

Numerical Simulation of Flood Inundation around Aq Qala Industrial State and Remedies for its Protection

Morteza Zanganeh ^{1*}

1- Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Golestan University, Hydroinformatic Research group, Environmental Hazard Institute, Gorgan, Iran.

* m.zanganeh@gu.ac.ir

Received: 8 December 2020, Accepted: 6 May 2021  J. Hydraul. Homepage: www.jhyd.iha.ir

Abstract

Introduction: Aq Qala industrial state is one of the most important infrastructures in Golestan province. The layout of this area in the vicinity of Gorganrood and Gharesoo rivers connected by Gaz channel has increased its vulnerability against medium and large floods. March 2018 flood in Golestan province has just revealed many weak points of this area versus any upcoming floods. Therefore, in this paper, the author tries to remedy Aq Qala industrial state resilience against possible future floods. It is also attempted to find a reliable solution to protect this area. Various numerical models have been developed to simulate flood inundation to delineate the floodplain zones bordering the rivers and calculate the associated risk considering various return periods. Numerical models to simulate floods are categorized into (a) one-dimensional (1D) models, (b) two dimensional (2D) models, and (c) one-dimensional river flow models coupled with two-dimensional floodplain flow (1D-2D) models. In this paper, the two-dimensional behavior of flow flood around the state MIKE-HD model is used to simulate flood flow in the region. To achieve this, initially, the MIKE-HD model was calibrated and validated for the rivers and flood plain at the study area. Subsequently, the flood inundation is simulated using MIKE-HD for various return periods. The simulated flood inundation is validated using March 2018 flood. This flood was one of the biggest flood in the previous 500-year by which many houses were evacuated for three weeks, intensifying by snowmelt for another two weeks. This flood engaged several cities and villages in Golestan Province in Iran, more than 200 km² area at Gorganrood river neighborhood.

Methodology: Many factors and parameters must be considered to simulate flood inundation around the industrial state. The first requirement is topographical data which are essential to find the flood flow direction. In this study, three datasets are used, while the first one goes back to data gathered by photogrammetric operation. More than 6799 hectares are surveyed by drone in this data set with an accuracy of about 20m to 50m. The second one goes back to the ground survey around the industrial state. The last one is related to the Gorganrood topographical data provided by Golestan province Regional Water Organization. After gathering topographical data sets together, an event is considered to calibrate the flood model in the MIKE-HD software with two parameters: water levels and flood inundation. To achieve this, the flood that occurred in March 2018 is chosen as the event. In this flood, many parameters such as the observed flood plain by aerial images and water levels are considered calibration parameters. In the model, the bridge laid on Aq Qala-Gorgan road over Gharehsoo river was taken into account to make the model more accurate. Finally, the model is developed and evaluated versus various floods with different return periods. Results show that the

maximum water level for a 500-year return period is -15.94m CD. Also, results show that flood flow behaviour in the area has a two-dimensional behaviour with low speed. This indicates that protection alternatives like river dikes haven't got any problem to be collapsed by scouring. Also, it is concluded that the obtained water levels for different return periods converge to each other in the highest value of return periods.

Results and Discussion: Obtained results show that the flood flow has a two-dimensional behavior in the study area for all return periods, so floods leading themselves by water level changing and inundation. This confirms two options for industrial state protection against possible future floods. The first one is the construction of walls to protect the area while increasing the foundation levels for the structures can be the second alternative. Changing foundation levels is too complicated now because of building construction and any movement. Besides, to protect the industrial area from runoff inundation construction, some pump stations can be recommended, especially flood times. The pump station is a remedy to convey produced runoff by the site at rainy times on the back of the protection wall, especially in inundation time. Also, results show that a level of about -15.94 CD can be a reasonable level to construct the protection wall as the ultimate level. Not that wave and wind-setup freeboard must be added to this level because of inundation enduring.

Conclusion: In this study, flood flow around Aq Qala industrial state was studied. Results show that the best option for protecting the study area is a flood wall and ten pump stations at the lower level areas. Highlights about the study can be categorized as follows:

1. Simulation of March 2018 flood at the study area
2. Finding final options for the protection of the industrial state against possible future floods.
3. Flood levels for various return periods and their ultimate values
4. Flood behaviour for the flat area like Aq Qala industrial state is showing itself as level fluctuation rather than a high-velocity fluid flow
5. To remedy flood inundation at the study area, considering wave and wind set up as a freeboard to design the protection wall is essential.

Keywords: Inundation, Aq Qala Industrial State, MIKE-HD, Protection, Flood.



© 2021 Iranian Hydraulic Association, Tehran, Iran.
This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)
(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

شبیه‌سازی عددی آبگرفتگی پیرامون شهرک صنعتی آق‌قلا و راهکارهای حفاظت از آن

مرتضی زنگانه^{*۱}

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه گلستان، گروه پژوهشی هیدروانفورماتیک، پژوهشکده مخاطرات محیطی، گرگان.

* m.zanganeh@gu.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۱۸، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۱۶ و وب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

چکیده: این پژوهش به بررسی و ارزیابی آبگرفتگی شهرک صنعتی آق‌قلا و منطقه‌های پیرامونی آن پرداخت و همچنین در آن راهکارهای لازم برای حفاظت از این زیرساخت در برابر سیلاب‌های محتمل بررسی شد. به منظور مدل‌سازی پخش سیلاب در منطقه یاد شده با توجه به رفتار دوبعدی سیلاب‌ها در این منطقه از نرم‌افزار MIKE-HD استفاده شد. در شبیه‌سازی انجام شده، شهرک صنعتی، رودخانه گرگان‌رود و منطقه‌های پیرامونی آن در گستره ای حدود ۶۷۷۹ هکتار مدل‌سازی شد. همچنین مدل یاد شده با استفاده از سیلاب رخ داده در منطقه طرح در اسفندماه سال ۱۳۹۷ و فروردین ماه سال ۱۳۹۸ واسنجی شد. پس از واسنجی مدل موردنظر سیلاب‌های محتمل با دوره بازگشت ۵، ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ ساله در منطقه طرح از منظر آبگرفتگی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که سیلاب‌های مورد نظر همان‌طور که پیش‌بینی می‌شد دارای رفتار دوبعدی بوده و بیشتر به صورت آبگرفتگی در منطقه طرح و با سرعت پایین خود را نمایان می‌کند. همچنین مشخص شد بهترین گزینه برای حفاظت منطقه موردنظر با توجه به سیلاب‌های محتمل آینده دیوار حفاظتی می‌باشد که در طراحی آن باید بالاترین تراز آب موجود را بسته به دوره بازگشت موردنظر طرح در نظر گرفت. به طور مثال بیشینه تراز آب برابر ۱۵/۹۴- متر برای سیلاب ۵۰۰ ساله به دست آمد که تا حدودی معادل بیشینه تراز آب در سیلاب اسفند ماه ۱۳۹۷ و فروردین ماه ۱۳۹۸ است. از سوی دیگر مقایسه بین ترازهای آب در سیلاب‌های مختلف گویای نزدیک‌تر شدن ترازهای آب در سیلاب‌های بزرگتر دارد که این مسئله نیز می‌تواند استفاده از دیواره حفاظتی را به عنوان گزینه نهایی حفاظت از شهرک صنعتی آق‌قلا تایید کند. در پایان و با توجه به وضعیت موجود راهکارهای حفاظتی دیگری نیز برای زیرساخت مورد نظر توصیه شد.

کلید واژگان: آبگرفتگی، شهرک صنعتی آق‌قلا، MIKE-HD، حفاظت، سیل.

۱- مقدمه

بر آن، پیش فرض‌های (سناریوهای) مختلف تخلیه و زهکشی آب سطحی نیز در محل منطقه طرح که کمتر در مطالعات رایج کشور روندی کلاسیک برای این مسئله وجود دارد باید مورد توجه قرار گیرد. به عبارت دیگر، احداث سازه‌های حفاظتی برای زیرساخت‌هایی از این دست باید در تعامل با سیستم زهکش مناسب برای تخلیه آب سطحی شهرک صنعتی باشد که بتوان در هنگام آبگرفتگی بیرون دیواره حفاظتی ناشی از طغیان رودخانه‌های پیرامون واکنش مناسبی را در برابر آبگرفتگی رواناب‌های درون شهرک داشت و در عین حال از ورود آب سیلاب به درون شهرک جلوگیری کرد. سیل فروردین ۱۳۹۸ در استان گلستان ابعاد مهمی از ضعف تاب‌آوری و حفاظت در مقابل سیلاب شهرک صنعتی آق‌قلا را مشخص

شهرک صنعتی آق‌قلا به عنوان بزرگ‌ترین شهرک صنعتی استان گلستان است که نقش مهمی را در توسعه اقتصاد این استان ایفا می‌کند. یکی از مهم‌ترین مسئله‌هایی که در احداث زیرساخت‌هایی مانند شهرک صنعتی آق‌قلا در حاشیه رودخانه‌ها اهمیت زیادی داشته است، بررسی تاثیر رودخانه‌ها و مسیل‌های مجاور بر این زیرساخت احداثی بوده که این مسئله مستلزم بررسی‌های آشناختی (هیدرولوژیکی) و هیدرولیکی حوضه‌های آبریز مجاور منطقه طرح، بررسی سیستم جمع‌آوری آب سطحی در محوطه زیرساخت مورد نظر و تعبیه سامانه (سیستم) مناسب سازه‌ای و غیرسازه‌ای برای محافظت از این زیرساخت در مقابل سیلاب و آبگرفتگی می‌باشد. علاوه

را برای جریان سیلاب دشت^۳ ابداع کردند (Kjelds and Rungo, 2002; Rungo and Olesen, 2003). همچنین ارتش آمریکا در سال ۲۰۰۷ به ابداع مدل یک‌بعدی و دوبعدی HECRAS پرداخت. (Verwey (2001) و Dhondia and Stelling (2002) به مطالعه مدل ترکیبی یک‌بعدی و دوبعدی SOBEK که توسط آزمایشگاهی در موسسه دلفت توسعه داده شد، پرداختند. در منطقه طرح نیز Kardan et al. (2017) به شبیه‌سازی سیلاب ۱۰۰ ساله گرگان‌رود با استفاده از نرم‌افزار CCHE2D در شهر آق‌قلا پرداختند و بازتاب رفتار هیدرولیکی شهر آق‌قلا در برخورد با سیل‌های با این دوره بازگشت برای تدوین برنامه واکنش سریع، مدیریت بحران، بیمه سیلاب برای آن شهر استخراج شد. Hassanzadeh et al. (2019) شبیه‌سازی و پهنه‌بندی سیلابی شهری ناشی از بارندگی‌های شدید، با استفاده از مدل‌های ریاضی بررسی و تجزیه و تحلیل کردند. شبیه‌سازی دوبعدی جریان‌های سیلابی رودخانه گرگان‌رود با دوره بازگشت صد ساله شهر آق‌قلا واقع در استان گلستان، با استفاده از مدل دوبعدی CCHE2D، به عنوان مطالعه موردی انجام شده است. در پژوهش آنان روش کار به این صورت بود که پس از محاسبه کمیت‌های هیدرولیکی مانند، سرعت انتشار و زمان رسیدن امواج، نسبت به تعیین عمق و سرعت جریان به عنوان شاخص‌های مخاطره اقدام و سرانجام، نقشه‌های گسترش پهنه سیلاب تهیه و ارائه شد. نتایج بررسی‌ها گویای آن است که با توجه به نقشه‌های شاخص مخاطره در محدوده شهر آق‌قلا، اغلب منطقه‌های متأثر از سیلاب، در وضعیت پر خطر قرار گرفته و در نتیجه، تخلیه شهر مسئله‌ای ضروری به نظر می‌رسد.

با توجه به موارد یاد شده هدف در این پژوهش بررسی راهکارهای افزایش تاب‌آوری شهرک صنعتی آق‌قلا در برابر سیل می‌باشد که با استفاده از نرم‌افزار MIKE-HD صورت می‌گیرد. اما کارهای انجام شده در این زمینه همواره باید واسنجی و تدقیق شوند که در این راستا سیل رخ داده در اسفندماه ۱۳۹۷ و فروردین ماه ۱۳۹۸ به عنوان مبنا در این پژوهش بررسی می‌شود. در استفاده از این نرم‌افزار موارد بسیاری را می‌توان نام برد. (Patero et al. (2009) با استفاده از

کرد. بی‌تردید ارائه راهکارهایی برای علاج بخشی متناسب با وضعیت رودخانه‌های پیرامون بدون در نظر گرفتن، شرایط هیدرولوژیکی و هیدرولیکی حاکم بر رودخانه، سیلاب‌های طرح، ترازهای محتمل سیلابی، رفتن زیرساخت‌هایی مانند پل ها و آبراهه‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد.

از آنجایی که در تحلیل هیدرولیکی سیل و آبگرفتگی باید نسبت به پیش فرض‌های محتمل آگاهی لازم را داشت، بنابراین در این بخش به کارهای انجام شده در زمینه مدیریت سیلاب و مدل‌سازی با استفاده از مدل‌های عددی در ایران و در کشورهای دیگر پرداخته می‌شود. در سال‌های نه چندان دور محققان زیادی به استفاده از مدل‌های عددی برای تعیین پهنه سیلاب مبادرت کرده‌اند (Werner, 2004; Bates et al., 2005) و در این راستا از مدل‌های عددی مختلفی استفاده شده است. عمده این مدل‌ها یک‌بعدی و یا دوبعدی بوده و در مواردی نیز به صورت ترکیبی متشکل از مدل‌سازی یک‌بعدی و دوبعدی می‌باشند. مدل‌های یک‌بعدی مختلفی توسط موسسه‌های تحقیقاتی گوناگون ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به نرم‌افزار MIKE 11 که توسط موسسه هیدرولیک دانمارک (DHI, 1997) توسعه داده شده، اشاره کرد. مدل دیگر نرم‌افزار SOBEK-1D می‌باشد که توسط دانشگاه صنعتی دلفت^۱ توسعه داده شده است (Werner, 2001). از جمله موارد دیگر می‌توان به نرم‌افزار HECRAS یک‌بعدی توسعه داده شده توسط ارتش آمریکا اشاره کرد. مدل‌های یک‌بعدی ارائه شده توسط این سازمان‌ها توانایی استخراج اطلاعات با ماهیت دوبعدی مانند میدان سرعت را ندارند، بنابراین با توسعه مدل‌های دوبعدی مانند نرم‌افزار MIKE 21، نرم‌افزار DELFT-FLS و نرم‌افزار Delft3D و HECRAS 2D به حل این مسئله پرداخته شد. در این مدل‌ها در مواردی جهت تحلیل جریان باید از یک شبکه‌بندی ریز در محل رودخانه‌ها استفاده کرد که منجر به افزایش هزینه محاسباتی مدل می‌شود. بنابراین در مواردی با ترکیب مدل یک‌بعدی و دوبعدی به مدل‌سازی پدیده‌های سیل با دقت مناسب مبادرت می‌شود. در سال ۱۹۹۹ شرکت DHI^۲ به ترکیب مدل یک‌بعدی MIKE 11 و مدل دوبعدی MIKE 21 مبادرت کرد و نرم‌افزار MIKE FLOOD

³ Flood plain¹ Delft University of Technology² Danish Hydraulic Institute

مدل ترکیبی یک‌بعدی و دوبعدی MIKE FLOOD به مدل‌سازی آبگرفتگی منطقه‌های پیرامون رودخانه مهندادی^۱ در هندوستان پرداختند. مدل آن‌ها در قسمت یک‌بعدی با استفاده از جریان عبوری و در قسمت دوبعدی با استفاده از ترازهای آب سطحی رودخانه ثبت شده در سال ۲۰۰۲ واسنجی شد. (Naserian et al. (2013) نیز به مدل‌سازی سیلاب‌دشت منطقه پیرامون رودخانه کالجوی چابهار پرداختند. نتایج مدل‌سازی هیدرودینامیکی سیلاب رودخانه کاجو توسط مدل یک بعدی-دوبعدی MIKE FLOOD برای سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله ارائه و طرح مناسب علاج بخشی سیل و کاهش آسیب و زیان آن در منطقه پیشنهاد شد. در منطقه شهرک صنعتی آق‌قلا با توجه به حرکت سیل به صورت سیلاب دشت عموماً به طور معمول فتار سیلاب به صورت آبگرفتگی خود را نمایان می‌کند. به همین جهت، در این پژوهش با توجه به رفتار دوبعدی سیل‌های حادث در منطقه اطراف شهرک صنعتی آق‌قلا از نرم‌افزار MIKE-HD برای شبیه‌سازی سیلاب استفاده می‌شود و سعی در مدل‌سازی حرکت سیل یا به عبارتی آبگرفتگی منطقه پیرامون شهرک مذکور می‌شود و در نهایت گزینه‌هایی حفاظت شهرک انتخاب می‌شود. به همین منظور، در این پژوهش پس از بررسی کارهای انجام شده در منطقه طرح و جهان در گام دوم به شناسایی منطقه طرح پرداخته می‌شود. در بخش سوم نیز نرم‌افزار MIKE-HD بررسی می‌شود. در بخش چهارم سیلاب اسفند ۱۳۹۷ و فروردین ۱۳۹۹ ارزیابی می‌شود. همچنین در این بخش چگونگی آبگرفتگی منطقه شهرک صنعتی در اثر سیلاب یادشده که ابزاری برای واسنجی مدل پخش سیلاب می‌باشد، بحث و بررسی می‌شود. در پایان نیز چگونگی آبگرفتگی این منطقه‌ها و همچنین راه‌کارهای جلوگیری و تاب‌آوری این زیرساخت در برابر سیلاب‌های مختلف رودخانه‌های گرگان‌رود و قره‌سو بررسی می‌شود.

۲- منطقه مورد بررسی

محل پروژه شهرک صنعتی آق‌قلا در شمال استان گلستان و با فاصله حدود ۱۵ کیلومتر از شهر گرگان و در محدود شهرستان آق‌قلا در نزدیک رودخانه‌های گرگان‌رود، قره‌سو و کانال انتقال

آب سیلاب از رودخانه قره‌سو به گرگان‌رود با عنوان آبراهه (کانال) گز می‌باشد. از نظر جغرافیایی نیز این زیرساخت در محدوده مختصاتی بین ۲۷۱۷۸۶.۰۰ طول شرقی و ۴۰۹۴۱۳۷.۰۰ عرض شمالی و ۲۷۳۹۸۴.۰۰ طول شرقی و ۴۰۹۶۲۷۷.۰۰ عرض شمالی (زون UTM 40s) واقع شده است (شکل ۱). همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است شهرها و آبادی‌های منطقه به صورت پراکنده و با فاصله به نسبت کم از هم قرار گرفته‌اند. همچنین از مهم‌ترین زیرساخت‌های موجود در این منطقه می‌توان به فرودگاه گرگان اشاره کرد که دارای اهمیت زیادی به ویژه در هنگامه‌های بحران در استان گلستان می‌باشد. نکته مورد نظر در این منطقه را می‌توان به آبراهه (کانال) ارتباطی به طول ۸/۷ کیلومتر با عنوان آبراهه (کانال) گز بین رودخانه گرگان‌رود و قره‌سو جستجو کرد که در هنگام سیلاب‌دشت جهت انتقال آب بین این دو رودخانه عمل می‌کند. مسئله جالب توجه در رابطه با این کانال را می‌توان در انتقال آب رودخانه گرگان‌رود به رودخانه قره‌سو در سیل اسفند ۱۳۹۷ و فروردین سال ۱۳۹۸ اشاره کرد که نوعی عملکرد معکوس بوده و منجر به آبگرفتگی شهرک صنعتی شد. لازم به یادآوری است که حداقل فاصله رودخانه قره‌سو با شهرک صنعتی آق‌قلا به حدود ۲۵ متر می‌رسد که این مسئله نیز می‌تواند نشان دهنده آمادگی و توان آبگرفتگی منطقه شهرک نزدیک به این کانال در مواقع سیلابی باشد (شکل ۱). همچنین پل جاده گرگان-آق‌قلا نیز به عنوان بازدارنده‌ای در برابر تخلیه سیلاب با دو دهانه ۴ در ۸ متر بوده که در شکل نمایش داده شده است. به منظور مدل‌سازی پدیده‌های تاثیرگذار بر طراحی سیستم حفاظتی شهرک صنعتی آق‌قلا و بررسی آب‌پویایی (هیدرودینامیک) سیل مربوط به آن، تعیین پستی و بلندی (توپوگرافی) زمین چه در منطقه شهرک و چه در کل محدوده طرح شامل زیرساخت‌های مهم دارای اهمیت زیادی می‌باشد. با توجه به نقشه‌برداری انجام شده در منطقه طرح زهکشی به طول ۴/۶ کیلومتر منطقه موردنظر را در پیرامون شهرک احاطه کرده است. این در حالی است که طول حدود ۱۸۰۰ متر نیز از شهرک صنعتی توسط جاده گرگان-آق‌قلا احاطه شده است. نکته دیگر در توپوگرافی منطقه طرح به نقشه‌های توپوگرافی استخراج شده توسط سازمان نقشه‌برداری که دقتی حدود ۲۵ تا ۵۰ متر را شامل بوده،

¹ Mahanadi

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial x} = f\bar{u}\bar{h} - gh\frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial y} \\ - \frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{t_{sy}}{\rho_0} - \frac{t_{by}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial s_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial s_{yx}}{\partial x}\right) + \\ \frac{\partial}{\partial x}(hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y}(hT_{xy}) + h\nu_s S \end{aligned} \quad (3)$$

که در آن:

$\eta = d + h$ که در آن d ، عمق میانگین آب و h ، تراز سطح آب است.

ω : نرخ چرخش زاویه‌ای

$\bar{v}, \bar{u}$: مولفه‌های سرعت میانگین گیری شده در عمق به ترتیب

در راستای y, x بوده که از رابطه زیر محاسبه می‌شوند:

$$h\bar{u} = \int_{-d}^{\eta} u dz, \quad h\bar{v} = \int_{-d}^{\eta} v dz, \quad (4)$$

$f = 2\omega \sin \phi$: اثر کریولیس است که در آن ϕ عرض جغرافیایی می‌باشد.

ρ : چگالی

ρ_0 : چگالی مبنا

S : میزان دبی در نقطه‌های منبع

(u_s, v_s) : سرعت ورود آب در نقاط منبع

x, y : مولفه‌های مختصات

$S_{xy}, S_{xx}, S_{yy}, S_{yx}$: مولفه‌های تانسور تنش تشعشعی که در

مدلسازی جریان‌های دریایی به منظور اثر شکست موج لحاظ می‌گردد که در این پژوهش اثر آن صفر می‌باشد.

t : زمان

$\bar{g}$: شتاب جاذبه زمین

$(t_{sx}, t_{sy}, t_{bx}, t_{by})$: مولفه‌های تنش برشی ناشی از اصطکاک در

کف و ناشی از باد در سطح.

T_{ij} : تنش برشی افقی ناشی از آشفتگی است که توسط

رابطه‌های زیر برآورد می‌شوند:

$$T_{xx} = 2A\frac{\partial \bar{u}}{\partial x}, \quad T_{xy} = A\left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y}\right), \quad T_{yy} = 2A\frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \quad (5)$$

که در آن A ضریب لزجت گردابه‌ای است.

۴- بررسی سیلاب اسفندماه ۱۳۹۷ و فروردین

ماه ۱۳۹۸

به منظور واسنجی مدل عددی پخش دوبعدی سیلاب در این

اشاره کرد که دارای گسترده‌ای حدود ۶۷۹۹ هکتار در طول و عرض ۸/۵ کیلومتر می‌باشد. با تجمیع این نقشه‌ها به اضافه نقشه برداشت شده از رودخانه گرگان‌رود توسط شرکت آب منطقه‌ای گلستان توپوگرافی منطقه طرح مانند شکل ۲ استخراج شد. توجه به شکل مشخص می‌کند که شهرک صنعتی آق قلا خط القعر مسیل آبراهه گز قرار دارد که آمادگی و توان زیادی در آبگرفتگی این منطقه وجود دارد و از لحاظ توپوگرافی نیز این ناحیه در منطقه دشتی واقع شده است که شیب عمومی آن از شمال شرق به جنوب غربی است.

۳- نرم‌افزار MIKE-HD

همان‌طور که گفته شد، به منظور توسعه مدل هیدرولیکی جریان پخش سیلاب نیز در این پژوهش از ماژول HD نرم‌افزار دوبعدی MIKE 21 (DHI FM User Manual, 2009) استفاده می‌شود. در مدل‌سازی عددی انتشار جریان با توجه به بررسی‌های گذشته و حاکم بودن رفتار دوبعدی بر پدیده آبگرفتگی پیرامون شهرک صنعتی آق قلا از این نرم‌افزار استفاده می‌شود. معادله‌های دوبعدی در این نرم‌افزار در واقع معادله‌های جریان میانگین‌گیری شده در عمق می‌باشند. این معادله‌ها شامل یک معادله پیوستگی و دو معادله بقاء اندازه حرکت (در دو بعد x و y) بوده و به کمک این دستگاه معادله‌های، سه مجهول عمق آب (h) و دو مؤلفه سرعت که در دستگاه مختصات کارترین $(\bar{u}, \bar{v})$ بوده، قابل محاسبه است. دستگاه معادله‌های یاد شده عبارت اند از:

- معادله پیوستگی:

$$\frac{\partial h\rho}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = hS \quad (1)$$

- معادله بقاء اندازه حرکت در جهت x :

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial y} = f\bar{v}\bar{h} - gh\frac{\partial \eta}{\partial x} - \\ \frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{t_{sx}}{\rho_0} - \frac{t_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y}\right) + \\ \frac{\partial}{\partial x}(hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y}(hT_{xy}) + hu_s S \end{aligned} \quad (2)$$

- معادله بقاء اندازه حرکت در جهت y :

منطقه طرح از داده‌های سیل اخیر در رودخانه گرگان‌رود که در اسفند ۱۳۹۷ و فروردین ۱۳۹۸ رخ داده استفاده می‌شود. شکل ۳ چگونگی جانمایی ایستگاه‌های ثبت دبی در این رودخانه و انشعاب‌های آن را نمایش می‌دهد. بر مبنای اطلاعات دریافت

شده مقدار دبی اوج خروجی سرریز سد گلستان در زمان رخداد سیل، ۵۴۵ متر مکعب بر ثانیه است. همچنین برای ایستگاه آبسنجی گنبد، میزان دبی اوج سیلاب ۵۱۷ متر مکعب بر ثانیه است. در ایستگاه آبسنجی آرازکوسه میزان دبی اوج سیل ثبت



Fig.1 Aq Qala industrial state layout
شکل ۱ موقعیت جغرافیایی شهرک صنعتی آق‌قلا

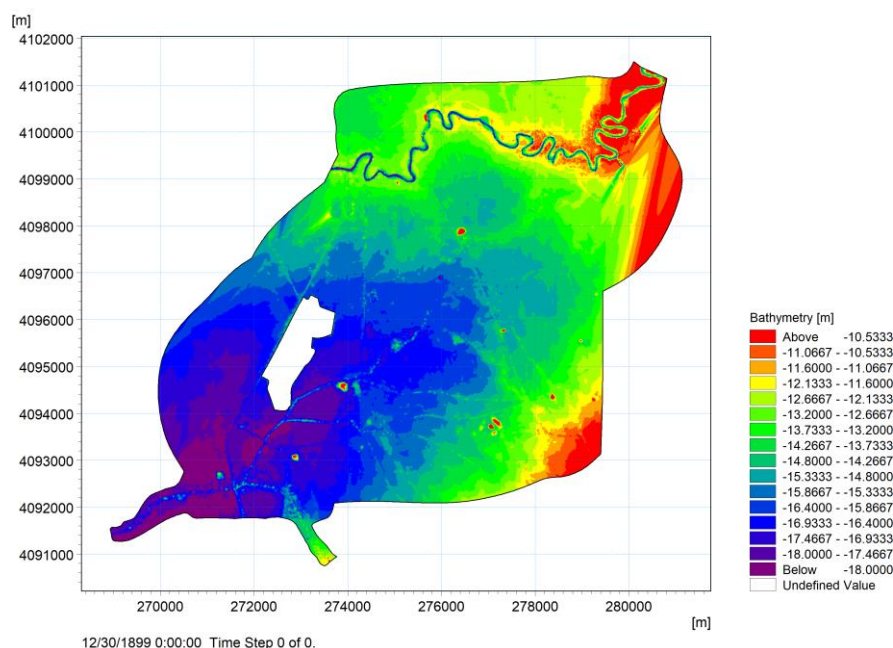


Fig.2 The topography of the study area
شکل ۲ عوارض منطقه طرح

در ایستگاه‌های آبسنجی قزاقلی و ارازکوسه، آب‌نگار سیل به ترتیب در روزهای ۱۳۹۷/۱۲/۲۹ و ۱۳۹۷/۱۲/۲۸ به اوج خود رسیده و پس از آن با شیب تندی فروکش کرده است (شکل ۴). مقدار دبی اوج مجموع دو میزان‌های سیل گنبد و ارازکوسه ۷۶۴ مترمکعب بر ثانیه و دبی اوج آب‌نگار سیل ایستگاه قزاقلی ۷۵۰ مترمکعب بر ثانیه است. این آب‌نگارها به همراه حداکثر تراز آب مشاهده شده در شهرک صنعتی در هنگام سیلاب که در ۱۶- متر نسبت به آب‌های آزاد در دسترس بوده با توجه به نزدیکی به منطقه آق‌قلا به عنوان آب‌نگار مورد نیاز برای واسنجی مدل عددی دوبعدی توسعه داده شده در منطقه شهرک صنعتی استفاده می‌شود.

۵- مدل‌سازی حرکت جریان سیلاب در محدوده شهرک صنعتی

همانطور که پیشتر گفته شد، در طراحی سامانه حفاظتی شهرک صنعتی آق‌قلا که در محدوده رودخانه‌های گرگان‌رود و قره‌سو وجود دارد، تعیین میزان بالآمدگی آب دارای اهمیت زیادی برای تعیین راهکارهای محافظت در برابر سیلاب‌های آینده می‌باشد. به همین منظور، در این قسمت به تعیین میزان بالآمدگی آب در منطقه طرح در سیلاب‌های با دوره بازگشت مختلف پرداخته می‌شود. با در نظر گرفتن دو عدد آبگذر به عرض ۸ متر و ارتفاع ۴ متر به عنوان پل رودخانه قره‌سو در جاده گرگان-آق‌قلا به بررسی چگونگی تغییر پذیری تراز آب در پیرامون شهرک پرداخته می‌شود. شکل ۵ محدوده مورد بررسی در نظر گرفته شده را به همراه محل ورود رودخانه قره‌سو و گرگان‌رود را در مدل نمایش می‌دهد. همچنین پل تعبیه شده در این مرحله به صورت عنصر (المان) خطی بر روی جاده گرگان-آق‌قلا در نرم‌افزار موردنظر در نظر گرفته شده است.

۵-۱- تهیه فایل شبکه‌بندی

داده‌های مورد نیاز برای تهیه فایل عوارض بر مبنای عکس‌های هوایی پس از رخداد سیل در محدوده طرح تهیه شده است. شکل ۲ عوارض تهیه شده از منطقه مورد نظر را از داده‌های عکس‌های هوایی موجود نشان داده که در آن تراز کف از ۱۸- تا حدود ۱۴- متغیر می‌باشد، است. پس از تهیه فایل عوارض، محدوده در نظر گرفته شده شبکه‌بندی شده که شکل ۶

شده ۳۵۵ متر مکعب بر ثانیه است. این در حالی است که در ایستگاه آبسنجی قزاقلی دبی اوج سیل ۷۵۰ مترمکعب بر ثانیه بوده و به علت تخریب ایستگاه آبسنجی سد وشمگیر در نتیجه سیلاب، دبی اوج سیلاب در محل این ایستگاه آبسنجی قابل تعیین نمی‌باشد، لازم به یادآوری است دبی اوج خروجی سرریز سد وشمگیر برابر ۶۶۶ متر مکعب بر ثانیه بوده است. در ایستگاه آبسنجی باغه سالیان میزان دبی پیک سیلاب ۷۷ مترمکعب بر ثانیه ثبت شده است. همچنین در ایستگاه آبسنجی سیاه‌آب واقع در خروجی حوضه قره‌سو مقدار دبی اوج سیل ۴۴ متر مکعب بر ثانیه نشان داده است. میزان دبی اوج سیلاب ثبت شده در ایستگاه آبسنجی سرمو ۳۹ متر مکعب بر ثانیه بوده است. به علت شرایط ناهمواری و عوامل تشدید کننده سیل مانند عدم لایروبی، عدم احداث دیواره‌های کناری و ... منطقه بین سد وشمگیر و شهرستان آق‌قلا، پیش از این که جریان سیلاب به محل ایستگاه آبسنجی آق‌قلا برسد، وارد دشت سیلابی و شهر آق‌قلا شده و دبی اوج سیلاب در محل ایستگاه آبسنجی آق‌قلا قابل تعیین نمی‌باشد.

لذا با توجه به تداوم جریان سیلاب و تداوم دبی‌های اوج و همپوشانی آن‌ها با یکدیگر، مجموع عدد دبی اوج خروجی سرریز سد وشمگیر برابر ۶۶۶ متر مکعب بر ثانیه و دبی اوج ایستگاه باغه سالیان برابر ۷۷ متر مکعب بر ثانیه و دبی اوج رودخانه‌های محمد آباد، تقی آباد، قرن آباد و هشن حدود ۵۷ متر مکعب بر ثانیه استخراج شده است. بنابراین در کل دبی اوج در محل ایستگاه آق‌قلا حدود ۸۰۰ متر مکعب بر ثانیه برآورد شده است که در جدول ۱ میزان‌های بیانی بالا ارائه شده است (Report, 2019).

جدول ۱ میزان‌های دبی اوج سیل در سیل اسفند ۱۳۹۷ و

فروردین ۱۳۹۸

Table 1 Registered peak discharge values for March 2018 flood

No	Station	Q (m ³ /s)
1	Golestan dam	545
2	Gonbad	517
3	Arazkoseh	355
4	Ghazaghli	750
5	Voshmgir dam	666
6	Bagheh salian	77
7	Siyahab	44
8	Sermoo	39
9	Aq Qala	800

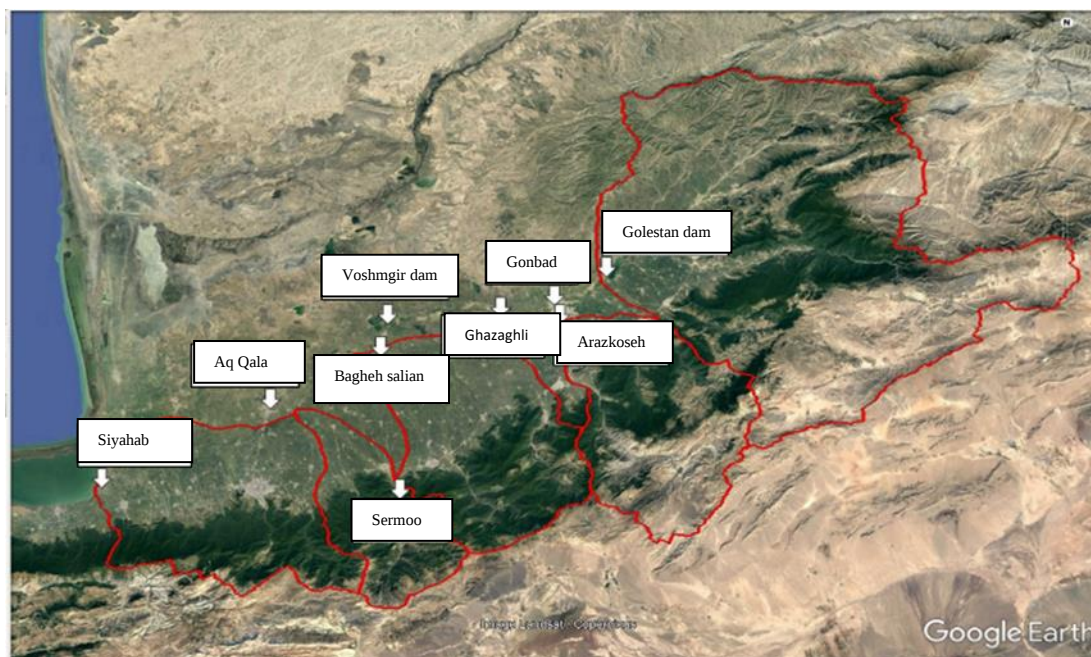


Fig.3 Registered flood discharge for March 2018 flood at Gorganrood and Ghazaghi rivers for different stations
 شکل ۳ دبی‌های ثبت شده در ایستگاه‌های مختلف گرگانرود و قره‌سو

چگونگی شبکه‌بندی منطقه مورد نظر را نشان می‌دهد. همچنان‌که در این شکل نمایش داده شده اندازه کوچکترین بعد سلول‌های (Cell) شبکه حدود ۲۰ متر در رودخانه گرگانرود و اندازه بزرگترین آن نیز به حدود ۵۰ متر در منطقه‌های دورتر از رودخانه و در محدوده شهرک صنعتی نیز به ۱۵- متر می‌رسد. لازم به یادآوری است در انتخاب این شبکه‌بندی تلاش‌های زیادی صورت گرفته است که بتوان شبکه‌ای متناسب با شبیه سازی سیل‌های موجود در منطقه طرح مبتنی بر واسنجی و پایداری عددی انتخاب کرد.

۲-۵- تعیین محدوده زمانی اجرای مدل و واسنجی و ارائه راهکارهای حفاظتی

در استفاده از هر مدل عددی اطمینان از واسنجی بودن آن نقش بسیار مهمی در تعمیم‌پذیر کردن آن در جهت استفاده در موارد همانند است. به همین جهت، با توجه به شبکه‌بندی انجام شده و همچنین ضریب زبری $60 \text{ (m}^{1/3} / \text{s)}$ به عنوان ضریب مانینگ در مدل HD با تطبیق نتایج اندازه‌گیری و مدل‌سازی در نظر گرفته شده مشخص گردید که مدل یادشده دارای توانایی مناسبی در شبیه‌سازی پهنه سیلاب دشت اسفند ماه ۱۳۹۷ و فروردین ۱۳۹۸ است (محدوده زرد با شکل ۸ متناسب است). افزون بر آن، با اعمال این سیلاب میزان تراز آب مشاهده شده

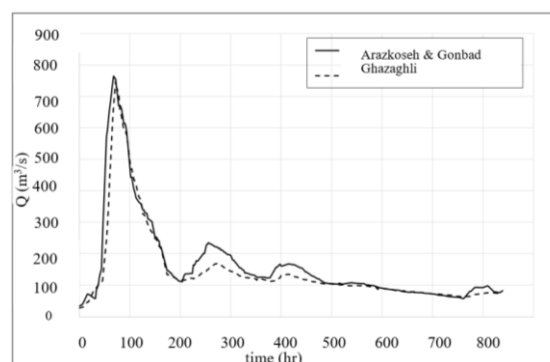


Fig. 4 The hydrograph registered at Arazkoseh and Gonbad and Ghazaghi hydrometry station

شکل ۴ آب‌نگار مجموع سیل ایستگاه ارازکوسه و گنبد و ایستگاه قزاقلی

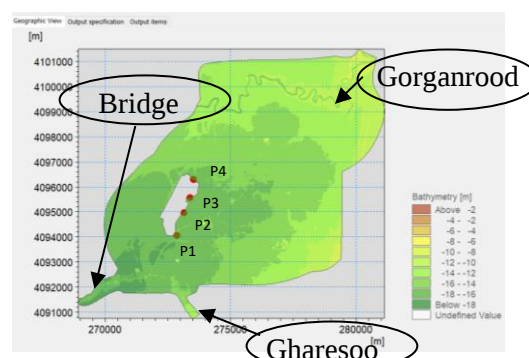


Fig. 5 MIKE-HD Model sources to simulate flood pattern inundation at Aq Qala industrial state area

شکل ۵ منبع‌های ورودی سیلاب به محدوده شهرک صنعتی آق‌قلا در مدل MIKE-HD

در شهرک ۱۶- متر برآورد شد که از نظر کمی برابر موارد مشاهده شده در سیلاب اخیر در شهرک صنعتی می‌باشد. با این تفاسیر مشخص می‌شود که مدل موردنظر دارای قابلیت

بکارگیری برای موارد همانند رخداد سیلاب در منطقه پیرامون شهرک صنعتی می‌باشد. با توجه به شکل مشخص می‌شود که مدل مورد نظر به خوبی سیل اسفند ۱۳۹۷ و فروردین ۱۳۹۸ را

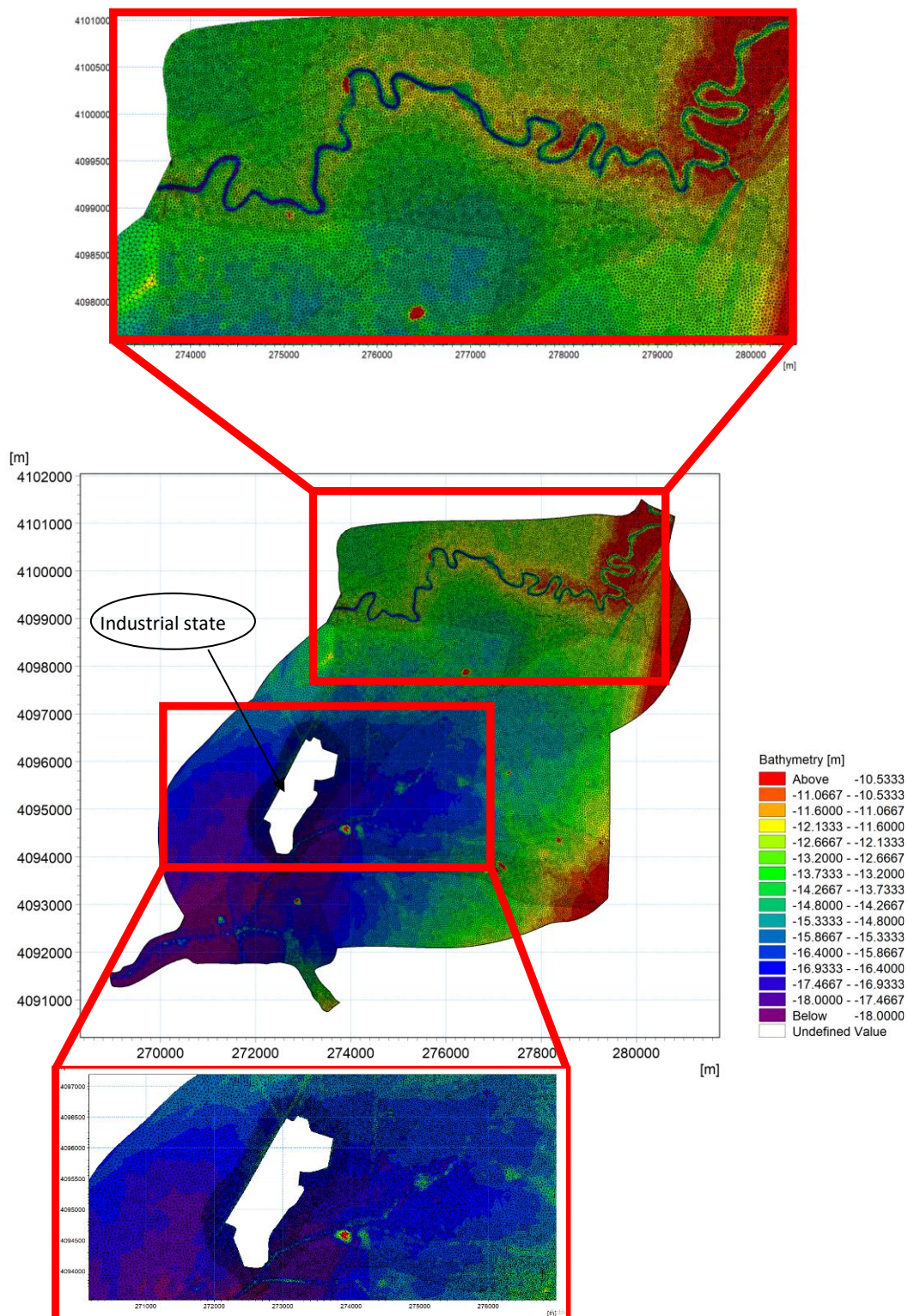


Fig. 6 Unstructured mesh at the study area

شکل ۶ شبکه‌بندی نامنظم محدوده

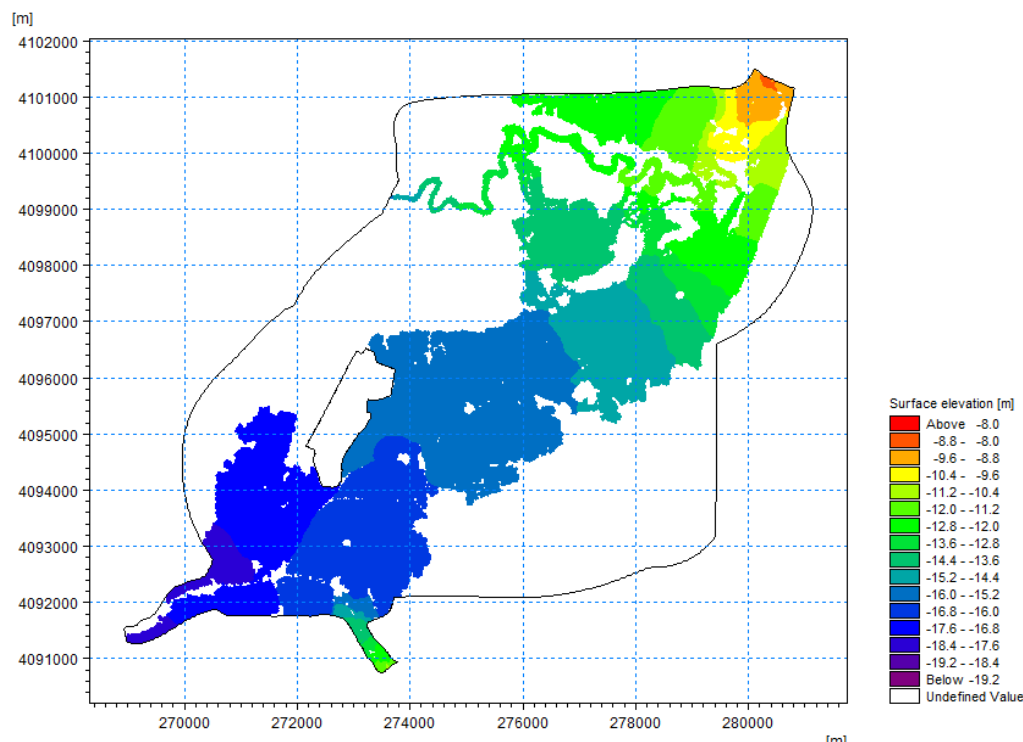


Fig. 7 Inundation area of industrial state resulted from numerical model

شکل ۷ چگونگی آبرفتگی منطقه‌های پیرامون شهرک صنعتی آق‌قلا پس از ورود سیلاب با استفاده از شبیه‌سازی عددی



Fig. 8 Inundation area of industrial state for March 2018 flood (668 Report, 2019)

شکل ۸ آبرفتگی منطقه‌های پیرامون شهرک صنعتی در سیل اسفند ماه ۱۳۹۷ و فروردین ماه ۱۳۹۸ (668 Report, 2019)

دیدگاه اول، به جلوگیری از ورود آب به محوطه شهرک مرتبط بوده که این دیدگاه را می‌توان از دو منظر بالا آوردن تراز پی ساخت و سازها و همچنین احداث دیواره حفاظتی در برابر سیل منظور کرد. با توجه به میزان زیاد بالا آمدگی آب تا تراز ۱۶- متر نسبت به آب‌های آزاد در درون شهرک در سیل اسفند ماه ۱۳۹۷

از منظر تراز و کیفیت پخشیدگی مدل کرده است. لازم به یادآوری است زمان اجرای مدل یادشده برابر ۴۹ ساعت می‌باشد که با یک رایانه ۸ هسته‌ای با RAM ۲۸ گیگ اجرا شده است. به منظور افزایش تاب‌آوری شهرک صنعتی آق‌قلا در موارد سیلابی باید تاب‌آوری آن از دو دیدگاه مورد بررسی قرار گیرد.

باید در استفاده از دیوار حفاظتی در منطقه مورد نظر مورد توجه قرار داد رواناب ایجاد می‌شود در درون شهرک در اثر بارندگی‌های مورد نظر می‌باشد که تمهیدات در مورد این آسیب با تعبیه ایستگاه‌های پمپاژ برای انتقال آب ناشی از بارندگی به پشت دیواره حفاظتی باید در دستور کار قرار گیرد. شاید محکم‌ترین دلیل در استفاده از دیواره حفاظتی یادشده پایین بودن سرعت پخش سیلاب بوده که اثر ویرانگر آن ناچیز می‌باشد. هر چند شیب کم منطقه و همچنین بازدارنده‌های موجود مانند پل گرفته شده و رودخانه لایروبی نشده باعث آبگرفتگی و مختل شدن سامانه شهرک در سیلاب‌های مختلف شده است.



Fig 9 Precast flood wall to protect the study area

شکل ۹ نمونه دیوارهای حفاظت کننده پیش ساخته مورد نظر برای حفاظت در برابر سیلاب شهرک

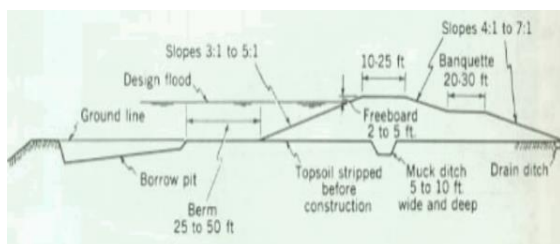


Fig 10 Flood embankment wall to protect the study area

شکل ۱۰ دیواره خاکی برای حفاظت شهرک در برابر سیل

۵-۳- اجرای مدل و ارائه نتایج در سیلاب های مختلف

مهم‌ترین نوع‌آوری در این پژوهش مدل‌سازی هم‌زمان رودخانه گرگان‌رود و پل روی جاده گرگان-آق‌قلا در نرم‌افزار MIKE-HD می‌باشد که به همراه آورد سیل محتمل در رودخانه قره‌سو مدل‌سازی شده است. پس از توسعه مدل هیدرولیکی و

و فروردین ماه ۱۳۹۸ و همچنین توجه به عوارض محوطه شهرک در پایین‌ترین نقطه (۱۸- متر نسبت به آبهای آزاد) بالا آوردن تراز کف ساخت و ساز مسئله‌ای هزینه بر می‌باشد که می‌تواند توسط واحدهای صنعتی به صورت مستقل مورد توجه قرار گیرد. ضمن اینکه شرایط موجود در شهرک و ساخت و سازهای انجام شده هر گونه اقدام در این جهت را برای وضعیت موجود منتفی می‌کند. راهکار دیگری که می‌توان در جلوگیری از آبگیری محوطه شهرک به کار برد استفاده از دیوار حفاظتی (شکل ۹ و شکل ۱۰) می‌باشد که در موارد همانند به کار گرفته شده است و گزینه مناسب‌تری برای حفاظت شهرک صنعتی موردنظر می‌باشد. در زمینه احداث دیوارهای حفاظتی در جهان می‌توان به دیوار حفاظتی بیمارستان Lourdes در Binghamton اشاره کرد که در سال ۲۰۰۸ در اثر رخداد سیل صد ساله رودخانه Susquehanna دچار آبگرفتگی شد که منجر به آسیب و زیان ۲۰ میلیون دلاری و تعطیلی دو هفته‌ای آن شد. این دیواره با استفاده از حمایت مالی موسسه FEMA^۱ و ایالت نیویورک در سال ۲۰۱۰ به منظور افزایش تاب‌آوری در برابر سیلاب با دوره بازگشت ۵۰۰ ساله ساخته شد. در این سامانه حفاظتی در ۱۱ ورودی بیمارستان دریاچه‌های مخصوصی تعبیه شده است که به محض طغیان رودخانه مورد نظر عمل می‌کند و پس از فروکش سیلاب به حالت اولیه خود باز می‌گردد. این سامانه در سال ۲۰۱۱ با وجود باران تجمعی حدود ۱۸۸ میلی‌متری در یک روز توانست در برابر سیلاب بدون آنکه عملکرد آن متوقف شود عملیاتی باقی بماند. لازم به یادآوری است که در این مورد گزینه اول برای حل مشکل سیلاب این بیمارستان انتقال آن به نقطه دیگر و جانمایی مکان جدید بود. بیمارستان منطقه‌ای Columbus یکی دیگر از نمونه‌های حفاظتی توسط دیوارها می‌باشد که به دلیل رخداد سیلاب سال ۲۰۰۸ در Columbus احداث شدند. در اثر رخداد سیلاب ۲۰۰۸، ۱۵۷ بیمار از این بیمارستان تخلیه شد و آسیبی معادل ۱۸۰ میلیون دلار به تاسیسات بیمارستان اعمال شد. مسئولان بیمارستان و موسسه FEMA دریافتند که بهترین گزینه برای حفاظت منطقه احداث دیوار می‌باشد که در ژوئن سال ۲۰۱۱ آغاز گردید و در آوریل ۲۰۱۲ به پایان رسید. نکته دیگری که

¹ Federal Emergency Management Agency

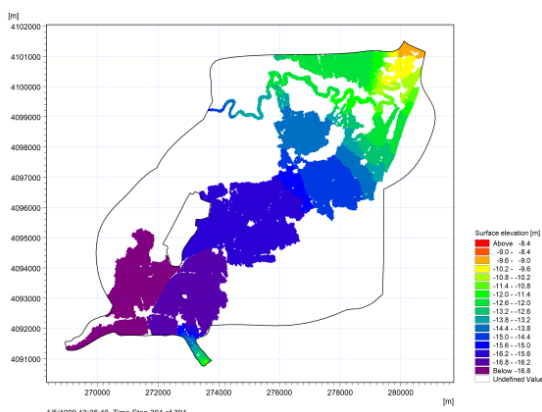


Fig. 12 Water level for the 100-year return period flood
 شکل ۱۲ تراز آب پس از ورود آب‌نگار سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ سال

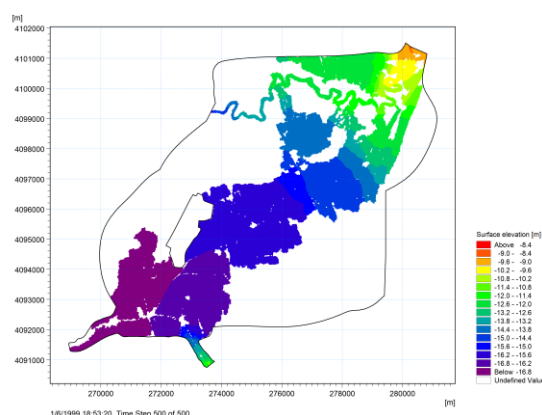


Fig. 13 Water level for the 200-year return period flood
 شکل ۱۳ تراز آب پس از ورود آب‌نگار سیلاب با دوره بازگشت ۲۰۰ سال

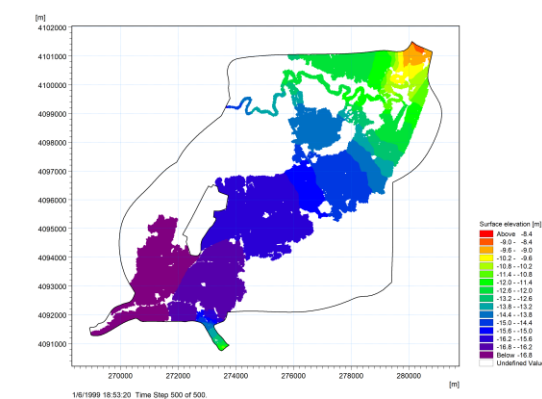


Fig. 14 Water level for the 500-year return period flood
 شکل ۱۴ تراز آب پس از ورود آب‌نگار سیلاب با دوره بازگشت ۵۰۰ سال

واستجی آن در این قسمت شهرک صنعتی آق‌قلا و میزان آبگرفتگی منطقه‌های پیرامونی آن در برابر سیلاب‌های مختلف بررسی می‌شود. با توجه به ورود سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ ساله به محدوده مورد نظر از رودخانه‌های گرگان‌رود (به ترتیب ۱۱۰، ۱۷۰، ۲۱۰، ۲۸۰، ۳۴۰، ۴۰۰، ۴۶۰ و ۵۵۰ مترمکعب در ثانیه) و قره‌سو (به ترتیب ۲۰، ۳۵، ۷۰، ۱۰۵، ۱۳۰، ۱۴۳، ۱۴۵ و ۱۸۰ متر مکعب در ثانیه) این بررسی انجام می‌گیرد (668 Report, 2019). در این پژوهش این سیلاب‌ها برای مدل ۱/۵ ماه با گام زمانی یک ساعت به محدوده طرح اعمال می‌شوند تا میزان تراز آب مشاهده شده به حالت دائمی^۱ و غیر قابل تغییر برسد. پس از اجرای مدل و روندیابی حرکت سیلاب در منطقه مورد نظر برای هر یک از سیلاب‌های (۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ ساله) در نظر گرفته شده، تراز آب در محل شهرک صنعتی به دست می‌آید که در شکل‌های ۱۱ تا ۱۴ برای دوره بازگشت‌های ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ ساله نشان داده شده است.

اجرای مدل‌های توسعه داده شده برای آب‌نگارهای با دوره بازگشت مختلف و تعیین تراز آب در پیرامون سامانه حفاظتی می‌تواند دآوری مناسبی را نسبت به انتخاب تراز مورد نیاز سیستم حفاظتی نتیجه دهد. با توجه به جدول ۲ بالاترین تراز آب مشاهده شده و برای سیلاب ۵۰۰ ساله برابر ۱۵/۹۴- متر می‌باشد. نکته‌ای که باید در اجرای مدل عددی مورد نظر توجه داشت عدم تغییر تراز آب و یا به عبارتی ثابت شدن آن بعد از مدت ۱/۵ ماه اجرا برای نقاط انتخابی اطراف شهرک (شکل ۵)

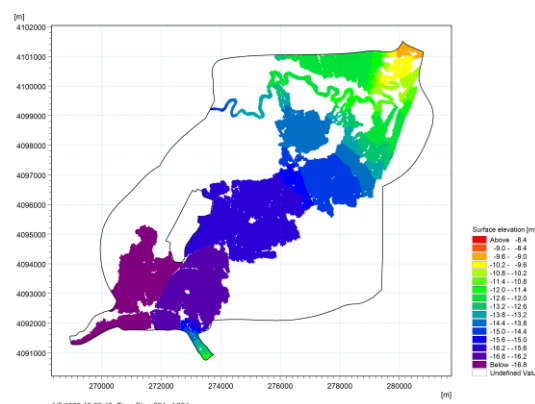


Fig. 11 Water level for the 50-year return period flood
 شکل ۱۱ تراز آب پس از ورود آب‌نگار سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ سال

¹ Steady

(شکل ۱۶) در نقطه‌های خط‌القعر شهرک سعی در هدایت آب در هنگام آبگرفتگی به بیرون شهرک صنعتی شود. لازم به یادآوری است که در هنگامه باران شدید و زمانی که آبگرفتگی منطقه بیرون سامانه حفاظتی منتفی است با انتقال دبی آب مورد نظر به بیرون دیواره از طریق دریچه‌های یک طرفه از آبگرفتگی داخلی سامانه می‌توان جلوگیری کرد. بر اساس برآوردهای انجام شده این میزان سیلاب برابر ۴۵۰ لیتر در ثانیه می‌باشد. لازم به یادآوری است این انتقال رواناب توسط زهکش احاطه کننده شهرک صنعتی انجام می‌شود.

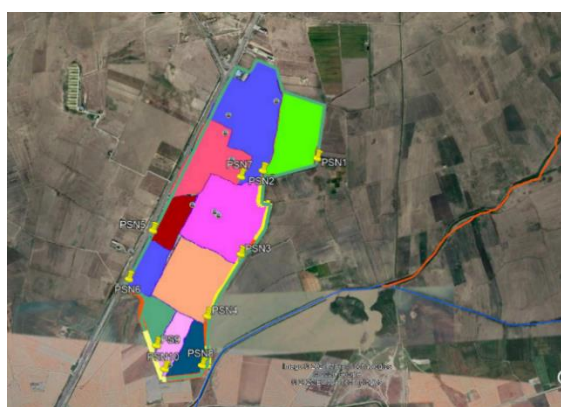


Fig. 16 10 Pump stations layout for Aq Qala industrial state along with unidirectional gate

شکل ۱۶ جانمایی ایستگاه‌های پمپاژ ۱۰ گانه در نظر گرفته شده درون شهرک به همراه دریچه یکطرفه

۶- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

پژوهش حاضر به بررسی آبگرفتگی و طراحی سیستم حفاظت شهرک صنعتی آق قلا در برابر سیلاب با استفاده از نرم‌افزار دوبعدی MIKE-HD و مدل‌سازی هم‌زمان رودخانه‌های گرگان‌رود و قره‌سو و منطقه اطراف شهرک جهت افزایش تاب‌آوری آن در برابر سیلاب می‌پردازد. قرارگیری این زیرساخت مهم استان گلستان در نزدیکی رودخانه‌های گرگان‌رود و قره‌سو و سرریز سیلاب‌های این رودخانه‌ها بر روی یکدیگر از طریق آبراهه ارتباطی گز منجر به مخاطراتی در آینده برای آن می‌شود. به همین منظور، در این پژوهش با توجه به سیل رخ داده شده در اسفند ماه سال ۱۳۹۷ و فروردین ۱۳۹۸ و همچنین عوارض برداشت شده از منطقه مورد نظر مدل عددی مورد نظر بر مبنای حرکت دوبعدی سیل در اطراف منطقه طرح توسعه داده شد. سپس بر مبنای سیلاب‌های با دوره بازگشت مختلف در

می‌باشد که در شکل ۱۵ نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص می‌شود که فرضیه حرکت دوبعدی سیل به طور کامل به صورت دیداری و مشاهده‌ای قابل اثبات می‌باشد و گزینه استفاده از دیوار حفاظتی گزینه مناسبی برای افزایش تاب‌آوری سامانه شهرک صنعتی در برابر سیل‌های آتی می‌باشد. همچنین با بزرگ‌تر شدن سیلاب‌های منطقه تغییر زیادی در تراز آب رخ نمی‌دهد که این مسئله نیز نشان دهنده محدود بودن عمق آب‌گرفتگی و در نهایت حفاظت ۱۰۰ درصدی شهرک صنعتی آق قلا با استفاده از احداث دیوار حفاظتی می‌باشد.

جدول ۲ بالاترین تراز آب مشاهداتی در اثر سیلاب با دوره بازگشت مختلف

Table 2 Water levels for various floods obtained from numerical simulation

Return period (y)	Water level (m)
2	-16.41
5	-16.11
10	-16.10
25	-16.08
50	16.016
100	-15.99
200	-16.07
500	-15.94

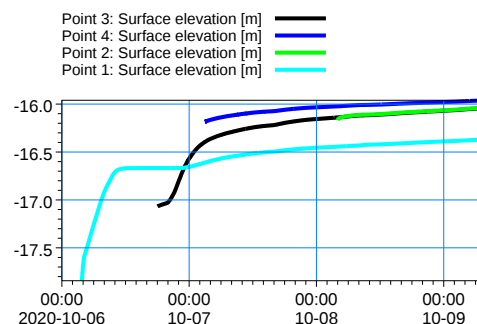


Fig. 15 Water levels for points around the protection wall for 500 year return period flood

شکل ۱۵ تراز آب در نقطه‌های مختلف سیستم حفاظتی بعد از ورود آب‌نگار سیلاب با دوره بازگشت ۵۰۰ سال

اجرای مدل‌های توسعه داده شده برای آب‌نگارهای با دوره بازگشت مختلف و تعیین تراز آب در اطراف سامانه حفاظتی می‌تواند قضاوت مناسبی را نسبت به انتخاب تراز مورد نیاز سامانه حفاظتی نتیجه دهد. اما این به معنی پایان کار در شهرک صنعتی آق قلا جهت تاب‌آوری در برابر سیلاب‌های مختلف نمی‌باشد. بنابراین چاره‌اندیشی در رابطه با رواناب داخل شهرک نیز باید در صورت سیلاب‌های محتمل انجام شود. روش کار به این صورت می‌باشد که باید با تعبیه ایستگاه‌های پمپاژ ۱۰ گانه

رودخانه‌های قره‌سو و گرگان‌رود به پهنه‌بندی سیلاب‌ها مختلف پرداخته شد و بیشینه تراز بالاآمدگی آب در منطقه پیرامون شهرک صنعتی مشخص گردید و بر همین مبنا دیواره حفاظتی برای حفاظت از شهرک صنعتی در برابر سیلاب در نظر گرفته شد. همچنین به منظور هدایت آب سطحی شهرک صنعتی نیز با توجه به پیش فرض‌های مختلف سیلابی درون شهرک صنعتی پیشنهاد به استفاده از ایستگاه‌های پمپاژ ۱۰ گانه در نقطه‌های خط‌القدر شد. لازم به یادآوری است تغییرات کم ناشی از تغییر تراز آب برای سیلاب‌های مختلف گویای آن است که در صورت احداث دیواره کامل مشکل آبگرفتگی شهرک با احتمال زیاد با توجه به شرایط توپوگرافی منطقه اطراف شهرک برای همیشه از بین می‌رود. باید توجه داشت که تراز تعیین شده در این پژوهش تنها تراز سیل می‌باشد که با توجه به ماندگاری آب برای مدت چند روز باید ارتفاع آزاد مربوطه به بالاآمدگی ناشی از باد و موج در آن برای طرح نهایی دیوار حفاظتی مورد توجه قرار گیرد. همچنین از نظر میزان مصالح موجود در محل در سمت مربوط به آبراهه گز بهتر است دیواره خاکی و سمت جاده گرگان-آق‌قلا دیواره پیش ساخته استفاده است. هر چند که تجزیه و تحلیل اقتصادی در تصمیم نهایی برای این مسئله لازم می‌باشد. با توجه بررسی‌های انجام شده در منطقه طرح پیشنهاد می‌شود در جهت تاب آوری بیشتر شهرک صنعتی آق‌قلا در برابر سیل نیز موارد زیر مورد نظر قرار گیرد:

۱. تراز کف کرسی همه واحدهای صنعتی که در آینده در این محل ساخته می‌شود به منظور حفاظت از سیلاب‌های آینده تا ۱۵.۹۴- متر تا ساخت کامل سامانه دیوار حفاظتی بالا آورده شود.
۲. در سازه‌ها موجود تا تراز ۱۵.۹۴- متر آب‌بندی ساختمان‌ها و محوطه‌های پیرامون آن‌ها در دستور کار قرار گیرد.
۳. برای زمان‌های اضطراری آبگرفتگی بیرون و درون شهرک کمترین توان خروجی تا ۴۵۰ لیتر در ثانیه به صورت سیار از درون شهرک تمهید گردد.
۴. در ورودی واحدهای صنعتی نیز دریچه‌های مخصوص ورود آب به داخل ساختمان‌ها و واحدهای حساس موجود تمهید شود.
۵. همه نقطه‌های دیواره حفاظتی که تراز در آن ۱۵.۹۴- متر بالاتر باشند هیچ آبی وارد شهرک صنعتی در شرایط ماندابی

و طوفان نمی‌شود.

۶. در زمان‌هایی که جاده دسترسی درون شهرک بازدارنده از اجرای دیوار خاکی با شیب پایدار شود می‌توان دیوار سنگ ملاتی اجرا کرد.
 ۷. باید همواره سامانه به صورت دوره‌ای بازدید و نظارت شود تا همواره محل دریچه‌های یک طرفه مورد نیاز تمیز و عملیاتی باشند.
 ۸. چنانچه تراز کف آبراهه‌ها زهکش بتنی از تراز ۱۵.۹۴- متر پایین‌تر باشد باید از دریچه یک طرفه استفاده شود.
 ۹. با توجه به وجود گوره‌های خاکی پیرامون شهرک به منظور حفاظت از شهرک جایگزینی این سامانه باید با استفاده از دیواره‌های خاکی و پیش ساخته مناسب تمهید شود.
- لازم به ذکر است در این پژوهش به شبیه سازی پیرامون شهرک مبادرت شد که در کارهای آینده می‌توان با تهیه اطلاعات درون شهرک این مقوله را نیز بررسی کرد و محدودیت مورد نظر را مرتفع کرد.

۷- فهرست نشانه‌ها

d (m)	عمق میانگین آب (متر)
h (m)	تراز سطح آب (متر)
$\bar{v}, \bar{u}$	مولفه‌های سرعت میانگین‌گیری شده (متر بر ثانیه)
$\bar{g}$ (m/s ²)	شتاب جاذبه زمین (متر بر مجذور ثانیه)
f	اثر کریولیس
j	عرض جغرافیایی
w	نرخ چرخش زاویه‌ای
ρ	چگالی
ρ_0	چگالی مبنا
(u_s, v_s)	سرعت ورود آب در نقاط منبع
x, y	مولفه‌های مختصات (متر)
t	زمان
$S_{xy}, S_{xx}, S_{yy}, S_{yx}$	مولفه‌های تانسور تنش تشعشی
$(t_{sx}, t_{sy}), (t_{bx}, t_{by})$	مولفه‌های تنش برشی
A	ضریب لزجت گردابه‌ای
ω	نرخ چرخش زاویه‌ای

Conference on hydraulics, Inst. of Engineers (Australia).

Werner, M. (2001) .Impact of grid size in GIS-based flood extent mapping using a 1-D flow model. Physics and chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere 26, 517–522

Werner, M. (2004) .Spatial flood extent modeling – A performance based comparison. PhD thesis, Delft University, Netherlands.

۸- منابع ها

Bates, P.D., Lane, S.N. and Ferguson, R.I. (2005). Computational Fluid Dynamics: Applications in Environmental.

Danish Hydraulic Institute (DHI) (1997). MIKE 11 GIS reference and user manual.

Danish Hydraulic Institute (DHI) (2009). MIKE 21 FM (HD, MT) and SW User Manuals.

Orsholm, Z. and Stelling, G. (2002) Application of one dimensional - a two-dimensional integrated hydraulic model for flood simulation and damage assessment, Intl. Conf. on Hydroinformatics, Cardiff, UK, Proc. 5, 265–276

Golestan Regional Water Organization. (2019). Golestan Flood report, 668. (In Persian).

Hassanzadeh, Y., Kardan, N. and Arzanloo, A. .(2019). Two dimensional numerical models for flood risk zoning. Third National Conference on Hydrology of Iran. (In Persian).

Kardan, N., Hassanzadeh, Y. and Arzanloo, A. (2017). Two-dimensional numerical simulations of urban areas stormwater by the CCHE2D model (study area: Aq Qala city). Daryaphonon journal, 25-36. (In Persian).

Kjelds, J. and Rungo, M. .(2002). Dam breach modeling and inundation mapping. Danish Hydraulic Institute, Denmark.

Naserian, H., Sadegh, M.A., Vaezipour, H.A. and Seif, S. (2013). Comprehensive modeling of Dashyari Discrit Flood by MIKE-Flood and its remedies. 12 th Hydraulic Conference. (In Persian).

Patro, S., Chatterjee, C., Singh, R. and Raghuwanshi, N.S. (2009). Hydrodynamic modeling of a large flood prone river system in India with limited data. Hydrological Processes, 23(19), 2774-2791.

Patro, S., Chatterjee, C., Mohanty, S., Singh, R. and Raghuwanshi, N.S. (2009). Flood inundation modeling using MIKE FLOOD and remote sensing data. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 37(1), 107-118.

Rungo, M. and Olesen, K.W. (2003) .Combined 1- and 2-dimensional flood modeling. 4th Iranian Hydraulic Conference, 21–23 Oct, Shiraz, Iran. (In Persian).

Verwey, A. (2001). Latest developments in floodplain modelling 1D/2D integration. Proc.