy Consulting Engineers Company, Ahvaz, Iran.

⁴ Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.