

Research Article

Numerical analysis of flow field and flood risk in solid urban block street intersections

Akbar safarzadeh^{1*}, Vadoud hasanniya², Majid pasbani³

1- Professor, Department of Civil Engineering, University of Mohaghegh Ardabili.

2- PhD student, Department of Civil Engineering, University of Mohaghegh Ardabili.

3- Professor, Department of Civil Engineering, University of Mohaghegh Ardabili.

Abstract

Introduction: Floods can cause significant damage to goods and people, particularly in densely populated urban areas with high asset values. Flood risk is typically assessed using flow depth, flow velocity, and water level parameters (de Moel et al., 2009). Meja-Morales et al., (2021) investigated the impact of flow exchanges between a porous urban block and surrounding streets and found that porosity significantly affects urban flood flow characteristics. In another study, Meja-Morales et al., (2023) examined the effect of flow instability and open areas in urban blocks on key flood characteristics and reported that the instability level of incoming hydrographs greatly affects the volume of flood water stored in urban blocks. This research aims to evaluate the distribution of flow depth, velocity, and flow patterns in non-porous urban block streets by considering changes in stable inflow. The study seeks to understand multidirectional flow paths caused by the street network and develop a flood risk map for humans using Flow3D software.

Methodology: In this research, the computational fluid dynamics method (Flow-3D commercial software) has been used to investigate the flow in the urban flood model. The specifications of the numerical model and the dimensions of the solution domain were selected according to the laboratory model (Mejía-Morales et al., 2021) for urban flooding. The physical model includes a rectangular urban block and the streets around it, two streets as flood entrances and four The street is the outlet of the flood. In this research, according the width of the streets, investigates the effect of the changes in the flow of the inlets on the distribution of the quantities of depth, speed, flow patterns and flood risk map for humans in the street. Non-porous urban blocks of 7 different flow rates were used. In order to reduce the operation volume, three mesh blocks were used to simulate the flow in the urban flood model. The numerical model used in the present study achieved a stable flow state for the entrances and exits of the urban block and its adjacent streets within 40 seconds. Accordingly, the simulation duration of the current research was set to 45 seconds to account for changes in the inlet flow rate.

Results and Discussion: The validation results of the numerical model showed that the $k - \varepsilon(RNG)$ to be the base of the ba

 $k - \varepsilon(RNG)$ turbulence model had the highest correlation with the laboratory model, with a relative error of 3% and 6.8% for the velocity profile near the water surface and averaged velocity at depth, respectively. In all models, the right and upstream streets had the highest and lowest depth, speed, and human stability number, while the downstream street had the largest range of flood parameters, with 2 to 3 times the average speed and 3 to 4 danger zones

Numerical analysis of flow field ...

for pedestrians. Increasing the flow rate at Inlet 1 for a constant flow rate at inlet 2 increased the flooding characteristics of the right and downstream streets while decreasing the speed in the left street. Conversely, increasing the flow rate at Inlet 2 for a constant flow rate at Inlet 1 increased the flooding characteristics of the left street, decreased the speed in the right and downstream streets, and had minimal effect on the flood characteristics of the upstream street. **Conclusion:** The study found that changes in flow discharge at inlets 1 and 2 had a direct impact on flood flow parameters in the right and left streets. Moreover, some models showed that increasing the flow rate at inlet 2 for a constant flow rate at inlet 1 resulted in increased depth, decreased speed, and decreased stability number at the entrance of the right street. Therefore, when developing flood risk maps for urban areas with varying geometries, it is advisable to account for different discharges from other city streets.

Keywords: Urban flood, discharge changes, computational fluid dynamics, product number.

انجمن هیدرولیک ایران نشریه هیدرولیک



مقاله پژوهشی /https://doi.org

بررسی عددی ساختار جریان و خطر سیلاب در خیابانهای متقاطع با بلوک شهری صلب

اکبر صفرزاده'*، ودود حسننیا'، مجید پاسبانی"

۱- استاد گروه مهندسی عمران. دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی. ۲- دانشجوی دکتری، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی. ۳- استاد گروه مهندسی عمران. دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی.

چکیده: افزایش جمعیت در مناطق شهری و وقوع روزافزون سیلابهای شهری نیازمند ارزیابی دقیق تر برای درک بهتر فرآیندهای هیدرولیکی غالب خطر سیل میباشد. در تحقیق حاضر با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی به بررسی تاثیر تغییرات دبی جریان ورودی بر ویژگیهای سیل در یک بلوک شهری پرداخته شده است. مدلسازیها در شرایط جریان پایدار، با استفاده از ۷ دبی جریان در ورودیها با هندسه ثابت بلوک شهری انجام شد. برای این منظور از یک بلوک شهری غیر متخلخل با چهار خیابان در اطراف، دو خیابان به عنوان ورودی و چهار خیابان به عنوان خروجی مطابق آزمایش های موجود در مراجع استفاده شد. نتایج اعتبارسنجی مدل عددی نشان داد که مدل آشفتگی (*RNG) – k* پروفیل سرعت نزدیک سطح آب و سرعت متوسطگیری شده در عمق، با خطای نسبی ۳ و ۲/۸ درصد، نسبت به سایر مدلهای آشفتگی، دارای همبستگی بیشتری با مدل آزمایشگاهی بود. در تمامی مدلها خیابان راست و بالادست به ترتیب دارای سیر مدلهای آشفتگی، دارای همبستگی بیشتری با مدل آزمایشگاهی بود. در تمامی مدلها خیابان راست و بالادست به ترتیب دارای موجنین افزایش دبی در ورودی ۱ به ازای دبی ثابت در ورودی ۲، باعت افزایش ویژگیهای سیلابی پییندست با اختلاف ۲ تا ۳ برابری همچنین افزایش دبی در ورودی ۱ به ازای دبی ثابت در ورودی ۲، باعت افزایش ویژگیهای سیلابی خیابانهای راست و پاییندست و افزایش موج کاهش سرعت در ورودی ۱ به ازای دبی ثابت در ورودی ۲، باعت افزایش ویژگیهای سیلابی خیابانهای راست و پاییندست و افزایش ویژگیهای سیلابی خیابان چپ میگردد. این در حالی است که افزایش ویژگیهای سیلابی خیابانهای راست و پاییندست و افزایش ویژگیهای سیلابی خیابان چپ و افزایش عمق و کاهش سرعت در خیابانها راست و پاییندست میگرد. لازم به ذکر است تغییرات دبی در هر دو ورودی تاثیر چندانی بر روی ویژگیهای سیلابی خیابان دارد.

کلیدواژگان: سیل شهری، تغییرات دبی، دینامیک سیالات محاسباتی، عدد پایداری.

۱– مقدمه

سیل یکی از رویدادهای طبیعی است که هر ساله موجب تلفات انسانی و دامی، خسارت به ساختمانها، تأسیسات و منابع طبیعی میشود. خسارتهای وارده ناشی از سیل به کالاها و افراد به ویژه در سکونتگاههای شهری، عمدتاً به دلیل تراکم بالای جمعیت و ارزش داراییها قابل توجه می-باشد. از آنجایی که مناطق پرجمعیت شهری اغلب در دشت های سیلابی و مناطق کم ارتفاع ساحلی قرار دارند، لذا قرار گرفتن مردم و کالاهای آنها در معرض خطر سیل افزایش مییابد. این در حالی است که طبق پیشبینی سازمان ملل تا سال ۲۰۵۰ جمعیت مناطق شهری به بیش از دو سوم جمعیت جهان می رسد (2019, zin et al.) از سوی دیگر هیئت ویژه بین دولتی تغییرات آب و هوا گزارش

میدهد که «احتمال دارد فراوانی بارندگیهای شدید در قرن بیست و یکم افزایش یابد» (Field et al., 2012). لذا توسعه روشهایی برای ارزیابی خطر سیل شهری و خطر مرتبط با آن با دقت بالاتر بسیار مهم است. خطر سیل معمولاً با پارامترهای عمق جریان، وسعت سیل، سرعت جریان، انتشار موج سیل، مدت زمان سیل و سرعت افزایش سطح آب توصیف میشود (2009, De Moel et al., 2009). زمان ییل و سرعت خطر زمانی قابل درک می باشد که بی ثباتی ناشی از سیل برای یک هدف مشخص آغاز شود. در این میان، رایج ترین پارامترها برای پیش بینی ناپایداری ناشی از سیل برای یک هدف مشخص مانند افراد et al., 2000; Cox et al., 2010) (Bonham هدف مشخص مانند افراد et al., 2000; Cox et al., 2010) and Hattersley, 1967; Gordon and Stone, 1973; Shu

(Meja-Morales et al. 2023). در راستای تحقق این امر، اکثر مطالعات سیل شهری برای تعیین کمیتهای توزیع سرعت و عمق جریان در محیطهای مختلف انجام می شود (Chen et al., 2019; Costabile et al., 2020; Galuppini et al., 2020). با این حال، الزام گنجاندن جزئیات توپوگرافی مختلف (مانند ساختمانها، چيدمان خيابان و وسايل نقليه، سیستم فاضلاب، مترو و ...) و تاثیر توامان توپوگرافی و هیدرولیک (مانند تعامل با موانع ثابت و متحرک، شبکه فاضلاب خيابانها يا مبادلات جريان خيابان-ساختمان) باعث به چالش کشیده شدن مطالعه رویدادهای سیل در یک محیط شهری می شود (Meja-Morales et al. 2023). اگرچه بلوکهای شهری واقعی و ساختمانهای منفرد شامل: درها، پنجرهها، دروازهها، حیاطها و پارکینگها می شوند، اما اکثر مطالعات سیل شهری آنها را به عنوان سازههای غیر متخلخلی در نظر می گیرند که سیل به آن وارد نمى شود (). Ishigaki, 2003; Araud et al., 2014 .(Finaud-Guyot et al., 2018

اطلاعات اضافی در مورد میدانهای سرعت برای درک مسیرهای جریان چند جهته ناشی از شبکه ساخته شده از خيابانها و مناطق باز، ساختمانها و سيستم زيرزميني (مانند شبکه زهکشی) به ویژه در شرایط سیل شدیدتر ضروری است (Rubinato et al., 2018). اندازه گیریهای سرعت نقطهای به دلیل شرایط چالش برانگیز برای اندازه گیری میدانی در طول یک رویداد بزرگ سیل شهری محدود مى مانند (Chanson and Brown, 2015). همچنين میدانهای جریان آشفته پیچیده در مخازن کم عمق سیل گیر نیز به صورت جتهای متقارن، نامتقارن یا پرپیچ و خم رخ میدهد که این مشخصات جریان مستقیماً بر عملکرد مخازن تأثير مي گذارد (Stovin and Saul, 2000; Dewals) et al., 2008; Kantoush et al., 2008). به عنوان مثال، مقدار و مکان رسوبات به شدت به الگوی جریان بستگی دارد (Adamsson et al., 2003; Isenmann et al., 2017). همچنین (Haun and Olsen (2012) پیشنهاد کردند که یک رویکرد سه بعدی مزایایی نسبت به دو بعدی دارد، زیرا جریان های ثانویه را می توان همراه با "مناطق چرخش عمودی و سایر ویژگی های جریان که در آن مشخصات سرعت غیر لگاریتمی است" بازتولید کرد.

در میان ابزارهای مورد استفاده برای مطالعه این رویدادها، مدلسازی عددی پرکاربردترین روش است ,.Mignot et al (Mignot et al., 2006; Bazin et al., 2017), دقیق و قابل اعتماد در مورد رویدادهای سیل شهری، یک et al., 2011) و خسارت ساختمان (Black, 1975) Clausen & Clark, 1990; Milanesi et al., 2018). سرعت و عمق جریان محلی می باشد که به صورت حاصل ضرب دو پارامتر مورد استفاده قرار می گیرد Abt et al. (1989) به بررسی آزمایشگاهی پایداری انسان و جسم صلب شبیه انسان در مقابل جریان با عمق و سرعتهای متفاوت پرداختند. این محققین با معرفی عدد پایداری بر حسب وزن، ارتفاع و عرض انسان نشان دادند که نمونه آزمایش شده انسانی نسبت به نمونه صلب شبیه انسان دارای ۶۰ الی ۱۲۰ درصد پایداری بیشتری می باشد. (2014) Xia et al. با استفاده از دادههای آزمایشگاهی معادلههای کلی برای پیشبینی آستانه لغزش و آستانه واژگونی انسان ارائه دادند. بررسی عددی پایداری وسیله نقلیه و عابر پیاده در مقابل جريان سيل توسط (Arrighi et al. (2017) صورت پذيرفت. این محققین دریافتند در اعماق زیاد با سرعت جریان کم (عدد فرود کمتر از ۰/۶) به دلیل ویژگیهای پیکربندی، پایداری عابر پیاده در مقایسه با وسیله نقلیه بیشتر است. این در حالی است که در اعماق کم جریان با سرعتهای زياد پايداري وسيله نقليه بسيار بيشتر از عابر پياده ميباشد. Clausen. (1990) پارامترهای اصلی خطر برای تخمین خسارت سیل به ساختمان را عمق آب، سرعت جریان، تنش برشی بستر، نیروهای دینامیکی، سرعت افزایش سیل و پتانسیل ریزش شناسایی میکند. این در حالی است که محققین زیادی عمق جریان و سرعت را به عنوان رایج ترین پارامتر برای تعیین خطر خسارت سیل به ساختمان معرفی كردهاند (Black (1975)) ،Black (1975) كردهاند (2002)). همچنین نخالههای سیلی (مواد جامد داخل سیل) می تواند به عنوان عامل افزایش دهنده خطر سیل عمل کند. کنشهای ایستاتیکی، دینامیکی و فرسایش به عنوان سه عامل مهم خطر نخالههای سیلی شناخته می-شوند (kelman and spence, 2004). عامل نخالههای ساکن به دلیل تجمع رسوبات بیرونی یا داخلی در ساختمان رخ میدهد (USACE, 1984). عامل دینامیکی نخاله زمانی رخ میدهد که نخالههای جابجا شده توسط آب به ساختمان ضربه مىزند (Lewis, 1999). نخالهها مى توانند با كشيده شدن سنگریزهها یا وسایل خانه همراه با جریان و بیرون کشیدن خاک از کنارهها یا بستر کانال جریان باعث فرسایش و فروریزش شوند (kelman and spence, 2004). در راستای شناسایی مناطق حساس به سیل در شهرها، تهیه نقشههای خطر و خطر سیل شهری امری ضروری است

اشکال در کالیبراسیون و اعتبارسنجی این مدلها میباشد که می توان از مطالعات آزمایشگاهی به عنوان یک معیار برای کالیبراسیون مدلهای عددی استفاده کرد Meja-Morales et al. (2021) .(Macchione et al. 2019) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر تبادل جریان در یک بلوک شهری متخلخل و خیابان های اطراف آن، بر روی عمق و سرعت جریان پرداختند. آنها گزارش کردند که افزایش تخلخل انتقال ديوارههاى كنارى بلوك مىتواند عمق، سرعت جریان و متعاقباً خطر سیل برای عابران پیاده را به ترتیب ۱۲ تا ۷۰ درصد بطور موضعی تغییر دهد (افزایش یا کاهش نسبت به بلوک شهری بدون تخلخل). Li et al. (2021) تأثیر طرح ساختمان در یک بلوک شهری را بر شدت سیل بررسی کردند. آنها تأکید کردند که تخلخل ساختمانها در جهت جریان غالب، تأثیر قوی (به طور موضعی افزایش یا کاهش) بر سرعت، عمق جریان و تقسیم تخلیه پاییندست دارد. در نهایت، (.Meja-Morales et al 2023) به بررسی آزمایشگاهی تاثیر ناپایداری جریان و مناطق باز بلوک شهری مستطیلی ساده متشکل از چهار خیابان، بر روی ویژگیهای کلیدی سیل پرداختند. نتایج این محققین نشان میدهد که سطح ناپایداری هیدروگراف ورودی، به ویژه در مرحله افزایش، تأثیر زیادی بر حجم آب سیلاب ذخیره شده در بلوک شهری دارد. افزایش ظرفیت ذخیرهسازی در بلوک شهری منجر به کاهش دبی خروجی پیک کلی، کاهش عمق جریان و افزایش محلی سرعت در برخي از خيابانها و داخل بلوك شهر مي شود.

بر سی از سیبان و دست بو عسهر سی سوبا هدف از تحقیق حاضر تعیین تاثیر تغییرات جریان ورودی پایدار در یک بلوک شهری بر ویژگیهای سیل شهری می-غیر متخلخل با چهار خیابان در اطراف، دو خیابان به عنوان غیر متخلخل با چهار خیابان در اطراف، دو خیابان به عنوان ورودی و چهار خیابان به عنوان خروجی مطابق تحقیق هندسه بلوک شهری از تاثیر نفوذ جریان صرف نظر شده (Meja-Morales et al. 2021) استفاده شده است. در هندسه بلوک شهری از تاثیر نفوذ جریان صرف نظر شده است (2023 ای با توجه به اینکه مطالعات پیشین رایجترین پارامتر برای خطر سیل شهری را، عمق و سرعت جریان معرفی کردهاند. لذا در تحقیق حاضر سعی شده است با در نظر گرفتن تغییرات جریان ورودی پایدار به ارزیابی توزیع معرفی حریان چند جهته ناشی از شبکه ساخته شده از خیابانها و نقشه خطر سیل برای انسان در خیابانهای

بلوک شهری غیر متخلخل به صورت عددی و با استفاده از نرم افزار Flow3D پرداخته شود.

> ۲– مواد و روشها ۲–۱– معرفی نرمافزار

در تحقیق حاضر از روش دینامیک سیالات محاسباتی (نرم-افزار تجاری Flow-3D) برای بررسی جریان در مدل سیل شهری استفاده شده است. دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) روشی برای شبیهسازی فرآیندهای جریان میباشد که در آن معادلات جریان مانند معادله ناویر-استوکس و معادله بقای جرم، گسسته شده و برای هر سلول محاسباتی معادله بقای جرم، گسسته شده و برای هر سلول محاسباتی استفاده از گزینههای مختلف حل کننده ضمنی و صریح را دارد (Flow-3D) توانایی محاسبه راهحل ها با دارد (Flow-3D). این نرمافزار بر اساس معادلات ناویر- استوکس بوده و از روش -Volume-of میکند. در سیستم مختصات کارتزین معادلات حاکم برای تجزیه و تحلیل جریان آشفته دائمی سیال تراکمناپذیر و لزج توسط معادلههای مومنتم و پیوستگی به شکل زیر بیان میشود (Celik and Rodi, 1984):

$$u_{j} \frac{\partial u_{i}}{\partial x_{j}} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_{i}} + \frac{\partial}{\partial x_{i}} (\mu \frac{\partial u_{i}}{\partial x_{j}} - \overline{\rho u_{i}' u_{j}'}) + g_{i} \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_{i}}{\partial x_{i}} = 0 \quad (2)$$

در روابط فوق، u_i ، u_i و g_i به ترتیب سرعت نوسانی، سرعت میانگین و نیروهای خارجی در راستای x_i ، μ لزوجت سینماتیکی، ρ چگالی آب و q فشار جنبشی $x_i = x, y, z$, i, j = 1, 2, 3میباشند. در مختصات دکارتی $u_i = u, y, z$, i, j = 1, 2, 3میباشند. در مختصات دکارتی $u_i = u, y, z$, i, j = 1, 2, 3میباشند. در مختصات دکارتی $u_i = u, y, z$, $u_i = u, y, w$, بوزینسک برای عبارت تنش رینولدز ($\overline{\rho u'_i u'_j}$) داریم:

$$\rho \overline{\mathbf{u}_i' \mathbf{u}_j'} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$$
(3)

در رابطه فوق μ_t ویسکوزیته آشفتگی میباشد که روش حل آن اساس مدلهای مختلف آشفتگی را تشکیل میدهد. نرمافزار Flow-3D برای حل عبارت تنش رینولدز از چندین مدل آشفتگی مختلف استفاده می کند. به دلیل پیچیدگی-های موجود در جریانهای آشفته تاکنون هیچ مدلی برای حل طیف وسیعی از مسائلی که در جریانهای آشفته یافت میشوند به طور جهانی پذیرفته نشده است (Safarzadeh کار مدلهای آشفتگی حاضر مدلهای آشفتگی

بررسی عددی ساختار جریان و خطر سیلاب ...

$$\rho(\frac{\partial\omega}{\partial t} + \bar{u}_{i} \frac{\partial\omega}{\partial x_{i}}) = \frac{\partial}{\partial x_{j}} \left[\left(\mu + \frac{\mu_{t}}{\sigma_{\omega}} \right) \frac{\partial\omega}{\partial x_{j}} \right]$$
(7)
$$-\alpha \frac{\omega}{k} P_{k} + \beta \rho \omega^{2}$$

$$\sum_{k=0}^{\infty} \beta_{k} \cdot \beta_{k} \cdot \sigma_{\omega} \text{ intermediation of } \beta_{k} \cdot \beta_{k} \cdot \sigma_{\omega}$$

۲-۳- معرفی مدل آزمایشگاهی و عددی

مشخصات مدل عددی و ابعاد دامنه حل با توجه به مدل آزمایشگاهی (Mejía-Morales et al., (2021) برای سیل شهری انتخاب شد. مدل فیزیکی (Mejía-Morales et al., 2021) یک کانال مستطیلی به طول ۵/۴ و عرض ۳/۲ متر که شامل یک بلوک مستطیلی (به عنوان منطقه شهری) به طول ۱/۵۶ متر و عرض ۰/۹۶ متر و چهار خیابان اطراف (بالادست، پاییندست، راست و چپ) با عرض مساوی ۰/۱۵ متر، با دو ورودی دبی (انتهای بالادست خیابان راست و چپ)، ۴ خروجی تخلیه (انتهای پاییندست همه خیابانها) و شیب طولی ۱۲/۱۲ درصد میباشد. کل دبی ورودی، ۶/۵ لیتر بر ثانیه، دبی جریان ورودی در خیابان سمت راست ۴/۵ لیتر بر ثانیه و خیابان چپ ۲ لیتر بر ثانیه بوده و در انتهای پاییندست هر خیابان، از یک سرریز برای کنترل عمق جریان خیابانها استفاده شده است. ارتفاع سرریز در مدل فیزیکی (Mejía-Morales et al., (2021) به گونهای تنظيم شده است كه خيابان سمت راست عمق جريان بیشتری نسبت به خیابان سمت چپ داشته باشد (ارتفاع سرریز ۴ سانتیمتر در خروجی ۱، در حالی که ۳ سانتیمتر در خروجی های ۲، ۳ و ۴)، همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است. در تحقیق حاضر با توجه به محدوده عرضی خیابانها، برای بررسی تاثیر تغییرات دبی ورودیها بر روی توزيع كميتهاى عمق، سرعت، الگوهاى جريان و نقشه خطر سیل برای انسان در خیابانهای بلوک شهری غیر متخلخل از ۷ دبی مختلف استفاده شد (جدول ۱). به منظور کاهش حجم عملیات از سه مش بلاک برای شبیهسازی جریان در مدل سیل شهری استفاده شد. برای مش بلاک اول و دوم به طور یکسان، شرایط مرزی شدت جریان در مقطع ورودی، در مقطع خروجی Continuative، شرط مرزی Symmetry برای سطح آزاد سیال و همچنین برای کنارهها و کف از شرایط مرزی Wall که همانند یک دیوار بدون لغزش عمل مي كند، استفاده شد.

جدول ۱ تغییرات دبی در ورودیهای بلوک شهری برای مدل عددی تحقیق حاضر دو معادلهای $\varepsilon = k - \varepsilon$ ، $k - \omega$ و $k - \varepsilon$ به دلیل اعتمادپذیری در حل مسائل هیدرولیکی و نیازهای محاسباتی قابل قبول برای صحتسنجی انتخاب شد.

۲–۲– مدل های آشفتگی مدل آشفتگی k - k سادهترین و پرکاربردترین مدل آشفتگی دو معادلهای میباشد. در این مدل ترم μ_i ، به صورت دو معادلهای میباشد. در این مدل ترم م μ_i ، به صورت $\mu_i = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$ ($\mu_i = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$ (K) (Launder and Spalding, 1972).

$$\rho(\frac{\partial k}{\partial t} + u_i \frac{\partial k}{\partial x_i}) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \rho \varepsilon \quad (4)$$

$$\rho(\frac{\partial\varepsilon}{\partial t} + \overline{u}_i \frac{\partial\varepsilon}{\partial x_i}) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{\varepsilon}} \right) \frac{\partial\varepsilon}{\partial x_j} \right]$$
(5)
+ $C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{\mu} P_k - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{\mu}$

در روابط فوق، σ_k و $\sigma_arepsilon$ به ترتيب اعداد پرانتل و اشميت، و $C_{1\varepsilon}$ تلاطم ناشی از نیروهای ویسکوزیته و C_{μ} و P_k فرايب تجربی میباشند. مدل آشفتگی $C_{2arepsilon}$ دیگر مدل آشفتگی دو معادلهای میباشد $k - \varepsilon(RNG)$ که بر اساس حل معادلات انرژی جنبشی آشفته و نرخ اتلاف تلاطم به حل معادلات حاکم بر جریان می پردازد. به طور خاص، مدل $k - \varepsilon(RNG)$ برای توصیف جریان هایی که دارای مناطق برشی قوی هستند با دقت بیشتری $k - \varepsilon$ شناخته می شود، لذا کاربرد وسیعتری نسبت به مدل دارد (Yakhot and Smith., 1992). معادله انرژی جنبشی آشفته در مدل آشفتگی $k - \varepsilon(RNG)$ مشابه مدل آشفتگی $\mathcal{F}_{2arepsilon}$ ، و $\mathcal{C}_{2arepsilon}$ ، و $\mathcal{C}_{2arepsilon}$ ، و $\sigma_{arepsilon}$ ، ر معادله اتلاف انرژی تغییر کرده، ضریب $C_{2\varepsilon}$ نیز ثابت نیست و تابعی از پارامتر P_k میباشد. دیگر مدل آشفتگی مورد بررسی در تحقیق حاضر مدل آشفتگی w = k - a میباشد که در آن به جای نرخ اتلاف انرژی از فرکانس آشفتگی ($\omega = \frac{\varepsilon}{L}$) استفاده شده و ترم (Wilcox, 1994) به صورت $\mu_t = \rho \frac{k}{s}$ حل می شود (Wilcox, 1994). در این مدل معادلات k و artheta به صورت زیر ارائه می گردد. $\rho(\frac{\partial k}{\partial t} + u_i^- \frac{\partial k}{\partial x_i}) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_i}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + P_k - \beta' \rho k \, \omega$

دامنه حل و شرایط مرزی استفاده شده برای شبکهبندی مدل عددی آورده شده است. همچنین برای محاسبه زمان اتمام شبیهسازی، تغییرات مجموع دبی ورودی و خروجی و دبی در خیابانهای بلوک شهری کنترل شد. نتایج نشان داد که جریان در مدل عددی تحقیق حاضر برای ورودیها و خروجیهای بلوک شهری و خیابانهای مجاور آن در زمان ۴۰ ثانیه به حالت پایداری می سد. بنابراین در مدل عددی

تحقیق حاضر با توجه به اعمال تغییرات در دبی ورودی

مدت زمان شبیهسازی ۴۵ ثانیه انتخاب شد.

Table 1 Discharge variation in urban block inlets for the numerical model of the present study					
Madal	Discharge				
Model	Inlet 1	Inlet 2	total		
Q4.5-2	4.5	2	6.5		
Q4.5-1.5	4.5	1.5	6		
Q4.5-2.5	4.5	2.5	7		
Q4-2	4	2	6		
Q4-1.5	4	1.5	5.5		
Q5-2	5	2	7		
Q5-2.5	5	2.5	7.5		

مقطع ورودی مش بلاک سوم Continuative و به منظور عدم تأثیرپذیری جریان در مقطع خروجی مش بلاک سوم شرایط مرزی Outflow انتخاب گردید. در جدول ۲ ابعاد



5.4 m

Fig. 1 General overview of the urban model (Mejía-Morales et al., 2021) (Mejía-Morales et al., 2021) شکل ۱ نمای کلی مدل شهری (Mejía-Morales et al., 2021)

مرزى مدل عددى	، و شرایط	ابعاد دامنه حا	جدول '

Table 2 Dimensions of	the solution domain	and boundary conditi	ons of the numerical model
	the boltation domain	and coundary condition	ons of the numerical model

Direction		Size			boundaries		
Mesh pla		Mesh plan 1	Mesh plan 2	Mesh plan 3	Mesh plan 1	Mesh plan 2	Mesh plan 3
v	min	0	0	2.85	Volume flow rate	Volume flow rate	Continuative
Λ	max	2.85	2.85	5.4	Continuative	Continuative	Outflow
V	min	0	1.1	0	Wall	Wall	Wall
1	max	0.17	1.28	3.2	Wall	Wall	Outflow
7	min	0	0	0	Wall	Wall	Wall
L	max	0.1	0.09	0.1	Symmetry	Symmetry	Symmetry

٤-٢ محاسبات مربوط خطر سیل برای عابر پیاده
 ٤-٢ (عدد یایداری)

همانطور که در بخش مقدمه ذکر شد برای هر نمونه از جریان، عمق جریان و سرعت متوسط باهم (خطر) امکان ارزیابی سطح خطر را برای عابران پیاده فراهم میکند. آسیب پذیری بر اساس عدد پایداری (PN = U^{*}d)، که در آن U، سرعت میانگین در عمق و d عمق جریان، مشخص

می شود. در تحقیق حاضر از سه آستانه عدد پایداری برای عابران پیاده استفاده می شود.

 $PN = 0.3 \text{ m}^2/\text{s}$ مطابق بایداری افراد که مطابق PN = 0.3 m²/s Abt et مطالعات انجام شده توسط (2014a) Xia et al., (2014a) و Xia et al., (1989) (1989) al., (1989) al., (1989) انتیج به دست آمده با استفاده از بتن یکپارچه)، عمق جریان تا ۰/۲ متر (2009) Ishigaki et al., (2009) و سرعت متوسط در عمق جریان تا ۲ متر بر ثانیه تعریف Martínez-Gomariz et و Russo et al., 2013

al., 2016). در این محدوده بی ثباتی برای تعداد بسیار کمی از عابران پیادہ اتفاق میافتد. و Xia et al., (2014a) حد بالايي نتايج PN = 0.7 m²/s عمق بالای Abt et al., (1989) متر Abt et al., (1989) و Takahashi et Russo et al., (2013) متر al., (1992) متر al., (1992) جایی که اولین نشانههای بی ثبات افراد در مطالعات و مشاهده شده است. در این محدوده در برخی از عابران پیاده بی ثباتی مشاهده شده است (تا ۲۰ درصد از کل مجموعه). ب متر پیشنهاد شده توسط، PN = 1 m²/s (Cox et al 2010)، که بزرگترین عمق جریان آزمایش شده و تا سرعت ۳/۵ متر بر ثانیه که طبق (2013) Russo et al و Martínez-Gomariz et al., (2016) تقريباً حد بالايي یایداری افراد در جریان کم عمق است، یعنی بالاتر از این حد تقریباً همه عابران پیاده ناپایداری از خود نشان می-دهند. در جدول ۳ توضیحات مختصر مربوط به عدد پایداری آورده شده است.

جدول ۳ توضيحات عدد پايداري افراد

Table 3	Description of the number of pe	ople's stability
DN	Instability of the total set	Range
L TA	(0/)	

	(%)	name
<0.3	2	Low
0.3- 0.7	20	Moderate
0.7-1	to 50	Significant
>1	More than 50	High

پیشبینی سطح محلی خطر برای عابران پیادہ نیاز بہ انتقال
نتایج از مقیاس مدل عددی به مقیاس نمونه اولیه واقعی
دارد. با استفاده از شباهت فرود، Fr _m = Fr _p ، نسبتهای زیر
به دست میآید:

$$\frac{U_p}{U_m} = \lambda_z^{0.5} \tag{8}$$

$$\frac{d_p}{d_m} = \lambda_z \tag{9}$$

$$PN_{p} = (10^{0.5} * U_{m}) * (10 * d_{m})$$
(10)

که در آن: U_p سرعت متوسط نمونه واقعی، U_p سرعت d_m متوسط نمونه واقعی، d_m متوسط نمونه واقعی، PN_p عمق نمونه مدل عددی، $\lambda_z = 10$ مقیاس عمقی و PN_p عدد پایداری نمونه واقعی میباشند.

۳- نتايج و بحث

۱–۳– صحتسنجی مدل عددی

در تحقیق حاضر برای مدل سیل شهری مورد بررسی، از ۴ حالت مختلف با اندازه مشهای متفاوت و مقایسه افزایش دقت نتایج آنها از روی دادههای آزمایشگاهی در نهایت مشبندی بهینه برای مدل مذکور انتخاب شد. برای این کار طبق جدول ۴ نتایج پروفیل سرعت برای خیابان سمت

M5

جدول ۴ انتخاب مشبندی بهینه بر اساس نتایج پروفیل سرعت برای خیابان سمت راست در محل (X=3.3m)

Table 4 C	Table 4 Choosing the optimal mesh based on velocity profile results for the right street at the location (X=3.3m)								
Computing	Downst the righ	Downstream of the right street		Upstream of the left street		Part urban block		Percentage error	of relative (Re)
network	Mesh size (mm)	Mesh count	Mesh size (mm)	Mesh count	Mesh size (mm)	Mesh count	mesh	U (Average)	U (Near surface velocity)
M1	15	14630	15	12540	12	320139	347309	10	15
M2	12	26656	12	24656	10	561000	702312	9.9	17.5
M3	10	48450	10	43605	8	1116500	1208555	8.31	9.7
M4	9	66253	9	60230	6	2547450	2673933	6.67	3

Smaller than the M4 computing network, requiring a high processing system and spending more time on



Fig. 2 Comparing the results of different turbulence models and laboratory for **a**) Near surface velocity **b**) Depth average velocity

Journal of Hydraulics
??(?), ????
8



شکل ۲ مقایسه نتایج مدلهای آشفتگی مختلف و آزمایشگاهی برای الف) پروفیل سرعت نزدیک سطح آب و ب) پروفیل سرعت

Fig. 3 Velocity contour for different turbulence models and laboratory in cross-section X=4.44m (Mejía-Morales et al., 2021) **شکل ۳** کانتور سرعت برای مدلهای آشفتگی مختلف و آزمایشگاهی در مقطع X=4.44m (Mejía-Morales et al., 2021)

راست در محل (X=3.3m) بدست آمده از شبیه سازی مدل عددی با مدل آزمایشگاهی مقایسه و درصد خطای نسبی (Re) برای هر یک محاسبه گردید. با توجه به نتایج ارائه شده و مقایسه نتایج مدل عددی با مدل آزمایشگاهی مشخص گردید که شبکه محاسباتی (M4) با ۲۶۷۳۹۳۳ تعداد سلول محاسباتی به عنوان مش بهینه انتخاب گردید. همچنین به منظور انتخاب مدل آشفتگی مناسب، نتایج پروفیل سرعت نزدیک سطح آب و متوسط گیری شده در عمق برای خیابان راست در محل (X=3.3m) بدست آمده k-arepsilon از شبیه سازی مدل عددی برای سه مدل آشفتگی Mejía-) او $k - \omega$ و $k - \varepsilon(RNG)$ ، Morales et al., (2021، شکل ۲ ارائه گردید. مطابق شکل $k - \varepsilon(RNG)$ مشاهده می گردد که نتایج مدل آشفتگی ۲ برای هر دو پروفیل سرعت نزدیک سطح آب و سرعت متوسط گیری شده در عمق به ترتیب با خطای نسبی ۳ و ۶/۸ درصد نسبت به سایر مدلهای آشفتگی دارای همبستگی بیشتری با مدل آزمایشگاهی میباشد. همچنین به منظور بررسی کیفی میزان همبستگی مدلهای آشفتگی تحقیق حاضر با مدل آزمایشگاهی کانتور سرعت در جهت (X) برای خیابان راست در محل (X=4.44 m) در شکل (X) آورده شده است. مقایسه کیفی نتایج مدلهای مختلف آشفتگی با مدل آزمایشگاهی برای کانتور سرعت خیابان سمت راست در محل (X=4.44 m) نشان می دهد که مدل آشفتگی (*k – ε(RNG) نسبت* به سایر مدلهای آشفتگی دارای همبستگی بیشتری با مدل آزمایشگاهی میباشد.

بنابراین در تحقیق حاضر مدل آشفتگی ($k - \varepsilon(RNG)$ برای شبیهسازی جریان انتخاب شد.

۲-۳- الگوی جریان در مدل بلوک شهری شاهد عمق و سرعت جریان از مهمترین پارامترهای تعیین میزان خطر سیل شهری میباشند، لذا پیشبینی این پارامترها در محیط شهری دارای اهمیت زیادی است. شکل (۴) توزیع عمق و سرعت جریان در خیابان های بلوک شهری را نشان میدهد. مطابق شکل، مشاهده می گردد در خیابان سمت راست به دلیل دبی زیاد جریان نسبت به ورودی دیگر و وجود سرریز ۴ سانتیمتری در خروجی آن، دارای عمق جریان بیشتری نسبت به سایر خیابانها میباشد. همچنین به دلیل وجود شیب مثبت به سمت خیابان های پایین دست عمق جریان از سمت ورودی به خروجی مقدار کمی افزایش می یابد. مطابق شکل (۴–ب) مشاهده می گردد در خیابان سمت راست مقدار سرعت به دلیل وجود دبی زیاد جریان نسبت به سایر خیابانها بیشتر است. لازم به ذکر است که ماکزیمم نقطهای مقدار سرعت در سمت راست ورودی خیابان پاییندست رخ میدهد. این در حالی است که خیابان بالادست و خیابان سمت چپ دارای سرعت کمتری نسبت به سایر خیابان ها می باشند. همچنین شکل (۵) به منظور تعیین مسیر جریان در طول و عرض خیابانهای بلوک شهری ارائه گردید. مطابق شکل در ابتدای خیابان

بالادست وقوع یک ناحیه چرخشی توسعه یافته مشهود می-باشد. علت شکل گیری این ناحیه، اندر کنش اندازه حرکت طولی در امتداد خیابان راست و اندازه حرکت عرضی در امتداد خيابان بالادست وارد بر يك ذره واقع در محل تلاقى (J-1) می باشد. بدین صورت که توده سیال قبل از رسیدن به نقطه (J-1) به واسطه مکش جانبی اعمالی از طرف خيابان بالادست دچار انحراف عرضی شده و به تدريج به سمت خیابان بالادست کشیده می شود. در ابتدای ورودی خیابان بالادست، اندازه حرکت طولی بر اندازه حرکت جانبی غالب بوده و به این علت جریان از دیواره سمت چپ خیابان بالادست جدا می شود. به تدریج در طول خیابان بالادست از مقدار اندازه حرکت طولی کاسته شده و اندازه حرکت طولی بر اندازه حركت عرضي به واسطه مكش جانبي غالب مي-شود. در اثر این پدیده، به تدریج ناحیه چرخشی بسته شده و جریان ورودی به خیابان بالادست، اندازه حرکت طولی خود را از دست داده و تقریباً با راستای خیابان بالادست همسو می شود. به نحوی که ضمن بسته شدن ناحیه چرخشی، جریان در انتهای خیابان بالادست به حالت تقریباً توسعه یافتگی مجدد میرسد. در بخش ابتدایی خیابان

پاییندست نیز مشابه خیابان بالادست یک ناحیه چرخشی شکل گرفته است که ابعاد آن در مقایسه با ابعاد ناحیه چرخشی در خیابان بالادست بسیار محدودتر میباشد. علت این پدیده را میتوان به موارد زیر مرتبط دانست:

۱- جریان عبوری از خیابان سمت راست ضمن گذر از نقطه (J-1) بخشی از دبی خود را از دست داده و در نتیجه زمان رسیدن به نقطه (J-2) به واسطه کاهش دبی اندازه حرکت طولی کمتری نسبت به نقطه (J-1) داشته و در نتیجه در زمان ورود جریان به خیابان پاییندست، مکش جانبی سریعتر به اندازه حرکت طولی غالب شده و ناحیه چرخشی سریعتر بسته میشود.

۲- مطابق شکل (۴- الف) به واسطه وجود دریچه کنترل عمق در خیابان سمت راست (خرجی ۱)، عمق آب در نقطه (J-2) بیشتر از نقطه (J-1) بوده و این امر موجب کاهش سرعت در امتداد خیابان سمت راست در نقطه (J-2) در مقایسه با نقطه (J-1) شده و موجب تشدید کاهش اندازه حرکت طولی جریان می شود.



Fig. 4 a) Flow depth distribution **b**) Flow velocity in the streets of the city block **شکل ۴ الف**) توزیع عمق و **ب**) سرعت جریان در خیابانهای بلوک شهری





Fig. 5 streamlines in the urban block **شکل ۵** الگوی جریان در محل تلاقی خیابانها در بلوک شهری

Journal of Hydraulics
??(?), ????
10

۳-۳- مطالعه پارامتریک

داد که در تمامی خیابانها، اختلاف میزان عمق بیشترین و کمترین مقدار دبی ورودیها ۱۰ الی ۱۲ درصد میباشد.

۲-۳-۳ سرعت جریان

شکل (۷) نشان دهنده توزیع سرعت در خیابانهای بلوک شهری برای دبیهای مختلف در ورودیها میباشد. برای همه مدلها، مقدار سرعت از ۲ تا ۶۰ سانتیمتر بر ثانیه در نظر گرفته شد که در مقیاس واقعی سرعت بین ۲ تا ۱/۸۹ متر بر ثانیه میباشد. در تمامی مدلها به دلیل دبی زیاد ورودی ۱، بیشترین مقدار سرعت در خیابان سمت راست و در ورودی این خیابان مشاهده میشود. این در حالی است که سرعت در خیابان چپ ۳ تا ۴ برابر کمتر از خیابان راست است. خیابان بالادست دارای یک ناحیه جریان کم سرعت (ناحیه جریان گردشی) که ناشی از برش با جریان در خیابان سمت راست میباشد. به طور متوسط، در بین تمام خیابانها جریان در امتداد این خیابان دارای کم سرعت رین ناحیه میباشد. همچنین نتایج نشان میدهد که خیابان ۱–۳–۳– عمق جریان شکل (۶) نشان دهنده توزیع عمق جریان در خیابانهای بلوک شهری برای دبیهای مختلف ورودیها میباشد. مطابق شکل مشاهده می گردد که در تمامی مدلها خیابان راست و بالادست به ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان عمق میباشند. همچنین مقایسه نتایج نشان میدهد که تغییر دبی در یکی از ورودیها یا خیابانها تاثیر بالقوهای بر روی تغییرات عمق در خیابان چپ یا راست دیگر می گذارد. چپ مدلهای (1.5-40 با 2.5-24)، (2-40 با 2-29) و چپ مدلهای (2.5-20) مشاهده می گردد که با افزایش دبی در ورودی ۱ به ازای دبی ثابت در ورودی ۲، در خیابانهای راست و چپ از سمت پاییندست به سمت بالادست و در خیابانهای بالادست و پاییندست از سمت چپ به راست، عمق جریان افزایش مییابد. همچنین مقایسه نتایج نشان



Journal of Hydraulics
??(?), ????
11



Fig. 6 Flow depth distribution in urban block streets for different discharges at inlets شکل ۶ توزیع عمق جریان در خیابانهای بلوک شهری برای دبیهای مختلف در ورودیها

در خیابان بالادست سرعت متوسط در تمامی مدلها تقریباً در محدوده ۹ تا ۱۱ سانتیمتر بر ثانیه میباشد. لازم به ذکر است در بعضی از مدلها افزایش دبی ورودی ۲ باعث بالا رفتن عمق در طول خیابان بالادست میشود. با رسیدن عمق افزایش یافته به ورودی این خیابان، خیابان سمت راست نیز تحت تاثیر این افزایش عمق قرار گرفته و باعث کاهش سرعت متوسط در ورودی خیابان راست می گردد (به عنوان مثال: 2.5-Q4.5). این در حالی است که خیابان پاییندست متاثر از هر دو دبی ورودی میباشد به طوریکه پاییندست در بین تمامی مدل ها بیشترین طیف سرعت را داشته، که بیشترین مقدار سرعت در این خیابان عمدتاً در امتداد دیوار سمت راست قرار دارد. تفاوت سرعت در عرض خیابان پاییندست دو تا سه برابر میباشد. همچنین همانطور که انتظار میرود میزان سرعت متوسط در خیابان-های راست و چپ به طور مستقیم به میزان دبی ورودی هر خیابان بستگی دارد. به عنوان مثال سرعت متوسط در طول خیابان های راست و چپ در مدل (2.5-Q) نسبت به مدل شاهد (Q4.5-2) به ترتیب ۶ و ۱۲ درصد افزایش داشتهاند.





Fig. 7 Depth average velocity distribution in urban block streets for different discharges at inlets شکل ۲ توزیع سرعت در خیابانهای بلوک شهری برای دبیهای مختلف در ورودیها

با افزایش میزان دبی ورودی ۱ در یک دبی ثابت ورودی ۲، سرعت متوسط در طول خیابان پاییندست افزایش می-یابد.اما با افزایش دبی ورودی ۲ به ازای دبی ثابت ورودی ۱، به دلیل افزایش عمق جریان از انتهای خیابان پاییندست به سمت ابتدای آن، میزان سرعت متوسط در طول خیابان کاهش می یابد.

۳-۳-۳- الگوی جریان

الگوی جریان سیل در خیابانهای بلوک شهری برای دبی-های مختلف در شکل ۸ نشان داده شده است. مطابق شکل مشاهده می گردد که در تمامی مدلها در محل تلاقی دو خیابان الگوهای چرخشی جریان با ابعادهای کوچک و بزرگ تشکیل شده است. نتایج نشان می دهد که بزرگترین طول و عرض الگوهای چرخشی جریان در ورودی خیابان

بالادست تشکیل می گردد که ناشی از وجود اندازه حرکت طولی بیشتر در ابتدای خیابان سمت راست نسبت به سایر خیابانها میباشد. عرض الگوی چرخشی در خیابان بالادست هم عرض خیابان بوده و طول آن بسته به دبی دو ورودی متغیر میباشد. نتایج نشان داد که با افزایش دبی در ورودی ۱ طول الگوی چرخشی افزایش مییابد. این در حالی است که با افزایش دبی در ورودی ۲ به ازای دبی ثابت در ورودی ۱، میزان طول الگوی چرخشی در خیابان بالادست کاهش مییابد. همچنین لازم به ذکر است مسیر جریان ورودی ۲ نشان میدهد که بیشتر جریان ورودی از این خیابان از خروجی خیابان بالادست به بیرون منتقل میشود. به عبارت دیگر بیشتر جریان موجود در خیابانهای بلوک

Q4.5-2



Fig. 8 Streamline in urban block streets for different discharges at inlets شکل ۸ الگوی جریان در خیابانهای بلوک شهری برای دبیهای مختلف در ورودیها

۴–۳–۳– خطر سیل عابران پیادہ

عدد پایداری که یکی از مهم ترین شاخصهای تعیین خطر برای عابران پیاده در هنگام وقوع سیل محلی میباشد با استفاده از رابطه (۱۰) برای نمونه واقعی قابل محاسبه است. در شکل (۹) نقشه خطر سیل عابران پیاده در بلوک شهری برای دبیهای مختلف ارائه شده است. مطابق شکل میتوان دریافت که در تمامی مدلها به دلیل دبی زیاد در ورودی ۱، خیابان راست به عنوان منطقه پر خطر برای عابران پیاده

و خیابان بالادست به عنوان منطقه کم خطر یا امن در سطح بلوک شهری می باشد. همچنین در تمامی مدلها، به دلیل سرعت بالای جریان در سمت راست خیابان پاییندست، سطح خطر برای عابران پیاده قابل توجه می باشد. این در حالی است که سطح خطر در سمت چپ خیابان پاییندست بسیار کم است. در خیابان چپ نیز عموماً منطقه کم خطر حاکم بوده و به دلیل کشیده شدن مسیر جریان به سمت چپ این خیابان (به جهت وجود خروجیها)، در سمت چپ خیابان چپ سطح خطر متوسط می باشد. مقایسه مدلهای در ورودی خیابان راست کاسته میشود. دلیل این امر کاهش سرعت در مدل (2.5-Q4.5) و کاهش عمق جریان در مدل (2.5-Q4.5) در ورودی این خیابان میباشد که باعث پایین آمدن عدد پایداری می گردد. افزایش دبی در ورودی ۱ به ازای دبی ثابت ورودی ۲، به طور عمومی باعث کاهش میزان خطر در خیابان چپ می گردد. همچنین به طور عمومی تاثیر تغییرات دبی در هر دو ورودی بر روی سطح خطر سیل برای عابران پیاده در خیابان بالادست ناچیز میباشد. مختلف نشان میدهد که با افزایش دبی ورودی ۱ و ۲، به طور عمومی میزان خطر به ترتیب در خیابانهای راست و چپ افزایش مییابد. همچنین با توجه به این که دو پارامتر عمق و سرعت جریان در تعیین سطح خطر تاثیرگذار می-باشند لذا تغییر دبی ورودی ۲، نتایج متفاوتی را برروی میزان سطح خطر در خیابانهای راست و پاییندست نشان میزان سطح خطر در خیابانهای راست و پاییندست نشان میزان سطح خطر در خیابانهای راست و پاییندست نشان میزان سطح خطر در خیابانهای راست و پاییندست نشان میزان سطح کطر در خیابانهای راست و پاییندست نشان میزان سلم میان در مدل شاهد (2-4.5) در ورودی حالی است که با افزایش یا کاهش دبی در ورودی ۲، در مدلهای (2.5-2.5) و (24.5-2.5) مقداری از میزان خطر



Fig. 9 Flood risk maps for adult pedestrians in urban block streets for different discharges at inlets

شکل ۹ نقشه خطر سیل برای عابران پیاده بالغ در بلوک شهری برای دبیهای مختلف

مانند تاثیر متقابل موانع ثابت و متحرک موجود در خیابان-های شهر (مانند وسایل نقلیه و غیره) هستند و میتوانند در چینشهای واقعیتر مناطق شهری حتی در طول وقوع سیلاب تغییر یابند.

۵– منابع

[1] Prospects, U. N. (2019). Highlights (ST/ESA/SER. A/423): United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). World Population; 2019.

[2] Field, C. B., Barros, V., Stocker, T. F., & Dahe, Q. (Eds.). (2012). Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press.

[3] De Moel, H. D., Van Alphen, J., & Aerts, J. C. (2009). Flood maps in Europe–methods, availability and use. Natural hazards and earth system sciences, 9(2), 289-301.

[4] Abt, S. R., Wittier, R. J., Taylor, A., & Love, D. J. (1989). Human stability in a high flood hazard zone 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 25(4), 881-890.

[5] Karvonen, R. A., Hepojoki, A., Huhta, H. K., & Louhio, A. (2000). The use of physical models in dam-break analysis. RESCDAM Final Report. Helsinki University of Technology, Helsinki, Finland.

[6] Cox, R. J., Shand, T. D., & Blacka, M. J. (2010). Australian Rainfall and Runoff revision project 10: appropriate safety criteria for people. Water Research, 978, 085825-9454.

[7] Bonham, A., Hattersley, R. (1967). Low level causeways, University of New South Wales, Asutralia. Water Research Laboratory, Technical Report, 100.

[8] Gordon, A. D., & Stone, P. B. (1973). Car stability on road floodways. National Capital Development Commission.

[9] Shu, C., Xia, J., Falconer, R. A., & Lin, B. (2011). Incipient velocity for partially submerged vehicles in floodwaters. Journal of hydraulic research, 49(6), 709-717.

[10] Black, R. D. (1975). Flood Proofing Rural Residences: A" Project Agnes" Report Prepared for the US Department of Commerce, Economic Development Administration. Department of Agricultural Engineering, Cornell University.

[11] Clausen, L., & Clark, P. B. (1990, September). The development of criteria for predicting dambreak flood damages using modelling of historical dam failures. In International conference on river flood hydraulics (pp. 369-380). John Wiley & Sons Ltd. ۴- نتیجهگیری کلی

تحقیق حاضر با تکیه بر مدل عددی، تأثیر تغییرات دبی ورودیها بر جریان سیلاب را بررسی می کند. در این تحقیق برای اعتبارسنجی مدل عددی از مدل فیزیکی (-Mejía Morales et al., 2021) که شامل یک بلوک مستطیلی به عنوان منطقه شهري بدون تخلخل با چهار خيابان اطراف آن، دو ورودی جریان و چهار خروجی استفاده شد. نتایج یروفیل سرعت نزدیک سطح آب و متوسط گیری شده در عمق نشان داد که نتایج مدل آشفتگی $k - \varepsilon(RNG)$ برای هر دو پروفیل به ترتیب با خطای نسبی ۳ و ۶/۸ درصد تطابق خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد. برای بررسی تاثیر تغییرات دبیهای ورودی بر روی مشخصات جریان سیلاب از ۷ نوع دبی مختلف استفاده شد. نتایج مشخص کرد که، خيابان راست و بالادست به ترتيب دارای بيشترين و کمترین میزان عمق، سرعت و عدد پایداری در بین خیابان-ها میباشند. خیابان پاییندست نیز بیشترین طیف یارامترهای عمق، سرعت و عدد پایداری را دارا می باشد. به طوریکه سرعت متوسط در عمق با اختلاف ۲ تا ۳ برابر و ۳ الی ۴ ناحیه خطر برای عابران پیاده در عرض این خیابان رخ میدهد. بنابراین این نتیجه می تواند به عنوان چالشی برای معرفی ناحیه خطر برای عابران پیاده در عرض خیابان پاییندست باقی بماند. با این وجود این نتیجه باید توسط مطالعات بیشتر بررسی گردد.

همچنین نتایج نشان داد که تغییرات دبی در ورودیهای ۱ و ۲ به طور مستقیم بر روی پارامترهای جریان سیلابی در خیابانهای راست و چپ تاثیر میگذارد. همچنین مشخص گردید در برخی از مدلها به ازای دبی ثابت در ورودی۱، افزایش دبی در ورودی ۲ باعث افزایش عمق، کاهش سرعت و کاهش عدد پایداری در ورودی خیابان سمت راست می-شود. در نتیجه، در صورت نیاز به ارزیابی خطر سیل برای محیطهای شهری با هندسههای مختلف، توصیه میشود هنگام تهیه نقشههای خطر سیل احتمال ورود دبیهای مختلف از دیگر خیابانهای شهر در نظر گرفته شود. در نهایت، این نتایج فقط نمایانگر این هندسه ساده خاص با دبیهای ثابت و بدون در نظر گرفتن پارامترهای خاص dependence-based probabilistic approach. Journal of Hydrology, 575, 454-469.

[25] Finaud-Guyot, P., Garambois, P. A., Araud, Q., Lawniczak, F., François, P., Vazquez, J., & Mosé, R. (2018). Experimental insight for flood flow repartition in urban areas. Urban Water Journal, 15(3), 242-250.

[26] Araud, Q., Finaud-Guyot, P., Lawniczak, F., François, P., Vazquez, J., & Mosé, R. (2014). Modeling flood in an urban area: Validation of numerical tools against experimental data. Advances in Hydroinformatics: SIMHYDRO 2012–New Frontiers of Simulation, 207-220.

[27] Ishigaki, T. (2003). Hydraulic model tests of inundation in urban area with underground space. In Proc. of 30th IAHR Congress, Greece, 2003 (pp. 487-493).

[28] Rubinato, M., Lee, S., Martins, R., & Shucksmith, J. D. (2018). Surface to sewer flow exchange through circular inlets during urban flood conditions. Journal of Hydroinformatics, 20(3), 564-576.

[29] Chanson, H. and Brown, R.: New criterion for the stability of a human body in floodwaters, J. Hydraul. Res., 53, 540–541,.

[30] Stovin, V. R., & Saul, A. J. (2000). Computational fluid dynamics and the design of sewage storage chambers. Water and Environment Journal, 14(2), 103-110.

[32] Dewals, B. J., Kantoush, S. A., Erpicum, S., Pirotton, M., & Schleiss, A. J. (2008). Experimental and numerical analysis of flow instabilities in rectangular shallow basins. Environmental fluid mechanics, 8, 31-54.

[33] Kantoush, S. A., De Cesare, G., Boillat, J. L., & Schleiss, A. J. (2008). Flow field investigation in a rectangular shallow reservoir using UVP, LSPIV and numerical modelling. Flow measurement and Instrumentation, 19(3-4), 139-144.

[34] Isenmann, G., Dufresne, M., Vazquez, J., & Mose, R. (2017). Bed turbulent kinetic energy boundary conditions for trapping efficiency and spatial distribution of sediments in basins. Water Science and Technology, 76(8), 2032-2043.

[34] Adamsson, Å., Stovin, V., & Bergdahl, L. (2003). Bed shear stress boundary condition for storage tank sedimentation. Journal of Environmental Engineering, 129(7), 651-658.

[35] Haun, S., & Olsen, N. R. B. (2012). Threedimensional numerical modelling of reservoir flushing in a prototype scale. International Journal of River Basin Management, 10(4), 341-349.

[36] Bazin, P. H., Mignot, E., & Paquier, A. (2017). Computing flooding of crossroads with obstacles using a 2D numerical model. Journal of Hydraulic Research, 55(1), 72-84.

[37] Mignot, E., Paquier, A., & Ishigaki, T. (2006). Comparison of numerical and experimental simulations of a flood in a dense urban area. Water science and technology, 54(6-7), 65-73. Hydraulics Research Limited, Wallingford, England.

[12] Milanesi, L., Pilotti, M., Belleri, A., Marini, A., & Fuchs, S. (2018). Vulnerability to flash floods: a simplified structural model for masonry buildings. Water Resources Research, 54(10), 7177-7197.

[13] Xia, J., Falconer, R. A., Wang, Y., & Xiao, X. (2014). New criterion for the stability of a human body in floodwaters. Journal of Hydraulic Research, 52(1), 93-104.

[14] Arrighi, C., Oumeraci, H., & Castelli, F. (2017). Hydrodynamics of pedestrians' instability in floodwaters. Hydrology and Earth System Sciences, 21(1), 515-531.

[15] Clausen, L., & Clark, P. B. (1990, September). The development of criteria for predicting dambreak flood damages using modelling of historical dam failures. In International conference on river flood hydraulics (pp. 369-380). John Wiley & Sons Ltd. Hydraulics Research Limited, Wallingford, England.

[16] Beck, J., Metzger, R., Hingray, B., & Musy, A. (2002). Flood risk assessment based on security deficit analysis. In EGS General Assembly Conference Abstracts (p. 2121).

[17] Hill, C. (1974). Potential flood damages, Willamette River system. US Army Engineer District, Portland.

[18] Kelman, I., & Spence, R. (2004). An overview of flood actions on buildings. Engineering Geology, 73(3-4), 297-309.

[19] USACE, 1984. Shore Protection Manual, vol. 2, 4th ed. USACE (United States Army Corps of Engineers) Coastal Engineering Research Centre, Washington, D.C., U.S.A.

[20] Lewis, J. (1999). Development in disasterprone places: Studies of vulnerability. ITDG Publishing.

[21] Mejía-Morales, M. A., Mignot, E., Paquier, A., & Proust, S. (2023). Laboratory investigation into the effect of the storage capacity of a city block on unsteady urban flood flows. Water Resources Research, e2022WR032984.

[22] Galuppini, G., Quintilliani, C., Arosio, M., Barbero, G., Ghilardi, P., Manenti, S.,& Creaco, E. (2020). A unified framework for the assessment of multiple source urban flash flood hazard: The case study of Monza, Italy. Urban Water Journal, 17(1), 65-77.

[23] Costabile, P., Costanzo, C., De Lorenzo, G., & Macchione, F. (2020). Is local flood hazard assessment in urban areas significantly influenced by the physical complexity of the hydrodynamic inundation model?. Journal of Hydrology, 580, 124231.

[24] Chen, W., Wang, X., Deng, S., Liu, C., Xie, H., & Zhu, Y. (2019). Integrated urban flood vulnerability assessment using local spatial derivation of turbulence models. SIAM J Sci Comput 7(1):35–61

[43] Celik, I., & Rodi, W. (1985). Simulation of hydrodynamic and transport characteristics of rectangular settling basins. In Transport of Suspended Solids in Open Channels (pp. 129-132). Routledge.

[45] Safarzadeh, A., & Brevis, W. (2016). Assessment of 3D-RANS models for the simulation of topographically forced shallow flows. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 64(1), 83-90.

[46] Launder, B.E., Spalding, D.B., 1972. Lectures in mathematical models of turbulence. Academia Press, London, England.

[47] Wilcox, D. C. (1994). Simulation of transition with a two-equation turbulence model. AIAA journal, 32(2), 247-255.

[38] Macchione, F., Costabile, P., Costanzo, C., & De Lorenzo, G. (2019). Extracting quantitative data from non-conventional information for the hydraulic reconstruction of past urban flood events. A case study. *Journal of Hydrology*, *576*, 443-465.

[39] Mejía-Morales, M. A., Mignot, E., Paquier, A., Sigaud, D., & Proust, S. (2021). Impact of the porosity of an urban block on the flood risk assessment: A laboratory experiment. Journal of Hydrology, 602, 126715.

[40] Li, X., Erpicum, S., Mignot, E., Archambeau, P., Pirotton, M., & Dewals, B. (2021). Influence of urban forms on long-duration urban flooding: Laboratory experiments and computational analysis. *Journal of Hydrology*, *603*, 127034.

[41] Flow Science Inc. (2016) FLOW-3D V 11.2 User's Manual, Santa Fe, NM, USA.

[42] Yakhot V, Smith LM (1992). The renormalization group, the eexpansion and