Iranian Hydraulic Association
Journal of Hydraulics
Vol. 20, No. 2, PP.117-129, Summer 2025

Research Article
https://doi.org/10.30482/jhyd.2024.459974.1705

Two-Dimensional Flood Simulation and Investigating the Effect of Control Structures on the Hydraulic Characteristics of the Flow in the Koran Gate Basin of Shiraz Using UAV and Satellite Data

Mehdi Sohrabi[1], Masih Zolghadr[2*], Mohammadreza Kargar[3]

1- MSc of Irrigation and Drainage, Jahrom University, Jahrom, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Jahrom University, Jahrom, Iran.

3- PhD Student of Remote Sensing, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

[*] **zolghadr.masih@gmail.com**

Received: 2 June 2024
Accepted: 10 September 2024
Discussion: 23 September 2025

J. Hydraul.
Iranian Hydraulic Association
Homepage: www.jhyd.iha.ir

Abstract

Introduction: On April 5, 2018, the city of Shiraz experienced flooding caused by rainfall with a return period of 200 years. More than 200 cars were damaged due to the overflow of the Mesil channel, approximately 3850 urban units were partially damaged and 289 units were completely damaged. Also, 21 people lost their lives, and 119 were injured in this flood. After this incident, the Natural Resources Organization of Fars province implemented preventive measures by constructing 6 dams in the target area. In the present study, the same area has been examined and analyzed through hydraulic simulation. The results of this research can support informed decision-making in urban planning..

Methodology: The study area of this research is located in the central part of Shiraz overing the basin overlooking Shiraz, including the Qur'an Gate basin. The highest altitude within the study area is 2632 meters and the lowest altitude is 1599 meters. The basin borders the Bemo National Park to the north, Shiraz's Qur'an Gate to the south, Anjiri Valley and Khorftkhane Mountain to the east, and Zibashahr town (Akbarabad) to the west. Flow simulation in the river has been conducted by means of two-dimensional numerical model with HEC-RAS version 6 software, which solves the governing equations of the two-dimensional flow, including continuity and momentum equation.

Results and discussion: One of the most important hydraulic variables is flow resistance coefficient, also known as Manning's roughness coefficient. Manning's roughness coefficient contains all the factors that affect the resistance of the channel bed implicitly, and it also indicates the intensity of energy loss in a current. One of the ways to estimate the roughness coefficient is through calibrating numerical models. In this research, Manning's coefficient was first estimated by Kavan's method and then - due to the absence of hydrometric stations - it was evaluated using the floating object method. In Kavan's method, for hydraulic calculations of open channels, as one of the basic information, the coefficient 'n' is estimated based on the channel conditions observed. According to the field observations, three intervals were determined to estimate Manning's coefficient, and then the value of Manning's coefficient was obtained from the above formula. Subsequently, to verify the Manning coefficient results by measuring the velocity of floating objects, roughness coefficient values were

estimated between 0.069 (main channel) and 0.1 (floodplain). After determining the roughness coefficient, in order to start working with the software, first the digital elevations model (DEM) of the target area obtained from the ALOS satellite and integrated to the numerical model. Additionally, the DEM of the data collected by the UAV was also introduced to the model. In general, the construction of flood control structures leads to a decrease in the peak flow and also creates a time delay in the peak of the flood. According to the above forms, the average delay at the peak of flooding in ALOS and UAV models is 18 and 36 minutes, respectively. Therefore, the digital elevation model prepared from the UAV data shows a greater delay in the time of the flood peak than the ALOS satellite digital elevation model. This difference can be attributed to the varying accuracy and spatial references of the two DEM sources.

Conclusion: In this study, DEMs of the Qur'an Gate area in Shiraz, which experienced a catastrophic flood in April 2018, were prepared using UAV and ALOS satellite data. A two-dimensional hydraulic simulation was then performed to evaluate the effectiveness of the constructed flood-control structures. The results show that these structures significantly reduce peak flow and delay its occurrence. On average, a 47% reduction in peak discharge (compared to conditions before the structures were built) and a 36-minute delay in peak discharge occurrence were observed. Additionally, the results indicate that the ALOS model has limited accuracy in estimating flood timing, showing approximately twice the timing error compared to the UAV model. In terms of peak flow reduction estimation, the ALOS model predictions exhibit at least a 30% error. In contrast, the UAV model produces more accurate and realistic results due to better spatial mapping precision and more detailed elevation measurements. Consequently, in similar situations, it is preferable to collect aerial imagery using drones and base decision-making regarding dam placement, flood predictions, and planning on UAV-derived elevation models.

Keywords: HEC-RAS software, UAV, Satellite data, Flood control, Retarding dam.

انجمن هیدرولیک ایران
نشریه هیدرولیک
سال ۲۰، شماره ۲، صفحات ۱۱۷-۱۲۹، تابستان ۱۴۰۴

مقاله پژوهشی
https://doi.org/10.30482/jhyd.2024.459974.1705

شبیه‌سازی دو بعدی سیلاب و بررسی تاثیر سازه‌های مهار کننده بر ویژگی‌های هیدرولیکی جریان در حوضه دروازه قرآن شیراز با استفاده از داده‌های پهپاد و ماهواره

مهدی سهرابی[۱]، مسیح ذوالقدر[۲*]، محمدرضا کارگر[۳]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم، جهرم، ایران.
۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم، جهرم، فارس، ایران.
۳- دانشجوی دکتری سنجش از دور، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

* zolghadr.masih@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۳، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۰، نقد و بررسی: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱ وب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

چکیده: در فروردین ۱۳۹۸ سیلی شدید و زیانبار در حوضه دروازه قرآن شیراز رخ داد. جهت جلوگیری از تکرار این رویداد، سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس شش سد تاخیری در منطقه احداث کرد. هدف از این پژوهش بررسی تاثیر این سدها بر پیش فرض های مختلف سیلاب در منطقه از طریق شبیه‌سازی هیدرولیکی است. در این پژوهش از مدل رقومی ارتفاعی ماهواره ALOS و برداشت پهپاد به عنوان ورودی به مدل عددی HEC-RAS برای شبیه سازی دوبعدی استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی عددی نشان داد که سازه‌های کنترل سیلاب در این منطقه اثرگذارهای قابل ملاحظه‌ای بر مهار سیل در زمان‌های بارندگی شدید که منجر به جاری شدن سیل می‌شوند داشتند. در بخش دیگر پژوهش به مقایسه نتایج شبیه‌سازی هیدرولیکی که با مدل‌های رقومی ارتفاعی پهپاد و آلوس تهیه شده بودند پرداخته شد. نتایج نشان داد که در خروجی‌های مدل پهپاد سدهای مهار سیلاب تا ۴۷ درصد در کاهش دبی بیشینه موثر بودند و زمان اوج سیل تا ۳۶ دقیقه به تاخیر افتاده است. در خروجی ماهواره آلوس مشاهده شد سدهای کنترل سیلاب تا ۱۵ درصد در کاهش دبی بیشینه موثر و زمان اوج سیل تا ۱۸ دقیقه به تاخیر افتاده است.

کلید واژگان: نرم افزار HEC-RAS، پهپاد، داده های ماهواره ای، مهار سیلاب، سد تاخیری.

۱- مقدمه

در ۵ فروردین ۱۳۹۸ در اثر بارندگی با دوره بازگشت ۲۰۰ ساله در شهر شیراز سیل جاری شد. در این سیلاب و در اثر طغیان مسیل در شیراز به بیش از ۲۰۰ خودرو آسیب وارد شد و به ۳ هزار و ۸۵۰ واحد شهری آسیب و زیان جزئی و به ۲۸۹ واحد آسیب و زیان کلی وارد کرده است. همچنین ۲۱ نفر در این سیل جان باختند و ۱۱۹ مصدوم برجای گذاشت. پس از این رویداد سازمان منابع طبیعی استان فارس وارد عمل شد و ۶ سد بر روی منطقه مورد نظر احداث کرد. در این پژوهش نیز همین منطقه مورد بررسی و شبیه‌سازی هیدرولیکی قرار گرفته است. نتایج این تحقیق در تصمیم گیری‌ها و برنامه ریزی‌های شهری می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

سیلاب‌ها، بلایایی با منشاء طبیعی به شمار می آیند، ولی تغییر و دگرگونی هایی که انسان در رودخانه ها و شهرنشینی در کف دره‌ها ایجاد کرده از یک سو و تغییر اقلیم ار سویی دیگر به نوسان، رفتار و شدت سیل ها افزوده است. سیل در حقیقت افزایش ارتفاع آب رودخانه و مسیل و بیرون زدن آب از آن و اشغال بخشی از دشت‌های حاشیه رودخانه می‌باشد که می‌تواند با غرقاب کردن

منطقه باعث وارد آمدن آسیب و زیان بر ساختمان ها و تاسیسات عمومی شده و تلفات انسانی و مالی به همراه داشته باشد.

سیلاب به عنوان از جمله پرخطرترین بلاهای طبیعی شناخته شده است که آسیب و زیان جانی، مالی و طبیعی بزرگی هم در اثر سیل بر جامعه و محیط وارد می‌شود. این روند تلفات و خسارت‌ها در سال‌های اخیر در حال افزایش است و افزایش جمعیت و دارایی‌ها در سیلاب دشت‌ها، تغییر پذیری‌هایی هیدرو سیستم ها، اثرگذاری‌های زیانبار فعالیت‌های انسانی و تغییر اقلیم از جمله علت های بزرگ این روند افزایش بوده است. مهار سیلاب یک امر مسلم و حیاتی است که اغلب به سه روش سازه‌ای، غیرسازه‌ای و ترکیبی انجام می‌گیرد. روش ناسازه‌ای نسبت به روش‌های سازه‌ای بسیار ارزان‌تر است و بنابراین از نظر اقتصادی نسبت به آن‌ها در اولویت قرار دارد. این روش‌ها پیش از سیلاب و یا در هنگام رویداد سیل انجام می‌پذیرد و یا به جهت دور کردن مردم از سیل صورت می‌پذیرد، مانند سیستم‌های پیش‌بینی سیل، احیای جنگل‌ها و پوشش گیاهی، بیمه سیل و غیره. روش‌های سازه‌ای مهار سیل احداث سازه‌هایی مانند سدهای لاستیکی، سدهای مخزنی، سدهای تأخیری، کنترل سیلاب به روش تغذیه مصنوعی، دایک‌ها و غیره. در روش‌های ترکیبی هر دو روش اعم از سازه‌ای و غیرسازه‌ای در منطقه مورد نظر به شکل تلفیقی در نظرگرفته می‌شود. اکنون در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته باورها بر این است که تلفیق روش‌های سازه‌ای و ناسازه‌ای کم هزینه‌تر و مؤثرتر از هر یک از روش‌ها به تنهایی است. اما به هر صورت ارزیابی روش‌های مختلف مهار سیلاب و انتخاب یک طرح بهینه به لحاظ اقتصادی نیازمند درنظرگرفتن سودهای ناشی از آن و هزینه‌های مربوطه خواهد بود (Zolghadr, 2009).

نمونه‌های بسیاری از به کارگیری روش‌های بالا در کشورهای مختلف جهان قابل ذکر است. به عنوان نمونه، ترکیبی از عملیات میدانی و مدل‌سازی برای ارزیابی کمی اثرگذاری‌های تغییر پذیری کاربری زمین و بررسی ساخت سد بر فرایندهای هیدرولوژیکی در حوضه آبخیز رودخانه وودینگ استفاده شد. منطقه مورد مطالعه با افزایش جنگل‌ها و علفزارها، همچنین با کاهش زمین‌های زراعی، از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ دچار تغییر و دگرگونی های مهمی شد. تعداد شمار سد مهار کننده از سال ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰ ساخته شده است. عملکرد رواناب و رسوب در حوضه آبخیز روند کاهشی قابل توجهی را نشان داد به طوری‌که به ترتیب به ۷۵٪ و ۸۹٪ تغییرپذیری‌های کاهشی در رواناب و رسوب منجر شد. همچنین برنامه "دانه‌ای برای سبز شدن" که شامل درختکاری بوده است، منجر به کاهش سطح رواناب و رسوب می‌شود. از سوی دیگر جنگل‌کاری دوباره در مقایسه با پیش‌فرض‌های مربوط به تبدیل زمین‌های زراعی به زمین‌های چمنزار اثرهای نظارتی هیدرولوژیکی بیشتری دارد. افزون بر این، ترکیب احیا و ساخت سد، تأثیر بیشتری بر آبدهی و انتقال رسوب داشت (Shi et al., 2019).

به عنوان یک اقدام مهم مهندسی حفاظت از خاک و آب، سدهای مهار سیل در مقیاس وسیعی در فلات لوس چین ساخته شده است. با این حال، اثرات آنها در رواناب و فرآیندهای رسوب در حوضه هنوز مشخص نیست. در بررسی دیگری، فرآیندهای هیدرودینامیکی از حوضه وانگمائوگو واقع در فلات لوس شبیه‌سازی شد، و تأثیر سدهای مهار در سیل و فرایندهای پویایی فرسایش در این حوضه آبخیز ارزیابی شد. نتایج نشان داد این سدها آشکارا باعث کاهش اوج سیل و حجم سیل و کاهش روند سیل می‌شوند. پس از تکمیل سامانه سد، اوج سیل و حجم سیل به ترتیب ۶۵.۳۴٪ و ۵۸.۶۷٪ کاهش یافت. توزیع دینامیکی فرسایش آبراهه اصلی در حوضه کوچک با ترکیب های مختلف نوع سد به میزان‌های مختلف تغییر یافت و فراسنجه‌های پویایی فرسایش پس از پایان ساخت سامانه سدها، که شامل سرعت و تنش برشی رواناب بودند، بیشترین کاهش را داشتند (Yuan et al., 2019).

در پژوهشی دیگر محاسبه‌های پهنه‌بندی سیلاب رودخانه آجی‌چای در مدل HEC-RAS در حالت جریان دائمی با بستر ثابت محاسبه شد. در گام بعدی، محاسبه‌های پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از جریان شبه‌غیردائمی با بستر متحرک انجام شد و با نتایج حاصل از مرحله پیش مقایسه شد تا میزان تاثیر انتقال رسوب در پهنه‌بندی

سیلاب مشخص شود. مقایسه بین نتایج به دست آمده در دو حالت جریان دائمی (بستر ثابت) و جریان شبه‌دائمی با بستر متحرک نشان داد که در مقطع‌های رسوب‌گذار، عرض سطح آب در حالت جریان با بستر متحرک افزایش می‌یابد. بیشترین میزان این افزایش عرض، ۱۹ درصد می‌باشد، به عبارت دیگر در رودخانه یاد شده، عرض پهنه‌بندی سیلاب در روش جریان دائمی کمتر محاسبه می‌شود. این موضوع ضرورت بررسی شرایط رودخانه از نظر فرسایش و رسوب‌گذاری را تایید کند تا هنگامی که رودخانه حالت رسوب‌گذاری دارد میزان پهنه سیلاب با دقت بیشتری تعیین شود. افزایش پهنه سیلاب در مقطع‌های رسوب‌گذار، به دلیل انباشت رسوب‌ها در مقطع و به دنبال آن افزایش سطح جریان و عرض پهنه‌بندی سیل می‌باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود در رودخانه‌های رسوب‌گذار از مدل شبه غیردائمی (بستر متحرک) برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب جهت تامین ایمنی بیشتر استفاده شود (Azhideh et al., 2023)

در پژوهشی دیگر که توسط (Li et al., 2021) انجام گرفت از داده های LiDAR مبتنی بر پهپاد برای مدل‌سازی سیل با وضوح بالا در یک منطقه کوهستانی کوچک و یک منطقه شهری بزرگ استفاده شد. آنان شبیه سازی‌های سیل را با روش‌های سنتی مقایسه و دریافتند که داده‌های به دست آمده از پهپاد-LiDAR ویژگی‌های دقیقی مانند آبراهه ها و جریان‌های کوچک را که بر رفتار سیل تأثیر می‌گذارند، ثبت می‌کنند. بنابراین، این فناوری به طور قابل توجهی وضوح و دقت مدل های سیل را بهبود می بخشد. در پژوهش (Trepekli et al., 2022) از LiDAR با ترکیب پهپاد به جهت ایجاد مدل‌های رقومی ارتفاعی با وضوح بالا برای سه مکان شهری در منطقه‌ای در کشور غنا استفاده شد. این مطالعه تاثیر داده‌های جانگاری دقیق بر روی مدل‌سازی سیلاب را ارزیابی می‌کند و نشان می‌دهد که مدل‌های زمینی دیجیتال (DTM) با وضوح ۰.۳ متر از پهپادها منجر به مدل‌سازی بهتر و دقیق‌تر سیلاب در مقایسه با DTMهای بزرگتر از ۱۰ متری شدند. افزون بر این، دقت برآورد اوج جریان آب در منطقه‌های مسطح را تا ۶۲.۵٪ در مقایسه با DTMهای بزرگتر را افزایش می دهد. در پژوهش دیگر نرم‌افزار HEC-RAS را با افزونه HEC-GeoRAS به جهت تجزیه و تحلیل خطرهای سیل در رودخانه خزیر در کشور عراق بررسی شد. پژوهشگران دوره های مختلف بازگشت سیل و رویدادهای بارندگی را با دبی های متفاوت ارزیابی کردند. آنان به این نتیجه رسیدند که استفاده از HEC-RAS همبستگی قوی برای سرعت‌ها و عمق‌های مختلف سیل دارد و نشان داد که این مدل برای ارزیابی خطرهای سیل مناسب می باشد (Al-Hossein et al., 2022). در پژوهشی دیگر استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاعی گرفته شده از پهپاد را برای نقشه‌برداری خطر سیل در حوضه‌های کوچک بررسی کردند. آنان عملکرد داده های گرفته شده از پهپاد را با داده های رایگان موجود و سنتی با استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاعی مختلف به عنوان ورودی به یک مدل هیدرولیک دو بعدی (FLOW-2D) را مقایسه کردند. این پژوهش استفاده از پهپادها برای نقشه برداری جانگاری دقیق، که برای مدیریت موثر خطر سیل در حوضه های کوچک ضروری است، بررسی می کند. نویسندگان گزارش کردند که داده های گرفته شده از پهپاد به طور قابل توجهی از داده های سنتی در شبیه سازی سیل بهتر عمل می کنند و دقت بالاتری را در پیش بینی وسعت و عمق سیل نشان می دهند (Annis et al., 2020). در بررسی مدل های رقومی ارتفاعی ساخته شده توسط تصویربرداری پهپاد را با نقطه‌های کنترل زمینی گرفته شده از LiDAR (LCP) برای کاربردهای سیل بررسی شد. در این پژوهش، محققان برآورد سیل را با استفاده از DEM های گرفته شده از پهپاد را با مرجع مبتنی بر LiDAR مقایسه کردند. در این بررسی آنان به این نتیجه رسیدند که استفاده از ارجاع جغرافیایی LCP منجر به تولید مدل های رقومی ارتفاعی با اطمینان عمودی قابل قبول می‌شود و داده های گرفته شده از پهپاد ابزاری مکمل برای LiDAR برای مطالعات سیل در سطح محلی هستند (Escobar Villanueva et al., 2019).

مرور نتایج پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که بیشتر بررسی‌های همانند پیشین به طور عمده در حوضه‌های برون‌شهری بوده است. این پژوهش در حوضه مجاور شهر

با پیشینه ایجاد سیلاب بحران زا، صورت پذیرفته است. همچنین بر خلاف بیشتر بررسی‌های پیشین که از روش آب‌شناختی استفاده کرده‌اند، روش انجام پژوهش، شبیه‌سازی دو بعدی هیدرولیکی جریان غیردائمی می‌باشد. افزون بر این، استفاده از پهپاد در بررسی سیلاب به خودی خود پدیده جدیدی در بررسی‌های مهندسی رودخانه و هیدرولیک است. در طی این تحقیق ضمن بررسی تاثیر سازه‌های احداث شده (سد های سنگی ملاتی با ارتفاع بین ۸ تا ۱۰ متر) بر مهار سیلاب، دقت داده‌های ماهواره‌ای از طریق مقایسه با داده‌های پهپاد مقایسه و ارزیابی شد. همچنین دانستن میزان تاثیر این سازه ها بر مهار سیلاب جزو هدف‌های این پژوهش بوده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه این پژوهش در شهرستان شیراز (بخش مرکزی) و در حوضه مشرف بر شهر شیراز تشکیل شده است و شامل حوضه دروازه قرآن می‌باشد. بیشترین ارتفاع از سطح دریا در منطقه مورد مطالعه ۲۶۳۲ متر و کمترین ارتفاع ۱۵۹۹ متر است. محدوده این حوضه از شمال به پارک ملی بمو، از جنوب به شیراز (دروازه قرآن)، از شرق به دره انجیری و کوه خرفتخانه و از غرب به شهرک زیباشهر (اکبرآباد) منتهی می‌شود. در شکل‌های ۱ و ۲ حوضه آبریز مورد مطالعه و موقعیت سدهای احداثی نشان داده شده است.

۲-۲- شبیه‌سازی عددی

شبیه‌سازی جریان در رودخانه به وسیله مدل عددی دو بعدی و با استفاده از نرم افزار HEC-RAS نسخه ۶ مورد توجه قرار گرفته است، معادله‌های حاکم بر جریان ۲ بعدی که شامل معادله پیوستگی و مومنتوم می‌باشد به صورت زیر است:

معادله پیوستگی دو بعدی:

$$\frac{\partial H}{\partial t}+\frac{\partial (p)}{\partial x}+\frac{\partial (q)}{\partial y}=0 \qquad (1)$$

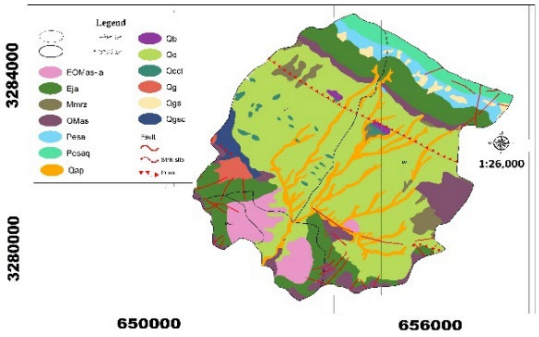

Fig. 1 The catchment area of the region

شکل ۱ حوضه آبریز منطقه

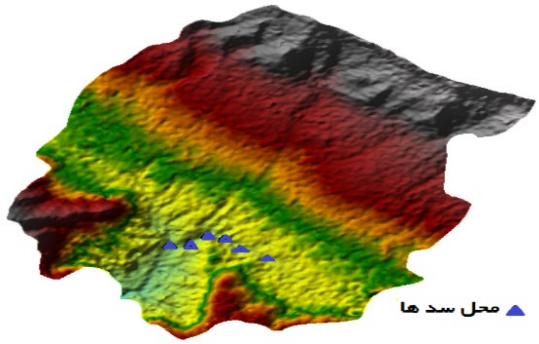

Fig. 2 The location of dams in the catchment area

شکل ۲ موقعیت سد ها در حوصه آبریز

معادله مومنتوم دو بعدی در جهت x:

$$\frac{\partial p}{\partial t}+\frac{\partial (p^2H)}{\partial x}+\frac{\partial (gH^2/2)}{\partial x}+\frac{\partial (pq/H)}{\partial y}=gH\left(\frac{-\partial h_0}{\partial x}-\frac{p\sqrt{p^2+q^2}}{C^2H^2}\right) \qquad (2)$$
$$+\upsilon\left[2\frac{\partial^2 p}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 p}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 q}{\partial x\partial y}\right]$$

معادله مومنتوم دو بعدی در جهت y:

$$\frac{\partial q}{\partial t}+\frac{\partial (q^2H)}{\partial y}+\frac{\partial (gH^2/2)}{\partial y}+\frac{\partial (pq/H)}{\partial x}= \qquad (3)$$
$$gH\left(\frac{-\partial h_0}{\partial y}-\frac{q\sqrt{p^2+q^2}}{C^2H^2}\right)+\upsilon\left[2\frac{\partial^2 q}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 q}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 p}{\partial x\partial y}\right]$$

در این معادله‌ها : H عمق کل آب، h_0 : ارتفاع سطح آب P و q : جریان در واحد طول به ترتیب در جهت x و y، g: شتاب ناشی از گرانش، C: ضریب اصطکاک شزی و ν: لزجت یا گرانروی گردابی.

روش عددی مورد استفاده در مدل مورد استفاده روش احجام محدود می‌باشد.

۲-۳- تعیین ضریب زبری

یکی از مهم‌ترین متغیرهای هیدرولیکی ضریب مقاومت در برابر جریان یا مانینگ است. ضریب زبری مانینگ همه عامل‌هایی که در مقاومت بستر آبراهه اثرگذارند را به صورت پنهان در خودش دارد و همین طور این ضریب شدت افت انرژی را در یک جریان نشان می‌دهد. یکی از راه‌های برآورد ضریب زبری واسنجی مدل عددی می‌باشد که نیاز به داده های آب‌سنجی دارد. در این تحقیق در آغاز ضریب مانینگ به وسیله روش کاون برآورد شده و آن‌گاه با توجه به نبود ایستگاه هیدرومتری- با استفاده از روش جسم شناور ارزیابی شده است. در روش کاون، برای محاسبه‌های هیدرولیکی آبراهه‌های باز، به عنوان یکی از اطلاعات اولیه ضریب n باید با توجه به وضعیت آبراهه مورد پژوهش برآورد شود. شناخت عامل‌های موثر در این ضریب، راه مناسبی در برآورد بهینه ضریب n می باشد. عامل‌های موثر عبارت است از نامنظمی سطح مقطع، میزان زبری بستر آبراهه (جنس آبراهه)، شکل مسیر (مستقیم یا مارپیچ بودن)، پوشش گیاهی (نوع و میزان تراکم)، وجود بازدارنده‌ها در مسیر جریان عبوری که اضافه بر موثر بودن در افت طولی، در مسیر جریان، تا حدودی در برگیرنده افت‌های ناشی از تغییر شکل جریان (افت موضعی) هم هستند.

با توجه به عامل‌های موثری که گفته شد، کاون (Cowan) رابطه ۱ را برای برآورد ضریب n پیشنهاد کرده است.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)\, m_5 \qquad (4)$$

که در این رابطه، n_0 یک ضریب زبری پایه می‌باشد که با توجه به جنس آبراهه برای آبراهه‌های یکنواخت، صاف و مستقیم انتخاب می‌گردد. ضریب های اصلاحی n_1، n_2، n_3، n_4 و m_5 به ترتیب در برگیرنده اثرگذاری‌های نامنظمی سطح مقطع، وجود بازدارنده‌ها در مسیر آبراهه، پوشش گیاهی و درجه مارپیچی بودن مسیر هستند. در این پژوهش با توجه به مشاهده‌های میدانی سه بازه برای برآورد ضریب مانینگ تعیین شده و سپس از رابطه بالا، مقدار ضریب مانینگ به دست آمده است. در ادامه برای درست و دقیق بودن نتایج ضریب مانینگ با استفاده از سرعت جسم شناور میزان ضریب زبری بین ۰.۰۶۹ (برای آبراهه اصلی) تا ۰.۱ (برای سیلابدشت) برآورد شده است.

پس از تعیین ضریب زبری، برای آغاز کار با نرم افزار ابتدا مدل رقومی ارتفاعی منطقه مورد نظر از ماهواره آلوس دریافت و به مدل عددی معرفی شد. در ادامه مدل رقومی ارتفاعی داده‌های برداشت شده به وسیله پهپاد نیز به مدل معرفی شد. جداسازی مکانی داده های ماهواره آلوس ۱۲.۵ متر و داده های پهپاد ۴ سانتی متر بوده است. پهپادی که در این پژوهش استفاده شد، مدل فانتوم چهار پرو با دوربینی ۲۰ مگاپیکسلی با قابلیت ثبت تصویرها در نوارهای قرمز، سبز و آبی بوده است. لازم به یادآوری است که مقایسه داده های ماهواره و پهپاد با انتخاب تعدادی نقطه تصادفی انجام شده و تفاوت داده های ماهواره ای و پهپاد به وسیله محاسبه مجموع مربعات خطا انجام شده که معادل۴/۵متر بوده است. داده های پهپاد نیز به نوبه خود با ایستگاه های زمینی تطبیق یافته اند.

پس از انتقال نگاره های پهپاد به رایانه، پردازش‌های مختلف به منظور ایجاد مدل رقومی سطح (DSM[1]) و اورتوموزاییک به‌وسیله نرم‌افزار Agisoft PhotoScan بر روی تصویرها صورت گرفت. در طول فرآیند پردازش، با استفاده از داده‌های جغرافیایی پیوست شده به هر نگاره، عکس‌ها در کنار یکدیگر منظم می‌شوند. پس از مرتب شدن تصویرها در کنار یکدیگر، فرآیند تناظریابی و ایجاد نقطه‌های گرهی، ابر نقطه‌های تنک با استفاده از الگوریتم SFM، تولید شد. پس از آن به منظور افزایش دقت مدل نهایی استخراج شده، ابر نقطه‌های تنک توسط ایستگاه‌های برداشت بوسیله گیرنده ماهواره‌ای چند بسامدی زمین مرجع شد. پس از پایان این فرآیند به ترتیب ابر نقطه‌های متراکم (PointCloude) و آن‌گاه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با میزان خطای RMSE = 2cm در جهت‌های ارتفاعی و همواری و میزان جداسازی مکانی 5cm تولید شد. به طور کلی فرایند اخذ تصویرها توسط پهپاد و تبدیل آن‌ها به مدل رقومی ارتفاعی در شکل ۲ نمایش داده شده است. پس از دریافت مدل رقومی

1. Digital Surface Model

ارتفاعی از داده‌های ماهواره ALOS با میزان جداسازی مکانی ۱۲/۵ متر، دقت آن با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی پهپاد سنجش شد تا از نتایج آن اطمینان حاصل شد. شایان یادآوری است که بالاترین تفکیک مکانی داده های ماهواره ای رایگان مربوط به ماهواره آلوس می باشد.

مش‌بندی حوضه از ابعاد ۲۵ متری آغاز شد و به مرور اندازه‌های کوچکتر مانند ۲۰ ، ۱۵ ، ۱۲ ، ۱۰ ، ۸ ، ۵ و ۲.۵، ۲ و ۱.۵ متری برای دستیابی به پاسخ‌های پایدار و فیزیکی وهمچنین استقلال پاسخ‌ها از نتایج آزمایش شد. در نهایت مدل رقومی ارتفاعی پهپاد ۲ متری با شمار ۱۳۴۸۴۴ مش و آلوس با اندازه ۱۰ متری مش بندی شده که شمار کل مش ها ۲۳۴۱۱ مش تشکیل شد و شبیه‌سازی انجام شد. برای اجرای مدل و به منظور تثبیت پایداری، عدد کورانت شناور استفاده شد. در این حالت مدل عددی با تنظیم گام زمانی در هر مرحله، ضمن تضمین پایداری، هزینه محاسبه شدنی را کاهش می دهد.

به منظور معرفی شرایط مرزی به نرم افزار از داده‌های بررسی‌های هیدرولوژی حوضه استفاده شد که شامل سیلاب‌های ۱۰۰ ، ۲۰۰ و ۵۰۰ ساله بودند (Absar Co., 2019). بدین منظور در ماهواره آلوس، چهار شرط مرزی در نظر گرفته شد (شکل ۳) که شامل شرط مرزی شامل بالادست (مسیر شمالی، شرقی و غربی) و در انتها شرط مرزی پایین دست در نظر گرفته شد. شرایط مرزی بالادست هرسه مسیر شامل آب نگار جریان و شرط مرزی

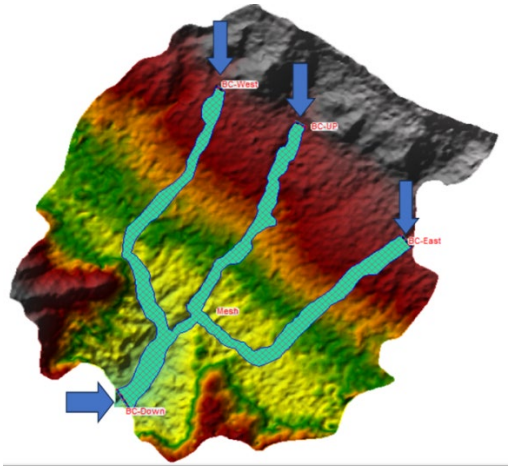

Fig. 3 ALOS satellite model boundary conditions
شکل۳ شرایط مرزی مدل ماهواره آلوس

پایین دست شامل منحنی دبی اشل سازه خروجی بوده است. در شکل شماره ۳ پیکان‌های آبی رنگ محل تعریف شرایط مرزی را نشان می‌دهد.

شرایط مرزی مدل پهپاد با توجه به کوچکتر بودن آن (شکل ۵) از مدل آلوس گرفته شد بدین ترتیب که در مرز ورودی به مدل پهپاد، از مدل آلوس آب‌نگار گرفته شد و این هیدروگراف‌ها به عنوان ورودی وارد نرم افزار در مدل پهپاد شد که موقعیت آن‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است. در شکل ۵ موقعیت مدل رقومی ارتفاعی پهپاد نسبت به ماهواره آلوس نشان داده شده است. لکه‌های سیاه رنگ در مرکز این شکل نشان دهنده موقعیت سدهای احداثی است.

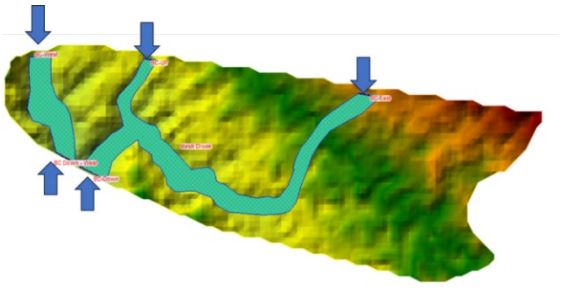

Fig. 4 UAV model boundary conditions
شکل ۴ شرایط مرزی مدل پهپاد

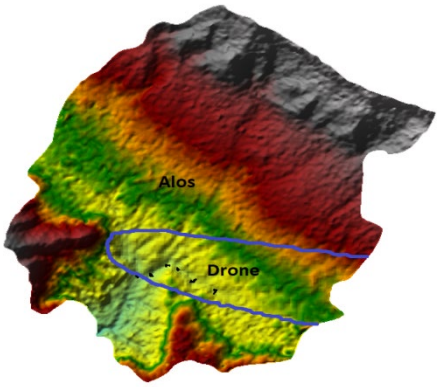

Fig. 5 The boundary of the UAV relative to ALOS model
شکل ۵ محدوده مدل پهپاد نسبت به آلوس

۳- نتایج و بحث

خروجی‌های مدل هیدرولیکی در مقطع‌های عرضی نشان داده شده در اشکال ۶ و ۷ بررسی شد. متغیرهای بررسی شده شامل تغییرپذیری‌های زمانی دبی و عمق جریان در این مقطع‌ها می‌باشد. در شکل‌های ۸ تا ۱۶ شماری از

نتایج و خروجی‌های شبیه‌سازی هیدرولیکی مشاهده شـد. در این نمودارها ws نشان‌دهنده وجود سازه (شـرایط پـس از ساخت سازه) می‌باشد. همچنین عبارت whitout بیـانگر شرایط پیش از احداث سازه است.

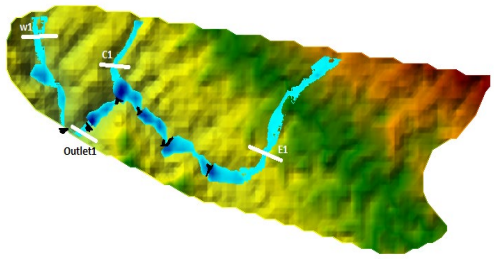

Fig. 6 UAV DEM and the location of cross-sections for data extraction

شکل ۶ مدل رقومی ارتفاعی پهپاد و محل مقطع‌های عرضی استخراج اطلاعات

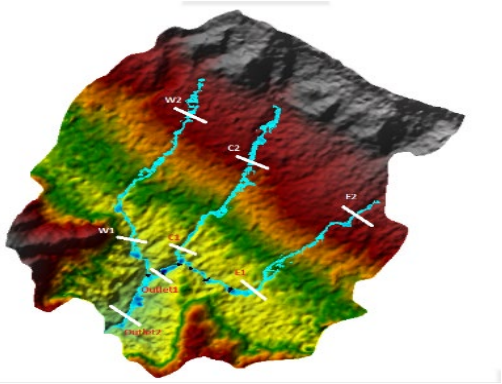

Fig. 7 ALOS DEM and location of cross-sections for data extraction

شکل ۷ مدل رقومی ارتفاعی آلوس و محل مقطع‌های عرضی استخراج اطلاعات

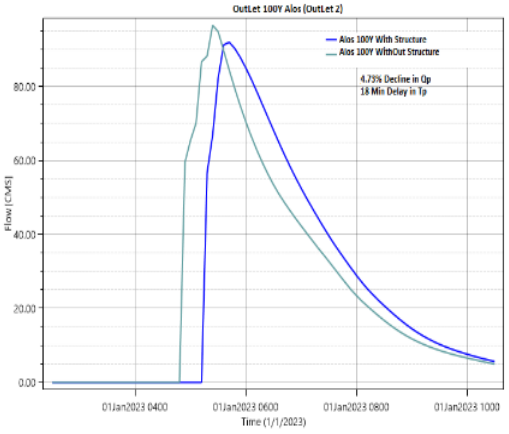

Fig. 8 100-years output of ALOS satellite (With and without a dam)

شکل ۸ خروجی ۱۰۰ ساله ماهواره آلوس (با سد و بدون سد)

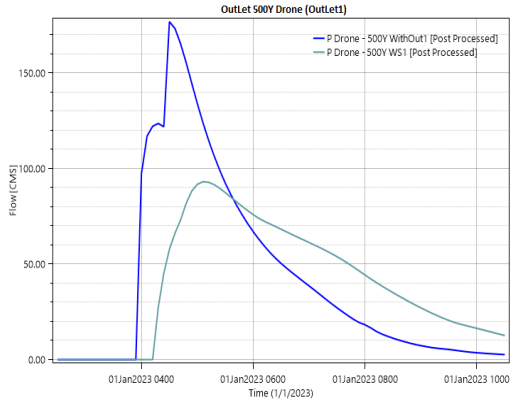

Fig. 9 200-years output of ALOS satellite

شکل ۹ خروجی ۲۰۰ ساله ماهواره آلوس

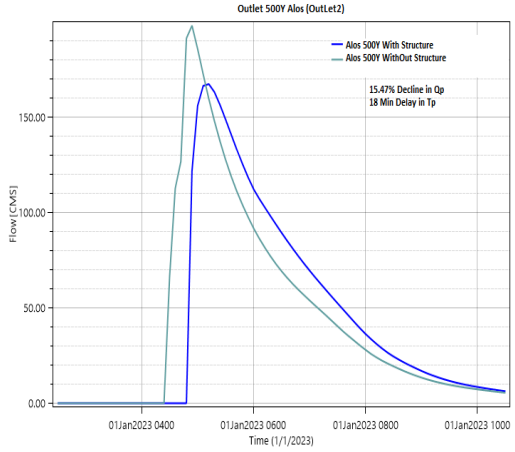

Fig. 10 500-years output of ALOS satellite

شکل ۱۰ خروجی ۵۰۰ ساله ماهواره آلوس

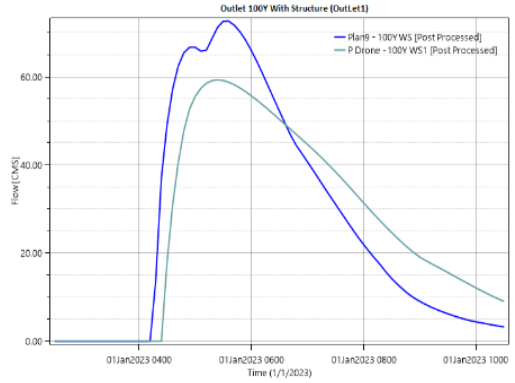

Fig. 11 100-years output of UAV

شکل ۱۱ خروجی ۱۰۰ ساله پهپاد

همان‌طور که مشاهده می‌شود به طور کلی ساخت سازه‌های مهار سیلاب منجر به کاهش دبی اوج و همچنین ایجاد تاخیر زمانی در رویداد بیشینه سیلاب می‌شود. با توجه به شکل‌های بالا، میانگین ایجاد تاخیر در اوج

سیلاب در مدل‌های آلوس و پهپاد به ترتیب ۱۸ و ۳۶ دقیقه است. بنابراین مدل رقومی ارتفاعی تهیه شده از داده‌های پهپاد تاخیر بیشتری در زمان اوج سیلاب را نسبت به مدل رقومی ارتفاعی ماهواره آلوس نشان می‌دهد. دلیل این موضوع را می‌توان به جداسازی مکانی متفاوت دو مرجع بالا مرتبط دانست. جداسازی مکانی ماهواره آلوس ۱۲.۵ متر و تفکیک مکانی داده‌های پهپاد در حد سانتی‌متر است. لذا با توجه به اینکه پستی و بلندی‌ها و عوارض طبیعی زمین در مدل پهپاد دقیق‌تر نشان داده شده، مدت زمانی که جریان آب در یک مسیر مشخص طی می‌کند بیشتر خواهد بود. طبیعی است که با توجه به نزدیک‌تر بودن مدل پهپاد به زمین واقعی نتایج آن نسبت به مدل آلوس دقیق‌تر خواهد بود و می‌تواند مبنای مقایسه قرار گیرد. به بیان دیگر خطای مدل آلوس در پیش‌بینی زمان طی سیلاب قابل ملاحظه و در حد دوبرابر مقدار

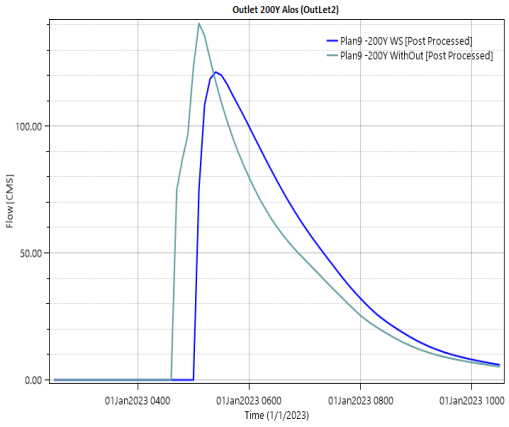

Fig. 12 200-years output of UAV

شکل ۱۲ خروجی ۲۰۰ ساله پهپاد

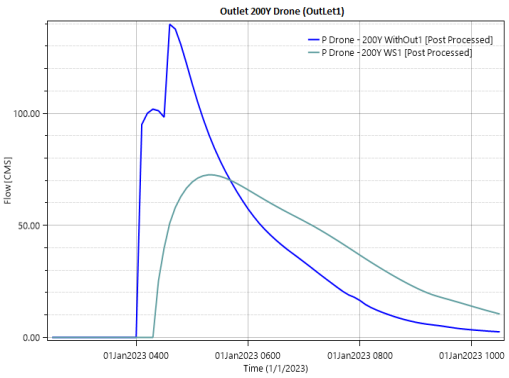

Fig. 13 500-years output of UAV

شکل ۱۳ خروجی ۵۰۰ ساله پهپاد

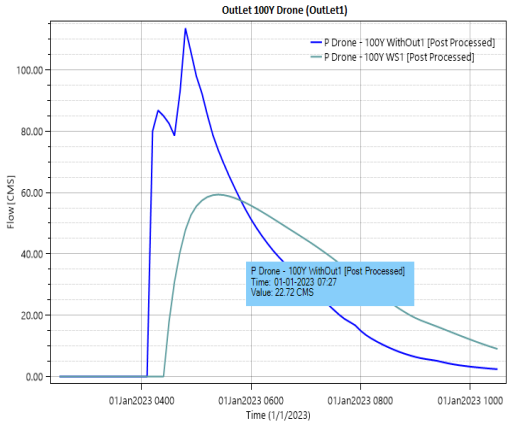

Fig. 14 Comparison of the 100-years output of ALOS and UAV with dam

شکل ۱۴ مقایسه خروجی ۱۰۰ ساله آلوس و پهپاد با سد

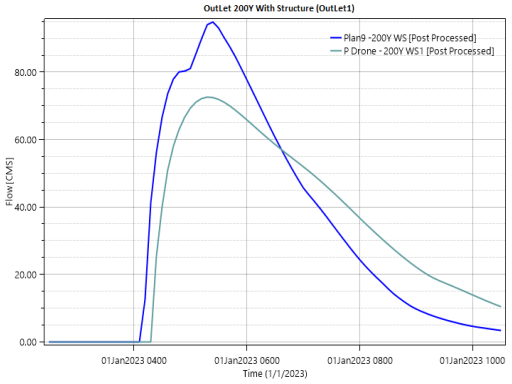

Fig. 15 Comparison of the 200-years output of ALOS and UAV

شکل ۱۵ مقایسه خروجی ۲۰۰ ساله آلوس و پهپاد

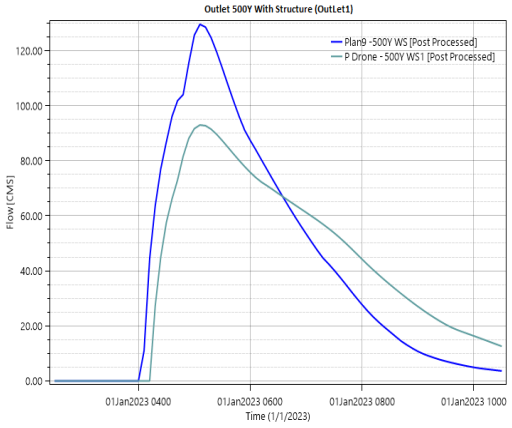

Fig. 16 Comparison of the 500-years output of ALOS and UAV

شکل ۱۶ مقایسه خروجی ۵۰۰ ساله آلوس و پهپاد

واقعی آن برآورد می‌شود. در ارتباط با کاهش دبی اوج، می‌توان نتیجه گرفت که میانگین کاهش دبی اوج در مدل

ماهواره آلوس و مدل پهپاد به ترتیب ۱۱.۳٪ و ۴۷.۶٪ درصد است. به بیان دیگر، هر جند استفاده از داده‌های ماهواره آلوس روند تغییرپذیری‌های دبی اوج در اثر ایجاد سازه‌ها را درست پیش‌بینی می‌کند اما میزان کاهش دبی اوج در اثر اقدام‌های سازه‌ای را در حدود ۳۶٪ کمتر پیش بینی می‌کند. به طورکلی نتایج نشان می‌دهد که هرچند با توجه به رایگان بودن داده‌های ماهواره آلوس می‌توان برای برآورد کلی سیلاب، مسیر سیلاب و تغییرپذیری‌های سیلاب در اثر ایجاد سازه‌ها از آن بهره گرفت اما پیش‌بینی زمان طی سیلاب به وسیله داده‌های این ماهواره همراه با خطا های قابل توجهی بوده و پیش‌بینی افت نقطه اوج سیلاب دست‌کم با سی درصد خطا همراه است.

نتایج این پژوهش با پژوهش‌های Callow & Smettem (2009)، Yoshikawa et al. (2010) و Chen et al., (2023) نیز همخوانی دارد. آنان طی بررسی و ارزیابی‌های خود گزارش کردند که ساخت سازه‌های مهار سیل منجر به کاهش دبی اوج و ایجاد تاخیر در بیشینه سیلاب می‌شود. در یک پژوهش دیگر تاثیر ساخت سدهای مرتعی (سدهایی کوتاه و پراکنده که با هدف ذخیره آب باران از یکسو و آبیاری از سوی دیگر احداث و بهره‌برداری شوند) بررسی و ارزیابی شد و چگونگی مدل‌سازی هیدرولوژیکی و تاثیر ۱۴ درصدی آن‌ها در مهار سیلاب گزارش شد (Nihei et al., 2024). در پژوهش دیگری که در مورد مقایسه مدل رقومی ارتفاعی مستخرج از پهپاد و چندین ماهواره مختلف انجام شد، نتایج نشان داد که شبیه‌سازی سیلاب با داده‌های پهپاد منجر به نتایج دقیق‌تری می‌شود. نتایج این تحقیق می‌تواند در این بررسی نیز مد نظر قرار گیرد (Iqbal et al., 2023). به طور کلی بررسی‌های اخیر نشان می‌دهند که مدل‌های رقومی ارتفاعی مستخرج از پهپاد نتایج درستی برای مدل‌سازی هیدرولیکی در مقایسه با مدل‌های رقومی ارتفاعی مبتنی بر ماهواره ارائه می‌دهند. داده های پهپاد وضوح و دقت بسیار بالایی دارند و هزینه‌ها و زمان کمتری نسبت به LiDAR ، ماهواره یا عملیات میدانی مثل GPS نیاز دارند (Annis et al., 2020). در مقایسه با مدل‌های رقومی ارتفاعی جهانی مانند ALOS، ASTER، SRTM و TanDEM-X، داده‌های پهپاد عملکرد بهتری در پیش‌بینی ویژگی‌های سیل دارند (Parizi et al., 2022). حتی در محیط‌های چالش‌برانگیز گرمسیری، مدل‌های رقومی ارتفاعی مستخرج از پهپاد خطاهایی در محاسبه‌های عمق آب در محدوده‌های قابل قبول و قابل مقایسه با مدل‌های جانگاری با دقت بالا تولید می‌کنند (Mazzoleni et al., 2020) . برای مدل‌سازی جریان‌های سطحی شهری، UAV-DEMنیز پهپاد ها به صورت رقابتی در برابرDEM های مبتنی بر لیدار سنتی عمل می‌کنند و ارتفاع پرواز به عنوان تأثیرگذارترین فراسنجه بر کیفیت مدل رقومی ارتفاعی شناخته می‌شود (Leitão et al., 2015). هر چند پهپاد ها با محدودیت‌هایی از جمله مساحت برداشت کمتر و حساسیت بیشتر به عامل‌های آب و هوایی در مقایسه با داده های ماهواره‌ای روبرو هستند (Rudd et al., 2017; Villa et al., 2016).

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش با بهره‌گیری از داده‌های پهپاد و ماهواره آلوس، مدل رقومی ارتفاعی از حوضه دروازه قرآن شیراز که در فروردین ماه ۱۳۹۸ سیلاب فاجعه‌آفرینی در آن رخ داد تهیه شد. سپس شبیه‌سازی دو بعدی هیدرولیکی به منظور بررسی تاثیر سازه‌های احداث شده بر مهار سیلاب انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که ساخت سازه‌ها تاثیر معناداری بر مهار سیلاب از طریق کاهش دبی اوج و به تاخیر انداختن زمان رویداد آن دارد. به طوری‌که به طور میانگین منجر به کاهش ۴۷ درصدی دبی اوج (نسبت به زمان پیش از ایجاد سازه‌ها) و تاخیر ۳۶ دقیقه ای در رویداد دبی اوج دارد. همچنین نتایج نشان داد که دقت مدل آلوس در برآورد زمان طی سیلاب اندک بوده و دو برابر زمان مدل پهپاد است. در ارتباط با برآورد کاهش دبی اوج نیز پیش‌بینی مدل آلوس دست‌کم با ۳۰ درصد خطا همراه است. نتایج نشان می دهد که مدل پهپاد با توجه به دقت عمل بیشتر در نقشه‌برداری و اندازه‌گیری پستی و بلندی‌ها با مقیاس واقعی‌تر، نتایج بهتر و واقعی را به گزارش کند. در نتیجه بهتر است در این موارد به جای اتکا با دادهای ماهواره ای از پهپاد استفاده شده و بر مبنای مدل تهیه شده با پهپاد اقدام به تصمیم‌گیری در مورد

محل احداث سدها و پیش‌بینی حجم و میزان سیل در منطقه و برنامه‌ریزی‌های مرتبط انجام شود. همچنین پیشنهاد می‌شود با توجه به اهمیت منطقه، در منطقه ایستگاه آب‌سنجی احداث شود.

۵- فهرست نشانه‌ها

H	عمق کل آب (m)
h_0	ارتفاع سطح آب (m)
P	دبی در واحد عرض در جهت x ($m^3/s/m$)
q	دبی در واحد طول در جهت y ($m^3/s/m$)
g	شتاب ناشی از گرانش (m/s^2)
C	ضریب اصطکاک شزی
ν	گرانروی گردابی (Pa.s)

۶- منبع‌ها

Absar Fars Consulting Engineers Company. (2019). Watershed studies of flood control and retarding dams in Darwaza Qur'an basin, Shiraz. (In Persian)

Adelpour, A. & Soufi, M. (2009). Hydraulic Investigation of the Khosar Flood Water Spreading Project to Determinethe Distance of Spreading Channels . *Jwmseir*, *3*(7), 1-6. (In Persian)

AL-Hussein, A.A.M., Khan, S., Ncibi, K., Hamdi, N. & Hamed, Y. (2022). Flood Analysis Using HEC-RAS and HEC-HMS: A Case Study of Khazir River (Middle East—Northern Iraq). *Water 2020*, *14*, 3779, https://doi.org/10.3390/w14223779.

Annis, A., Nardi, F., Petroselli, A., Apollonio, C., Arcangeletti, E., Tauro, F., Belli, C., Bianconi, R. & Grimaldi, S. (2020). UAV-DEMs for Small-Scale Flood Hazard Mapping. *Water 2020*, *12*, 1717, https://doi.org/10.3390/w12061717.

Azizian, A. & Samadi, A. (2017). Two-dimensional simulation of floods in the HEC-RAS 5 numerical model environment, Parsia, Iran, 216p. (In Persian)

Azhideh, M., Aalami, M.T., Abbasi, H. & Malekani, L. (2023). The impacts of sediment transport on the width of Ajichai River flood zoning. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *12*(1), 63-85. (In Persian)

Bulti, A.T. (2021). The influence of dam construction on the catchment hydrologic behavior and its effects on a discharge forecast in hydrological models. *Water Resources Management*, *35*(6), 2023-2037.

Callow, J.N. & Smettem, K.R.J. (2009). The effect of farm dams and constructed banks on hydrologic connectivity and runoff estimation in agricultural landscapes. *Environmental Modelling & Software*, *24*(8), 959-968.

Escobar Villanueva, J.R., Iglesias Martínez, L. & Pérez Montiel, J.I. (2019). DEM Generation from Fixed-Wing UAV Imaging and LiDAR-Derived Ground Control Points for Flood Estimations. *Sensors 2019*, *19*,3205, https://doi.org/10.3390/s19143205.

General Department of Natural Resources and Watershed Management of Fars Province. (2019). Additional watershed studies of flood control and retarding dams in Darwaza Qur'an basin, Shiraz. (In Persian)

Gül, G.O., Harmancıoğlu, N. & Gül, A. (2010). A combined hydrologic and hydraulic modeling approach for testing efficiency of structural flood control measures. *Natural Hazards*, *54*, 245-260.

Iqbal, A., Mondal, M.S., Veerbeek, W., Khan, M. S.A. & Hakvoort, H. (2023). Effectiveness of UAV-based DTM and satellite-based DEMs for local-level flood modeling in Jamuna floodplain. *Journal of Flood Risk Management*, *16*, e12937, https://doi.org/10.1111/jfr3.12937.

Katz, G.L., Friedman, J.M. & Beatty, S.W. (2005). Delayed effects of flood control on a flood-dependent riparian forest. *Ecological Applications*, *15*(3), 1019-1035.

Kim, S.H. & Kim, J.S. (2013). Effect of Chungju Dam operation for flood control in the upper Han River. *KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, *33*(2), 537-548.

Li, B., Hou, J., Li, D., Yang, D., Han, H., Bi, X., Wang, X., Hinkelmann, R. & Xia, J. (2021). Application of LiDAR UAV for High-Resolution Flood Modelling. *Water Resour Manage*, *35*, 1433–1447.

Leitão, J.P., de Vitry, M.M., Scheidegger, A. & Rieckermann, J. (2015). Assessing the quality of digital elevation models obtained from mini unmanned aerial vehicles for overland flow modelling in urban areas. *Hydrology and Earth System Sciences*, *20*, 1637-1653.

Mazzoleni, M., Paron, P., Reali, A., Juízo, D., Manane, J. & Brandimarte, L. (2020). Testing

Plateau of China, *The Science of The Total Environment*, *664*, 984-994.

Trepekli, K., Balstrøm, T., Friborg, T., Fog, B., Allotey, A.N., Kofie, R.Y. & Møller-Jensen, L. (2022). L. UAV-borne, LiDAR-based elevation modelling: a method for improving local-scale urban flood risk assessment. *Nat Hazards*, *113*, 423–451.

Villa, T.F., Gonzalez, F., Miljievic, B., Ristovski, Z.D. & Morawska, L. (2016). An overview of small unmanned aerial vehicles for air quality measurements: Present applications and future prospectives. *Sensors 2016*, *16*(7), 1072, https:// doi.org/10.3390/s16071072.

Yoshikawa, N., Nagao, N. & Misawa, S. (2010). Evaluation of the flood mitigation effect of a Paddy Field Dam project. *Agricultural Water Management*, *97*(2), 259-270.

Yusefi, T., Ahmadi, A., Mohammadi, A. & Hosseinizade, S.M. (2019). Preliminary report of April 2018 Shiraz flood from a geological point of view, https://felezatkhavarmianeh.ir/fa/news/ 32269/. (In Persian)

Yuan, S., Li, Z., Li, P., Xu, G., Gao, H., Xiao, L., Wang, F. & Wang, T. (2019). Influence of Check Dams on Flood and Erosion Dynamic Processes of a Small Watershed in the Loss Plateau. *Water 2019*, *11*(4), 834, https://doi.org/10.3390/w11040834.

Zolghadr, M. (2009). Simulation of Flow Around Dike Breaches and Mapping of Flooded Area, MSc Thesis, University of Shiraz, Shiraz, 142p. (In Persian)

UAV-derived topography for hydraulic modelling in a tropical environment. *Natural Hazards*, *103*, 139-163.

Mei, X., Van Gelder, P.H.A.J.M., Dai, Z. & Tang, Z. (2017). Impact of dams on flood occurrence of selected rivers in the United States. *Frontiers of Earth Science*, *11*, 268-282.

Parizi, E., Khojeh, S., Hosseini, S.M. & Moghadam, Y.J. (2022). Application of Unmanned Aerial Vehicle DEM in flood modeling and comparison with global DEMs: Case study of Atrak River Basin, Iran. *Journal of Environmental Management*, *317*, 115492, https://doi.org/ 10.1016/j.jenvman.2022.115492.

Piria, M., Simonović, P., Zanella, D., Ćaleta, M., Šprem, N., Paunović, M. & Treer, T. (2019). Long-term analysis of fish assemblage structure in the middle section of the Sava River–The impact of pollution, flood protection and dam construction. *Science of the Total Environment*, *651*, 143-153.

Rudd, J.D., Roberson, G.T. & Classen, J.J. (2017). Application of satellite, unmanned aircraft system, and ground-based sensor data for precision agriculture: A review. In: 2017 ASABE Annual International Meeting 1700272, doi:10.13031/ aim.201700272.

Shakarami, L., Ashofteh, P.S. & Singh, V.P. (2022). Disaggregating the effects of climatic variability and dam construction on river flow regime. *Water Resources Management*, *36*(10), 3813-3838.

Shi, P., Zhang, Y., Ren, Z., Yu, Y., Li, P. & Gong, J. (2019). Land-use changes and check dams reducing runoff and sediment yield on the Loess

© 2025 The Author(s). Published by Iranian Hydraulic Association, Tehran, Iran. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.