

Research Paper

Investigation of Flooding of Downstream Lands under different Scenarios due to Failure of Ghare Aghach Earth Dam

Sayyed Ali Shahrezaie¹0000-0002-3890-6292, Mahdi Radfar^{2*}, Elham Ghanbari Adivi³

¹ Master's degree, Water Science and Engineering, Shahrekord University of Shahrekord, Iran.
sayyed.ali.shahrezaie@gmail.com

² Assistant Professor, Water Science and Engineering, Shahrekord University of Shahrekord, Iran.
mahdi1010@yahoo.com

³ Assistant Professor, Water Science and Engineering, Shahrekord University of Shahrekord, Iran.
Elhamgh44@gmail.com



10.22125/IWE.2022.162563

Received:
August 8, 2021
Accepted:
December 7, 2021
Available online:
December 11, 2022

Keywords:
**Dam failure, Land
flooding, HEC-RAS,
RAS Mapper**

Abstract

Simulation of dam failure as well as flood investigation can be used by dam operators. In the present study, the flood zoning due to the piping of Ghare Aghach earth dam in 3 different scenarios that lead to the failure of the dam has been investigated in HEC-RAS software. All parameters due to dam failure were calculated using Froehlich equations. Finally, the flow rate calculated from Froehlich method with the observed flow rate from HEC-RAS software was statistically analyzed. The results showed that the highest peak flow observed due to dam failure in HEC-RAS software is related to the third scenario and is equal to 8935.64 cubic meters per second. However, the lowest peak flow observed due to dam failure in HEC-RAS software is related to the first scenario and is equal to 8231.78 cubic meters per second. Linked results of HEC-RAS software with the Google Earth model show that the highest flooding area occurred in the third scenario and was approximately equal to 22.8 square kilometers and the lowest flooding area is related to the first scenario and approximately equal to 21.8 square kilometers. Correlation due to dam failure using the Froehlich method and the observed peak flow using HEC-RAS software equal to 0.9968 which indicates high accuracy of modeling. Calibration and applying the linked results of the hydraulic models of failure dam as well as HEC-RAS with GIS software can be useful in downstream flood zoning for water crisis management.

1. Introduction

Simulation of dam failure as well as flood investigation can be used by dam operators, so prioritize the risks provided by the models to improve public safety and reduce the possibility of dam failure is necessary. Dams are constructed as water storage due to changes in water flow in the catchment and electricity generation. HEC-RAS software is used in RAS Mapper environment. Ghare Aghach Dam

* **Corresponding Author:** Mahdi Radfar

Address: Assistant Professor, Water Science and Engineering, Shahrekord University of Shahrekord, Iran.

Email: mahdi1010@yahoo.com

Tel: 09131857537

with geographical coordinates as latitude of $31^{\circ} 30'$ and longitude of $51^{\circ} 32'$ is located in 150 km distance from Isfahan and 13 km from Semirom city. This earth dam with a clay core, has a crest length of 645 meters and a maximum height of 43.5 meters from the bed of the dam. The total volume of the dam body and the volume of the central core are equal to 1300000 and 150,000 cubic meters, respectively. The normal volume of the reservoir is equal to 21 million cubic meters, the dead volume of the reservoir is equal to 1.2 million cubic meters and the useful volume is equal to 19 million cubic meters. Based on soil science studies Agricultural lands of the study area are divided into 3 groups, which include alluvial plains, plateaus and upper terraces, and alluvial-shaped pebble alluvium. In this study, flood zonation due to piping in Ghare Aghach earth dam in 2D mode in HEC-RAS software in RAS Mapper environment is investigated.

2. Materials and Methods

In the present study, flood zoning due to the failure of the Ghare Aghach earth dam has been investigated in 3 scenarios. In all scenarios, it is assumed that the arterial leakage dam has occurred. In the 3 scenarios, it is assumed that piping resulted to a hole is made at levels of 2444, 2446 and 2451 m which led to the failure of the Ghare Aghach earth dam. In all scenarios, the parameters due to dam failure, including the time of dam failure, lateral slope of the gap, etc. were calculated using the Froehlich (1995) method and finally entered into HEC-RAS software and the results of flood zoning schematically shown in RAS Mapper environment.

In order to calibrate the HEC-RAS model in some sources, considering the importance of the role of velocity in the erosion phenomenon and also the importance of free water surface width and depth, as effective parameters in river morphology, the model is sensitive to changes in Manning coefficient. In this study to calibration of the Hec-RAS model, data of Tanghe zardalo hydrometric station was used. Willems believes that in order to improve statistical studies, it is better to use several statistical methods instead of one specific method. Therefore, to analyse the performance of the Froehlich model using HEC-RAS software from statistical tests, 3 methods of error analysis have been considered. The first is the Nash Sutcliffe bite coefficient, the second is the normalized root mean square error, and the third is the correlation coefficient.

3. Results

According to the presented materials, the results indicate that Considering the Froehlich method, the average width of the opening area in the first, second and third scenarios are 82.3, 82.5 and 82.9 meters, respectively. The time due to dam failure in the first, second and third scenarios was estimated to be 0.749, 0.742 and 0.729 hours, respectively. If the Froehlich method is used to calculate the peak flow due to the failure of the Ghare Aghach earth dam; in the first, second and third scenarios, peak flow of 2383.4, 2812.6 and 3940.6 cubic meters per second was occurred, respectively.

4. Discussion and Conclusion

Using HEC-RAS software in the first scenario, 30 minutes after the start of the simulation, the failure of the peak flow equal to 8231.91 cubic meters per second was occurred. In the second scenario, 30 minutes after the start of the simulation, the failure of the peak flow, equal to 8388.86 cubic meters per second, was occurred. In the third scenario, 30 minutes after the start of the simulation, the failure of the peak flow reaches to 8935.64 cubic meters per second. The results showed: in the present study, the highest flooding area is related to the time when at the level of 2451, a hole was created from the body of the dam and it was estimated to be approximately 22.8 square kilometers. However, the lowest flooding area occurs if an orifice is created at the level of 2444 from the body of the dam and was estimated to be approximately 21.8 square kilometers. The results show that the correlation of the observed peak flow due to dam failure using HEC-RAS software and the calculated peak flow due to dam failure using Froehlich method is equal to 0.9968. Therefore, the model has high accuracy. According to the flow rate obtained from the relationship between Froehlich and HEC-RAS software, it can be concluded that HEC-RAS software has a peak flow due to dam failure more than the peak flow due to dam failure using the Froehlich method. Finally, it can be concluded that if scenario 3 occurs in Ghare Aghach dam, more financial losses and casualties will occur than in the other two scenarios in the downstream areas. Calibration and applying the linked results of the hydraulic models of failure dam as well as HEC-RAS with GIS software can be useful in downstream flood zoning for water crisis management.

5. Six important references

- 1- Faudzi, M., Abustan, I., Abdul Kadir M.A, Wahab, M.Kh and Abdul Razak, M.F. (2019). Two-Dimensional Simulation of Sultan Abu Bakar Dam Release using HEC-RAS. School of Civil Engineering. University Sains Malaysia. Journal of Geomate. 16:124-131.
- 2- Greenberg, R.J. (2018). Dam Breach Model of Lake Anza Dam Using HEC-RAS. Presented to the Faculty of the Department of Civil Engineering. California State University. Sacramento. pp. 1-35.
- 3- Shahrezaie, S.A., Radfar, M and Ghanbari Adivi, E. (2021). Evaluation of Parameters Due to Failure of Ghare Aghach Earth Dam Using Froehlich Method (1995). 19th Iranian Hydraulic Conference. Mashhad Ferdowsi University.
- 4- Shrestha, S. and Lohpaisankrit, W. (2017). Flood Hazard Assessment under Climate Change Scenarios in the Yang River Basin Thailand. International Journal of Sustainable Built Environment. 6:285-298.
- 5- Singh, K.R., and Pauer, P.S. (2011). Comparative study of reference crop evapotranspiration (ET₀) by different energy based method with FAO56 Penman-Monteith method at New Delhi, India, International Journal of Engineering Science and Technology, Vol.3, No.10, 7861-7868. Singapore.
- 6- Willems, P. (2009). A time series tool to support the multi-criteria performance evaluation of rainfall-runoff models. Environmental Modeling Software 24(3), 311-321.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

This study was funded by the University of Shahrekord, Iran. The financial support of this organization is appreciated.



بررسی سیل گیری اراضی پایین دست تحت سناریو های مختلف ناشی از شکست سد خاکی قره آقاج

سیدعلی شاهرزائی^۱، مهدی رادفر^۲، الهام قنبری عدیوی^۳

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۰۵/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۱۶

مقاله پژوهشی

چکیده

شبیه سازی شکست سد و همچنین بررسی سیلاب ناشی از آن می تواند مورد استفاده بهره برداران سد قرار بگیرد. در تحقیق حاضر به بررسی پهنه بندی سیلاب ناشی از شکست سد خاکی قره آقاج از نوع نشت شریانی در ۳ سناریو متفاوت که منجر به شکست سد گردد، در نرم افزار HEC-RAS پرداخته شده است. همه پارامترهای ناشی از شکست سد با استفاده از روابط Froehlich محاسبه شد. در نهایت دبی محاسبه شده از رابطه Froehlich با دبی مشاهده شده از نرم افزار HEC-RAS مورد تحلیل آماری قرار گرفت. نتایج نشان داد بیشترین دبی اوج مشاهده شده ناشی از شکست سد در نرم افزار HEC-RAS مربوط به سناریو سوم بوده و معادل ۸۹۳۵/۶۴ متر مکعب بر ثانیه می باشد. این در حالیست که کمترین دبی اوج مشاهده شده ناشی از شکست سد در نرم افزار HEC-RAS مربوط به سناریو اول بوده و معادل ۸۲۳۱/۷۸ متر مکعب بر ثانیه می باشد. بر اساس تلفیق نتایج شکست سد با مدل هیدرولیکی HEC-RAS در Google Earth، بیشترین مساحت آبگرفتگی در سناریو سوم اتفاق افتاده و حدوداً معادل ۲۲/۸ کیلومتر مربع و کمترین مساحت آبگرفتگی مربوط به سناریو اول و حدوداً معادل ۲۱/۸ کیلومتر مربع است. هر چند مدل HEC-RAS دقیق تر است، اما با توجه به مقدار همبستگی دبی اوج محاسبه شده ناشی از شکست سد با استفاده از رابطه Froehlich و دبی اوج مشاهده شده ناشی از شکست سد با استفاده از نرم افزار HEC-RAS به میزان ۰/۹۹۶۸ نشان از دقت بالای مدل سازی می باشد. کالیبراسیون و تلفیق نتایج مدل هیدرولیکی شکست سد همانند HEC-RAS با نرم افزارهای GIS منجر به ارائه دیدگاه های مناسب از وضعیت سیل خیزی مناطق پایین دست می گردد که در مدیریت بحران منابع آب بسیار کارگشا است.

واژه های کلیدی: شکست سد، سیل گیری اراضی، HEC-RAS، RAS Mapper

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد، ایران، ۰۹۱۳۷۹۴۰۹۴۱، sayyed.ali.shahrezaie@gmail.com

^۲ استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد، ایران، ۰۹۱۳۱۸۵۷۵۳۷، mahdi1010@yahoo.com (نویسنده مسئول)

^۳ استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد، ایران، ۰۹۱۶۶۰۷۷۰۳۷، Elhamgh44@gmail.com

مقدمه

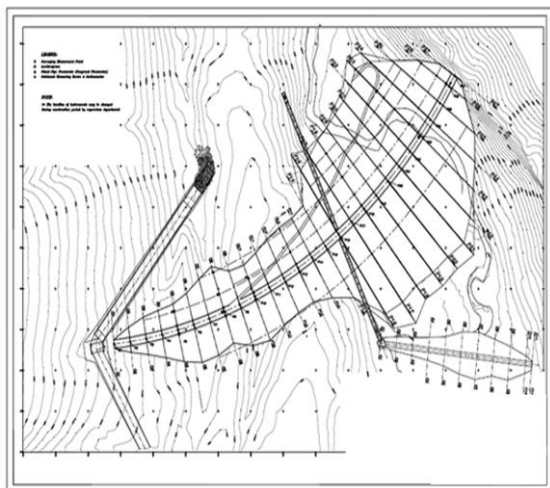
سدها به عنوان ذخیره‌کننده آب در اثر تغییرات جریان آب موجود در حوضه آبریز و تولید برق ساخته می‌شوند (Faudzi et al., 2019). سدها یکی از سازه‌های ملی می‌باشند که در نتیجه شکست سد ممکن است سیلاب‌های مخربی را ایجاد کرده و مشکلات بسیاری به همراه داشته باشد (قبادیان، ۱۳۹۸). بررسی وسعت اراضی و مناطق سیل‌گیر پایین‌دست سدها در اثر وقوع جریانات سیلابی و شکست سدها، به مدیران در مدیریت بحران کمک شایانی خواهد کرد. این کار با مدل‌سازی شکست سدها با نرم‌افزارهای مناسب عملیاتی می‌گردد. (Moya Quiroga et al., 2016) برای مدل سازی دو بعدی سیلاب به وقوع پیوسته در ماه فوریه سال ۲۰۱۴ میلادی در یک دشت سیلابی وسیع کشور بولیوی، از مدل HEC-RAS استفاده کردند. آن‌ها نتایج حاصل از مدل عددی را با تصاویر ماهواره‌ای مقایسه و نتیجه گرفتند که شبیه‌سازی هیدرولیکی انجام گرفته توسط نرم‌افزار HEC-RAS 2D عملکرد خوبی را نسبت به سیلاب مشاهده‌ای حاصل از تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد. شاهرزائی و همکاران (۱۴۰۰) به ارزیابی و مقایسه پارامترهای ناشی از شکست سد خاکی قره‌آقاج با استفاده از روابط Froehlich و مدل BREACH پرداخته و نتیجه گرفتند که دبیهای اوج حاصل از روش Froehlich با دبیهای اوج مشاهده شده از مدل BREACH همبستگی به میزان ۰/۹۹۷۸ داشته و از دقت قابل قبولی برخوردار است. (Singh et al., 2011) جهت شبیه‌سازی جریان ناشی از شکست سد، یک مدل ۲ بعدی عددی بر اساس حل معادلات آب کم عمق^۱ ارائه نمودند. آن‌ها نتایج عددی را با نتایج حاصل از مدل تجربی صحت‌سنجی نمودند. سیفی‌زاده و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی شکست سد پلرود واقع در شمال

شرقی استان گیلان و در محدوده شهرستان رودسر در اثر روگذری و همچنین روندیابی سیلاب ناشی از آن در پایین دست پرداختند. آن‌ها در بررسی‌های خود از مدل BREACH GUI استفاده نموده و نتیجه گرفتند که هیدروگراف سیلاب ناشی از شکست سد، دارای دبی اوجی معادل ۴۷۲۵۳ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد که این دبی ۲۷ ساعت پس از شروع سیلاب و ۱ ساعت پس از آغاز روگذری از سد اتفاق می‌افتد. (Greenberg 2018) در تحقیقات خود که در زمینه‌ی پهنه‌بندی سیلاب ناشی از شکست سد به کمک مدل هیدرولیکی HEC-RAS می‌باشد، بیان نمود: محاسبات جریان ناپایدار در مدل‌های یک بعدی HEC-RAS از معادلات سنت و نانت استفاده می‌شود. این در حالیست که در مدل‌های دو بعدی از طریق معادلات آب کم عمق، محاسبه می‌شوند. (Latrubesse et al., 2020) به بررسی سیلاب ناشی از شکست سد در حوضه مکونگ در کشور لائوس پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند که مساحتی معادل ۴۶ کیلومتر مربع از روستاها و اطراف رودخانه ونگ نگائو از حوضه مکونگ را سیلاب فرا خواهد گرفت. ارزنلو و همکاران (۱۳۹۵) به شبیه‌سازی عددی و ارزیابی پهنه-بندی سیلاب ناشی از شکست سد چای واقع در شهر ارومیه با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند که با توجه به جنس سد و مکانیسم شکست سد ارزیابی شده در شکست فرسایشی تحت تاثیر جریان روگذری با در نظر داشتن وضعیت توپوگرافی و ژئومورفولوژیکی دره میزبان در پایین‌دست سد، نواحی زیادی از روستاها و اراضی کشاورزی در معرض سیل‌گرفتگی کامل قرار خواهند گرفت. نجفی و همکاران (۱۳۹۶) به پهنه‌بندی سیلاب ناشی از شکست سد علویان در حالت دوبعدی با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که با شکست سد علویان در حالت ۱ بعدی

¹ Shallow Water



جاغ جاغ قرار دارد (شاهرضائی و همکاران، ۱۳۹۹). این سد از نوع خاکی با هسته رسی با طول تاج سد ۶۴۵ متر و حداکثر ارتفاع از بستر سد معادل ۴۳/۵ متر می‌باشد. حجم کل بدنه سد و حجم هسته مرکزی به ترتیب معادل ۱۳۰۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰۰۰ متر مکعب می‌باشد. حجم نرمال مخزن معادل ۲۱ میلیون متر مکعب، حجم مرده مخزن معادل ۱/۲ میلیون متر مکعب و حجم مفید معادل ۱۹ میلیون متر مکعب می‌باشد. پلان سد قره‌آقاچ در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): پلان سد قره‌آقاچ (بی نام، ۱۳۹۴)

بر اساس مطالعات خاکشناسی وضعیت خاک زمین - های کشاورزی در اراضی منطقه مورد مطالعه به ۳ گروه که شامل دشت های آبرفتی، فلات و تراس های بالائی و آبرفت های بادبزی شکل سنگریزه دار می باشند، تقسیم شده است. منطقه مورد مطالعه عموماً از سازندهای رسوبی تشکیل شده است.

جریان غیر دائمی در پدیده شکست سد

شکست سد به صورت یک جریان غیر دائمی متغیر و سریع اتفاق می‌افتد. این پدیده دینامیکی و روند تاثیر آن در مسیر جریان رودخانه پایین دست توسط مدل هیدرولیکی HEC-RAS قابل تجزیه و تحلیل و بررسی است. با در نظر داشتن معادله دیبی به فرم (۱) در ادامه به

و در حالت ۲ بعدی شهر علویان تحت تاثیر سیل نخواهد گرفت و فقط ناحیه ای از شهرهای طالب خان و مراغه تحت تاثیر سیل قرار خواهند گرفت. آن‌ها متوجه شدند که نتایج حاصل از حالت ۲ بعدی برای پهنه بندی سیلاب نسبت به نتایج حاصل شده از حالت ۱ بعدی بهتر می‌باشد. شاهرضائی و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی سیل پذیری مناطق پایین دست ناشی از وقوع بیشترین سیلاب محتمل در سد خاکی قره‌آقاچ پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند با توجه به اینکه سرریز سد قره‌آقاچ بر اساس بیشترین سیلاب محتمل کنترل شده است؛ لذا این سیلاب موجب شکست، در سد خاکی قره‌آقاچ از نوع جریان روگذری نمی‌گردد. (Urzica et al (2021) به کمک مدل ۲ بعدی HEC-RAS به بررسی سناریو شکست سد خاکی جهت ارزیابی ظرفیت کنترل سیلاب یک سیستم چند مخزنی بر روی رودخانه بیو در شمال شرقی رومانی پرداخته و نتیجه گرفتند که سیستم چند مخزنی نقش مهمی در کاهش خطر سیل دارد. Toapaxi Alvarez and Acero Quilumbaquin (2021) به تجزیه و تحلیل سیلاب ناشی از شکست سد ملاکورال در کشور اکوادور با استفاده از مدل ۲ بعدی HEC-RAS پرداخته و نتیجه گرفتند که حداکثر جریان ناشی از شکست سد معادل ۱۲۷۱ متر مکعب بر ثانیه در زمان ۲ ساعت و ۲۰ دقیقه به شهر آمباتو می‌رسد.

در تحقیق حاضر به بررسی پهنه بندی سیلاب ناشی از شکست سد خاکی قره‌آقاچ از نوع Piping در حالت ۲ بعدی در نرم افزار HEC-RAS و محیط RAS Mapper پرداخته شده است.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

سد قره‌آقاچ دارای مختصات جغرافیایی $31^{\circ}30'$ شمالی و $51^{\circ}32'$ شرقی می‌باشد و در ۱۵۰ کیلومتری شهر اصفهان و ۱۳ کیلومتری شمال شهرستان سمیرم بر روی رودخانه قره‌آقاچ در بین ارتفاعات شیر برنجی و

$$\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (۴)$$

$$h \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (۵)$$

دبی در واحد عرض (q) از رابطه (۶) محاسبه می‌گردد.

$$q = Vh \quad (۶)$$

معادله دینامیکی

با فرض توزیع فشار هیدرواستاتیکی توزیع یکنواخت سرعت در مقطع قائم از جریان و صرف نظر از مؤلفه قائم شتاب ذرات سیال، معادله دینامیکی حاکم به فرم رابطه (۷) ارائه می‌شود.

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} = S_0 - S_f \quad (۷)$$

که در این معادله: h : ارتفاع سطح آب، S_f : شیب خط جریان (انرژی)، g : شتاب ثقل، V : سرعت متوسط جریان و S_0 : شیب کف رودخانه می‌باشد.

رابطه (۷) را می‌توان به صورت رابطه (۸) نوشت.

$$S_f = S_0 - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{V^2}{C^2 R_H} \quad (۸)$$

که در این معادله: $\frac{\partial h}{\partial x}$ بیانگر شیب سطح آزاد جریان آب،

بیانگر شیب ناشی از تغییرات سرعت نسبت به

مسیر جریان x و $\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t}$ بیانگر شیب سرعت ناشی از

تغییر سرعت نسبت به زمان t می‌باشد. همچنین در این

معادله: C : ضریب شزی است که از رابطه (۹) و S_f :

شیب خط انرژی است که از روابط (۱۰) و یا (۱۱) که به

ترتیب فرمول‌های داریسی-ویسباخ و شزی می‌باشند، قابل محاسبه است.

$$C = \frac{1}{n} R_H^{\frac{1}{6}} = K R_H^{\frac{1}{6}} \quad (۹)$$

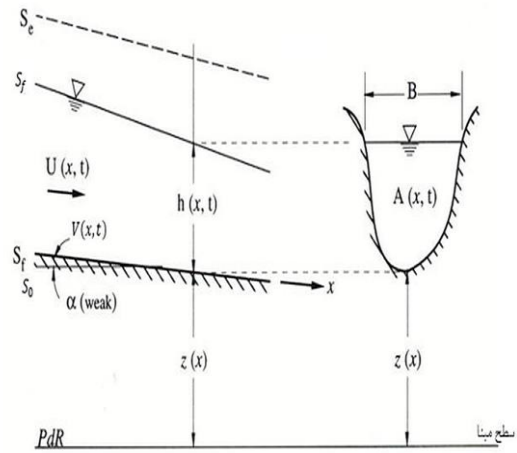
که در این معادله: n : ضریب مانینگ، K : ضریب استریکلر می‌باشد.

معادله پیوستگی و معادله دینامیکی حاکم پرداخته می‌شود.

$$Q = AV \quad (۱)$$

معادله پیوستگی

با توجه به شکل (۲) معادله پیوستگی به فرم (۲) و یا به عبارتی دیگر به فرم (۳) ارائه می‌شود.



شکل (۲): نمایش جریان در حالت غیرماندگار

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (۲)$$

$$A \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (۳)$$

که در این معادله: Q : دبی جریان، A : سطح مقطع جریان، x : طول مسیر جریان و t : زمان می‌باشد.

در معادلات بالا $\frac{\partial V}{\partial x}$ بیانگر ذخیره منشوری، $\frac{\partial A}{\partial x}$

نمایانگر ذخیره گوه‌ای و $\frac{\partial A}{\partial t}$ نشان‌دهنده نرخ افزایش

ذخیره می‌باشد. گفتنی است اگر کانال از نوع مستطیل

باشد با در نظر گرفتن $A = Bh$ که B عرض کانال و

h عمق جریان می‌باشد، می‌توان رابطه (۲) را به صورت

رابطه (۴) و رابطه (۳) را به صورت رابطه (۵) نوشت.



لذا نسبت دبی‌ها به فرم روابط (۱۷) و یا (۱۸) می‌شود.

$$Q = Q_n \sqrt{\frac{S_f}{S_0}} \quad (17)$$

$$Q = Q_n \sqrt{\left(1 - \frac{1}{S_0} \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V}{S_0 g} \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{S_0 g} \frac{\partial V}{\partial t}\right)} \quad (18)$$

با توجه به شکل (۳) که نشان دهنده تغییرات دبی نسبت به عمق جریان $Q - f(h)$ و تغییرات عمق نسبت به زمان $h - f(t)$ در یک جریان غیردائمی و غیریکنواخت می‌باشد، تغییرات سرعت (V) و دبی (Q) نسبت به عمق جریان (h) و به عبارتی شعاع هیدرولیکی (R_H) در قسمت (الف) نشان داده شده است و در صورتی که جریان دائمی و یکنواخت باشد با لحاظ نمودن رابطه (۱۶) و رابطه (۱۷) تغییرات دبی (Q) نسبت به عمق جریان (h) به صورت یک منحنی منفرد در می‌آید. این در حالیست که با در نظر گرفتن شکل (۳) قسمت (الف) اگر جریان غیر دائمی باشد تغییرات دبی (Q) و یا سرعت جریان (V) نسبت به عمق جریان (h) و یا شعاع هیدرولیکی (R_H) منحنی به حالت حلقوی در می‌آید. عرض منحنی بیان‌گر میزان اهمیت عبارات اینرسی و فشار در معادله (۱۸) می‌باشد.

$$S_f = f \cdot \frac{1}{R_H} \frac{V^2}{2g} \quad (10)$$

که در این معادله: f : ضریب اصطکاک می‌باشد.

$$S_f = \frac{8g}{C^2} \frac{1}{4R_H} \frac{V^2}{2g} \quad (11)$$

که در این معادله: C : ضریب شزی می‌باشد. اگر شیب در رودخانه‌هایی کم باشد، می‌توان در معادله دینامیکی از شتاب مقابل مابقی عبارات صرف نظر نمود و رابطه را به فرم رابطه (۱۲) نوشت.

$$S_f = S_0 - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} \quad (12)$$

لذا در یک جریان غیر دائمی، سرعت (V) و دبی (Q) را می‌توان با استفاده از فرمول شزی به ترتیب از رابطه (۱۳) و (۱۴) محاسبه نمود.

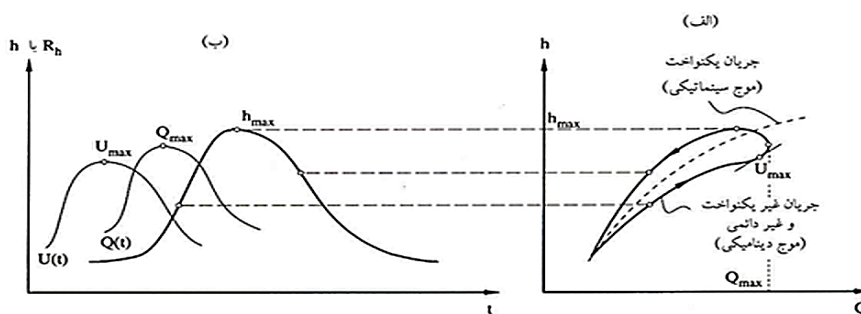
$$V = C \sqrt{R_H S_f} = C \sqrt{R_H \left(S_0 - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} \right)} \quad (13)$$

$$Q = AC \sqrt{R_H S_f} = AC \sqrt{R_H \left(S_0 - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} \right)} \quad (14)$$

در صورتی که جریان دائمی و یکنواخت باشد سرعت (V_n) از رابطه (۱۵) و دبی (Q_n) از رابطه (۱۶) محاسبه می‌شوند.

$$V_n = C_n \sqrt{R_H n S_0} \quad (15)$$

$$Q_n = A_n C_n \sqrt{R_H n S_0} \quad (16)$$



شکل (۳): تغییرات دبی نسبت به عمق جریان و تغییرات عمق نسبت به زمان در جریان غیرماندگار و غیریکنواخت

دبی اوج ناشی از شکست سد با استفاده از رابطه (۲۰) که توسط فرولیچ در سال ۱۹۹۵ ارائه شده است، محاسبه می‌گردد.

$$Q_p = 0.607(H_w^{1.24} V_w^{0.295}) \quad (20)$$

در این رابطه: Q_p : دبی اوج ناشی از شکست سد بر حسب متر مکعب بر ثانیه، H_w : عمق آب در بالای کف شکاف بر حسب متر و V_w : حجم آب در بالای کف نقطه شکاف بر حسب متر مکعب می‌باشد.

میانگین عرض ناحیه بازشدگی در رابطه فرولیچ

میانگین عرض ناحیه بازشدگی ناشی از شکست سد با استفاده از رابطه (۲۱) که توسط فرولیچ در سال ۱۹۹۵ ارائه شده است، محاسبه می‌گردد.

$$B_{avg} = 0.1803kV_w^{0.32} H_b^{0.19} \quad (21)$$

که در این رابطه: B_{avg} : میانگین عرض ناحیه شکاف (ناحیه بازشدگی) ناشی از شکست سد بر حسب متر، k ضرایب تجربی فرولیچ می‌باشد. در صورتی که شکست از نوع جریان روگذری اتفاق بیفتد معادل ۱/۴ و در غیر این صورت (شکست از نوع نشت شریانی) معادل ۱ در نظر گرفته می‌شود، V_w : حجم آب در بالای کف نقطه شکاف بر حسب متر مکعب می‌باشد و H_b : عمق ناحیه شکاف می‌باشد.

زمان ناشی از شکست سد در رابطه فرولیچ

بر اساس مطالعات انجام گرفته توسط فرولیچ در سال ۱۹۹۵ زمان ناشی از شکست سد خاکی با استفاده از رابطه (۲۲) محاسبه می‌گردد.

$$T_f = 0.00254V_w^{0.53} H_b^{-0.9} \quad (22)$$

که در این رابطه: T_f : زمان ناشی از شکست سد بر حسب ساعت، V_w : حجم آب در بالای کف نقطه شکاف بر حسب متر مکعب می‌باشد و H_b : عمق ناحیه شکاف می‌باشد.

در صورتی که جریان غیردائمی باشد به ازاء هر عمق جریان (h) دو مقدار دبی، یکی برای افزایش یا به عبارتی دیگر برای طغیان سیلاب و یکی برای کاهش و یا به بیان دیگر فروکش سیلاب خواهیم داشت. زمانی که دبی جریان به بیشترین ($Q = Q_{max}$) مقدار خود برسد در این حالت $\frac{\partial Q}{\partial t} = 0$ می‌باشد. به دلیل این که

هنوز عمق جریان به بیشترین ($h = h_{max}$) مقدار خود نرسیده است به روند افزایش خود ادامه می‌دهد. با توجه به شکل (۳) قسمت (ب) و با لحاظ نمودن رابطه (۱۹) می‌توان نتیجه گرفت که اگر $\frac{\partial Q}{\partial t} = 0$ ، $\frac{\partial h}{\partial t} > 0$ شود

این در حالیکه $\frac{\partial V}{\partial t} < 0$ می‌شود یعنی با افزایش

عمق جریان (h) مقدار عبارت $\frac{\partial h}{\partial t}$ مثبت و مقدار

عبارت $\frac{\partial V}{\partial t}$ منفی می‌شود و می‌توان نتیجه گرفت که

عمق جریان (h) افزایش یافته در حالی که سرعت جریان (V) کاهش می‌یابد.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = (VB) \frac{\partial h}{\partial t} + (hB) \frac{\partial V}{\partial t} = 0 \quad (19)$$

با توجه به شکل (۳) قسمت (ب) روند تغییرات سرعت، دبی و نیز عمق جریان نسبت به زمان به ترتیب ابتدا سرعت جریان به بیشترین مقدار خود می‌رسد سپس دبی به بیشترین مقدار خود رسیده و نهایتاً عمق جریان به بیشترین مقدار خود می‌رسد. البته رویداد همه این‌ها پیش از مشاهده بیشترین شیب در پروفیل سطح آب می‌باشد.

دبی اوج ناشی از شکست سد در رابطه فرولیچ



$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P}) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \quad (25)$$

که در این معادلات: O_i : مقادیر مشاهده شده، P_i : مقادیر پیش‌بینی شده، \bar{O} : میانگین مقادیر مشاهده شده، \bar{P} : میانگین مقادیر پیش‌بینی شده و N : طول داده‌ها می‌باشد. در تحقیق حاضر دبی محاسبه شده از رابطه Froehlich به عنوان مقادیر محاسبه شده و دبی مشاهده شده از نرم‌افزار HEC-RAS به عنوان مقادیر مشاهداتی در نظر گرفته شده است.

روش کار

خصوصیات مورفولوژیکی رودخانه در پایین دست سد و فاکتورهای هیدرولیکی اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری تنگ زردآلو با طول جغرافیایی $51^{\circ}26'$ و عرض جغرافیایی $31^{\circ}38'$ جهت کالیبراسیون مدل HEC-RAS مورد استفاده قرار گرفته است. بر اساس بازدیدهای محلی صورت گرفته، مسیر بستر رودخانه مهرگرد با توجه به جنس بستر و با استفاده از جداول تعیین ضریب زبری و راهنمای تعیین ضریب زبری USGS ضرایب معادل 0.032 ، 0.035 و 0.036 می‌باشد (بی نام، ۱۳۹۱).

جهت کالیبراسیون مدل هیدرولیکی HEC-RAS دو نمونه از جدیدترین اطلاعات موجود در رودخانه مهرگرد در مقطع ایستگاه هیدرومتری تنگ زردآلو خصوصیات مانده میزان دبی عبوری، سرعت جریان و مساحت خیس شده دریافت گردید. سپس دبی مشاهده شده در مسیر جریان رها شده و ضریب زبری با استفاده از روش سعی و خطا چنان وارد مدل HEC-RAS گردید که تفاوت خصوصیات مذکور در مدل با خصوصیات مشاهده شده حداقل گردد (جدول ۱). سپس به پهنه‌بندی سیلاب ناشی از شکست سد خاکی قره‌آقاج

شیب جانبی ناحیه شکاف در رابطه فرولیچ

شیب جانبی ناشی از شکست سدهای خاکی طبق تحقیقات انجام شده توسط فرولیچ در سال ۱۹۹۵ در صورتی که شکست از نوع جریان روگذری باشد معادل $1/4$ و در غیر این صورت (شکست از نوع نشت شریانی) معادل 0.9 می‌باشد.

کالیبراسیون و واسنجی مدل HEC-RAS

به منظور کالیبراسیون و واسنجی مدل HEC-RAS در برخی منابع با توجه به اهمیت نقش سرعت در پدیده فرسایش و نیز اهمیت عرض سطح آزاد آب و عمق، به عنوان پارامترهای مؤثر در مورفولوژی رودخانه، حساسیت مدل نسبت به تغییر ضریب مانینگ در سه پارامتر سرعت، عرض سطح آب و عمق جریان مورد بررسی قرار می‌گیرد. (2009) Willems معتقد است جهت بهبود بررسی‌های آماری بهتر است از روش‌های آماری متعددی به جای یک روش خاص استفاده شود. برای تجزیه و تحلیل عملکرد مدل نسبت به نرم‌افزار HEC-RAS از آزمون‌های آماری تجزیه و تحلیل خطا استفاده شده است. اول ضریب نش ساتکلیف^۱ (Nash and Sutcliffe و Shrestha et al. (2017) و دوم خطای جذر میانگین مربعات نرمال شده^۲ (Singh and Pauer (2011) و سوم ضریب همبستگی هستند که با استفاده از روابط (۲۳)، (۲۴) و (۲۵) قابل محاسبه می‌باشند.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (23)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}}{\bar{O}} \quad (24)$$

² Normalized Root Mean Square Error (NRMSE)

¹ Nash Sutcliffe Efficiency (NSE)

نتایج حاصل از پهنه‌بندی سیلاب ناشی از شکست سد در تمامی سناریوها وارد مدل Google Earth شده و مساحت سطوح سیل‌گیر زمانی که دبی به اوج خود رسیده مورد مقایسه قرار گرفته است.

نتایج و بحث

نتایج کالیبراسیون مدل HEC-RAS

اطلاعات موجود از دو تاریخ نمونه برداری شده در مدل‌سازی وارد شده‌اند. نتایج حاصل از کالیبراسیون مدل HEC-RAS در جدول ۱ نشان داده شده است.

در ۳ سناریو پرداخته شد. در تمامی سناریوها فرض بر این است که سد از نوع نشت شریانی دچار شکست شده است. در سناریو اول فرض بر این است که در تراز ۲۴۴۴ از بدنه سد روزنه‌ای ایجاد گردد، در سناریو دوم فرض بر این است که در تراز ۲۴۴۶ از بدنه سد روزنه‌ای ایجاد گردد و در سناریو سوم فرض بر این است که در تراز ۲۴۵۱ از بدنه سد روزنه‌ای ایجاد شده و منجر به شکست سد خاکی قره‌آقچ گردد. در تمامی سناریوها پارامترهای ناشی از شکست سد اعم از زمان شکست سد، شیب جانبی شکاف و با استفاده از روابط فرولیچ ۱۹۹۵ محاسبه و وارد نرم‌افزار HEC-RAS شده و نتایج پهنه‌بندی سیلاب در محیط RAS Mapper نشان داده شده است.

جدول (۱): نتایج حاصل از کالیبراسیون مدل HEC-RAS

۱۳۹۹/۱/۲۵	۱۳۹۹/۲/۲۴	تاریخ نمونه برداری
۱/۸۸	۰/۵۷	دبی (متر مکعب بر ثانیه)
۰/۶۳۹	۰/۴۵۸	سرعت مولینه (متر بر ثانیه)
۰/۶۳	۰/۴۶	سرعت مدل (متر بر ثانیه)
۲/۹۴۲	۱/۲۴۴	مساحت محاسبه شده (متر مربع)
۲/۹۹	۱/۲۴	مساحت مشاهده شده (متر مربع)
۰/۰۳۸	۰/۰۳	ضریب زبری پیشنهادی
۰/۰۳۴		میانگین ضریب زبری

نتایج سناریوهای شکست سد با استفاده از روابط

Froehlich

خلاصه نتایج حاصل از شکست سد در سناریوهای اول تا سوم به شرح جدول (۲) می‌باشد.

با عنایت به مطالب گفته شده از تعیین ضریب زبری منطقه از طریق بازدیدهای میدانی و جدول ۱، ضریب زبری ۰/۰۳۵ گزینه‌ای مناسب جهت کالیبراسیون مدل HEC-RAS می‌باشد.

جدول (۲): خلاصه نتایج حاصل از پارامترهای ناشی از شکست سد با استفاده از روابط Froehlich

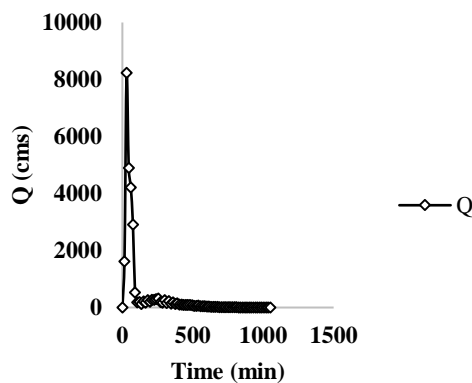
سناریو			پارامترهای ناشی از شکست سد
۳	۲	۱	



۳۹۴۰/۶	۲۸۱۲/۶	۲۳۸۳/۴	دبی (متر مکعب بر ثانیه)
۸۲/۹	۸۲/۵	۸۲/۳	میانگین عرض شکاف (متر)
۰/۷۲۹	۰/۷۴۲	۰/۷۴۹	زمان (ساعت)
۰/۹	۰/۹	۰/۹	شیب جانبی شکاف (افق به قائم)

تغییرات دبی عبوری ناشی از شکست سد

تغییرات دبی عبوری ناشی از شکست سد قره آقاچ در سناریو اول در نرم افزار HEC-RAS به شکل (۵) می-باشد.



شکل (۵): تغییرات دبی عبوری ناشی از شکست سد در سناریو اول

با توجه به این نمودار بیشترین دبی عبوری ناشی از شکست سد ۳۰ دقیقه پس از شکست سد اتفاق افتاده و معادل ۸۲۳۱/۷۸ متر مکعب بر ثانیه می-باشد.

پهنه بندی سیلاب در محیط RAS Mapper

پهنه بندی سیلاب بر اساس تغییرات عمق جریان آب زمانی که دبی ناشی از شکست سد به اوج خود رسیده است، در سناریو اول در محیط RAS Mapper به شکل (۶) می-باشد.

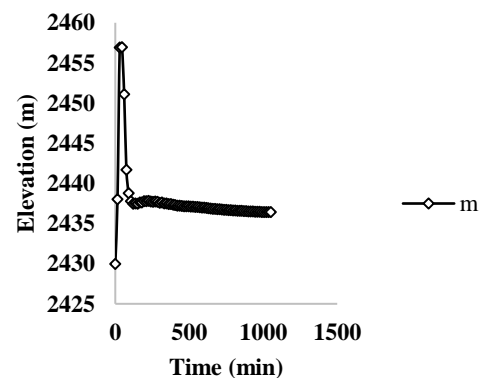
نتایج شکست سد در نرم افزار HEC-RAS

الف- شکست سد در سناریو اول

تحت سناریو اول در تراز ۲۴۴۴ روزنه ایجاد شده باعث شکست سد قره آقاچ گردیده و نتایج آن در مدل ۲ بعدی HEC-RAS به شرح ذیل خواهد شد.

تغییرات تراز سطح آب پایین دست

تغییرات تراز سطح آب پایین دست در سناریو اول در مدل HEC-RAS به شکل (۴) می-باشد.

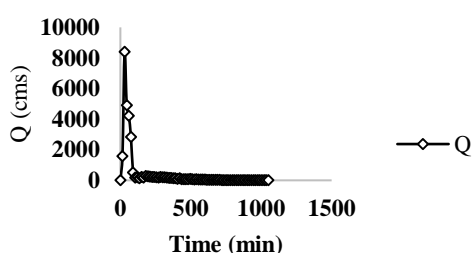


شکل (۴): تغییرات تراز سطح آب پایین دست در سناریو اول

با توجه به این نمودار بیشترین تغییرات تراز سطح آب در پایین دست منطقه مورد مطالعه ۴۵ دقیقه پس از شروع شکست سد اتفاق افتاده و معادل ۲۴۵۶/۹۴ متر می-باشد.

شروع شکست سد اتفاق افتاده و معادل ۲۴۵۶/۹۶ متر می‌باشد.

تغییرات دبی عبوری ناشی از شکست سد
تغییرات دبی عبوری ناشی از شکست سد قره‌آچاق در سناریو دوم در نرم‌افزار HEC-RAS به شکل (۸) می‌باشد.

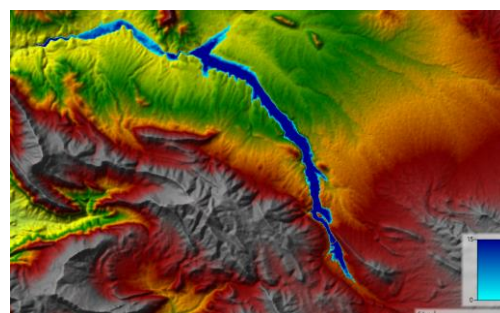
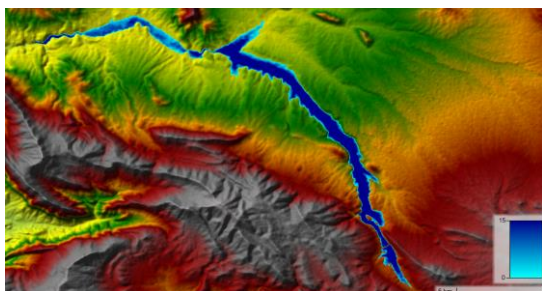


شکل (۸): تغییرات دبی عبوری ناشی از شکست سد در سناریو دوم

با توجه به این نمودار بیشترین دبی عبوری ناشی از شکست سد ۳۰ دقیقه پس از شکست سد اتفاق افتاده و معادل ۸۳۸۸/۸۶ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد.

پهنه‌بندی سیلاب در محیط RAS Mapper

پهنه‌بندی سیلاب بر اساس تغییرات عمق جریان آب زمانی که دبی ناشی از شکست سد به اوج خود رسیده است، در سناریو دوم در محیط RAS Mapper به شکل (۹) می‌باشد.



شکل (۶): پهنه‌بندی سیلاب بر اساس تغییرات عمق آب در محیط RAS Mapper در سناریو اول

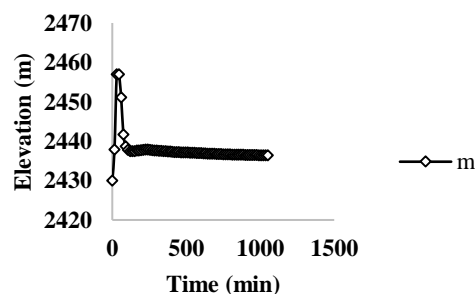
بر اساس نتایج به دست آمده از مدل Google Earth مساحت ناحیه آبرگرفتنی در این حالت حدوداً معادل ۲۱/۸ کیلومتر مربع می‌باشد.

ب- شکست سد در سناریو دوم

در صورتی که در تراز ۲۴۴۶ روزه ای ایجاد شده و باعث شکست سد قره‌آچاق گردد، نتایج آن در مدل ۲ بعدی HEC-RAS به شرح ذیل خواهد شد.

تغییرات تراز سطح آب پایین دست

تغییرات تراز سطح آب پایین دست در سناریو دوم در مدل HEC-RAS به شکل (۷) می‌باشد.

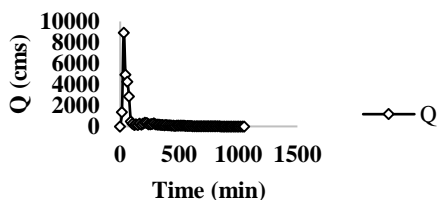


شکل (۷): تغییرات تراز سطح آب پایین دست در سناریو دوم

با توجه به این نمودار بیشترین تغییرات تراز سطح آب در پایین دست منطقه مورد مطالعه ۳۰ دقیقه پس از



در سناریو سوم در نرم افزار HEC-RAS به شکل (۱۱) می باشد.

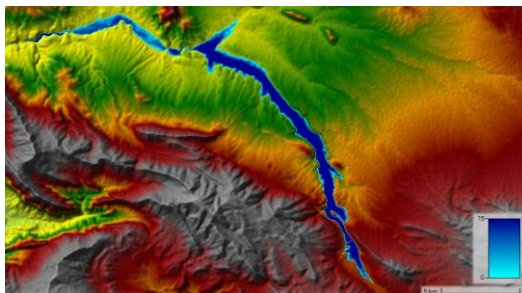


شکل (۱۱): تغییرات دبی عبوری ناشی از شکست سد در سناریو سوم

با توجه به این نمودار بیشترین دبی عبوری ناشی از شکست سد ۳۰ دقیقه پس از شکست سد اتفاق افتاده و معادل ۸۹۳۵/۶۴ متر مکعب بر ثانیه می باشد.

پهنه بندی سیلاب در محیط RAS Mapper

پهنه بندی سیلاب بر اساس تغییرات عمق جریان آب زمانی که دبی ناشی از شکست سد به اوج خود رسیده است، در سناریو سوم در محیط RAS Mapper به شکل (۱۲) می باشد.



شکل (۱۲): پهنه بندی سیلاب بر اساس تغییرات عمق آب در محیط RAS Mapper در سناریو سوم

بر اساس نتایج به دست آمده از مدل Google Earth مساحت ناحیه آبرفتگی در این حالت حدوداً معادل ۲۲/۸ کیلومتر مربع می باشد.

تحلیل آماری و مقایسه دبی اوج ناشی از شکست سد

شکل (۹): پهنه بندی سیلاب بر اساس تغییرات عمق آب در محیط RAS Mapper در سناریو دوم

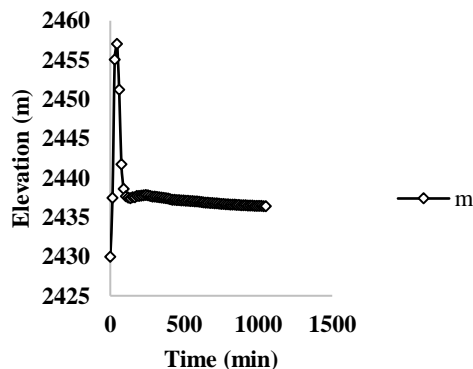
بر اساس نتایج به دست آمده از مدل Google Earth مساحت ناحیه آبرفتگی در این حالت حدوداً معادل ۲۲ کیلومتر مربع می باشد.

ج- شکست سد در سناریو سوم

در صورتی که در تراز ۲۴۵۱ روزه ای ایجاد شده و باعث شکست سد قره آقاچ گردد، نتایج آن در مدل ۲ بعدی HEC-RAS به شرح ذیل خواهد شد.

تغییرات تراز سطح آب پایین دست

تغییرات تراز سطح آب پایین دست در سناریو سوم در مدل HEC-RAS به شکل (۱۰) می باشد.



شکل (۱۰): تغییرات تراز سطح آب پایین دست در سناریو سوم

با توجه به این نمودار بیشترین تغییرات تراز سطح آب در پایین دست منطقه مورد مطالعه ۴۵ دقیقه پس از شروع شکست سد اتفاق افتاده و معادل ۲۴۵۷/۰۵ متر می باشد.

تغییرات دبی عبوری ناشی از شکست سد

تغییرات دبی عبوری ناشی از شکست سد قره آقاچ

اوج مشاهده شده با استفاده از نرم افزار HEC-RAS انجام و در جدول (۳) ارائه گردید.

طبق معادلات (۲۳) تا (۲۵) محاسبات و تحلیل آماری مربوط به نتایج دبی اوج محاسبه شده ناشی از شکست سد با استفاده از رابطه Froehlich و دبی

جدول (۳): نتایج حاصل از تحلیل های آماری دبی اوج ناشی از شکست سد تحت سناریوهای مختلف

سناریو	HEC-RAS	Froehlich	R ²	NRMSE	NSE
۱	۸۲۳۱/۷۸	۲۳۸۳/۴			
۲	۸۳۸۸/۸۶	۲۸۱۲/۶	۰/۹۹۶۸	۷/۷۹	-۳۲۹/۵۵
۳	۸۹۳۵/۶۴	۳۹۴۰/۶			

سناریو دوم ۳۰ دقیقه پس از آغاز شبیه سازی شکست سد دبی اوجی معادل ۸۳۸۸/۸۶ متر مکعب بر ثانیه و در سناریو سوم ۳۰ دقیقه پس از شروع شبیه سازی شکست سد دبی اوجی معادل ۸۹۳۵/۶۴ متر مکعب بر ثانیه اتفاق می افتد. بیشترین مساحت آبرفتگی حدوداً معادل ۲۲/۸ کیلومتر مربع برآورد و مربوط به زمانبست که در تراز ۲۴۵۱ از بدنه سد نشت شریانی اتفاق افتاده و منجر به شکست سد گردد. این در حالیکه کمترین مساحت آبرفتگی مربوط به ایجاد لوله در تراز ۲۴۴۴ می باشد و حدوداً معادل ۲۱/۸ کیلومتر مربع تخمین زده شد. تلفیق نتایج مدل های هیدرولیکی شکست سد با نرم افزارهای GIS منجر به ارائه دیدگاه های مناسب از وضعیت سیل-خیزی در مناطق پایین دست می گردد که موید نتایج مطالعات (Moya Quiroga et al. (2016), Latrubesse (2020) نیز است. نتایج حاکی از آن است که میزان همبستگی دبی اوج مشاهده شده ناشی از شکست سد با استفاده از نرم افزار HEC-RAS و دبی اوج محاسبه شده ناشی از شکست سد با استفاده از رابطه Froehlich معادل ۰/۹۹۶۸ می باشد. نرم افزار HEC-RAS دبی اوج ناشی از شکست سد را بیشتر از رابطه Froehlich برآورد می نماید، لذا بهتر است که در

با توجه به جدول (۳) میزان همبستگی دبی های اوج مشاهده شده ناشی از شکست سد با استفاده از نرم افزار HEC-RAS و دبی های اوج محاسبه شده ناشی از شکست سد با استفاده از رابطه Froehlich معادل ۰/۹۹۶۸ می باشد. لذا نتایج نمایانگر دقت بالای مدل سازی می باشد.

نتیجه گیری

با توجه به جدول (۲) نتایج حاکی از آن است که با در نظر گرفتن روابط Froehlich میانگین عرض ناحیه بازشدگی در سناریو اول، دوم و سوم به ترتیب معادل ۸۲/۳، ۸۲/۵ و ۸۲/۹ متر می باشد. زمان ناشی از شکست سد در سناریو اول، دوم و سوم به ترتیب معادل ۰/۷۴۹، ۰/۷۴۲ و ۰/۷۲۹ ساعت برآورد گردید. اگر از رابطه Froehlich جهت محاسبه دبی اوج ناشی از شکست سد حاکی قره آقاج استفاده گردد؛ در سناریو اول، دوم و سوم به ترتیب دبی اوجی معادل ۲۳۸۳/۴، ۲۸۱۲/۶ و ۳۹۴۰/۶ متر مکعب بر ثانیه اتفاق می افتد. این در حالیکه که با استفاده از نرم افزار HEC-RAS در سناریو اول ۳۰ دقیقه پس از شروع شبیه سازی شکست سد دبی اوجی معادل ۸۲۳۱/۹۱ متر مکعب بر ثانیه، در



مدیریت منابع آب نرم افزار HEC-RAS کالیبره و مورد استفاده قرار گیرد. در صورتی که سناریو ۳ در سد قره-آقاج اتفاق بیفتد خسارات مالی و تلفات جانی بیشتری نسبت به ۲ سناریو دیگر در مناطق پایین دست اتفاق می افتد.

منابع

ارزنلو، ا.، حسن زاده، ی و کاردان، ن. (۱۳۹۵). شبیه سازی عددی شکست سد و پهنه بندی سیلاب به منظور استفاده در تهیه برنامه واکنش سریع (مطالعه موردی: سد شهر چای ارومیه). فصلنامه علمی دریافتون. جلد ۳: ۸۳ - ۹۸. بی نام. (۱۳۹۴). مطالعات رفتار و تهیه گزارش سالیانه کنترل پایداری سد های مخزنی حنا و قره آقاج (گزارش مطالعات رفتارنگاری و کنترل پایداری سد قره آقاج). مهندسين مشاور زاینداب. شرکت آب منطقه ای اصفهان. شرکت مدیریت منابع آب ایران. وزارت نیرو.

بی نام (۱۳۹۱). گزارش مطالعات تعیین حد بستر و حریم و مرحله اول ساماندهی رودخانه مهرگرد (قره قاچ). گزارش مطالعات پایه (فصول اول تا چهارم). مهندسين مشاور پدید آب سپاهان. شرکت آب منطقه ای اصفهان. شرکت مدیریت منابع آب ایران. وزارت نیرو.

سیفی زاده، م.، عمادی، ع.ر و فضل اولی، ر. (۱۳۹۳). بررسی شکست سد پلرود در اثر روگذری و روندیابی سیلاب ناشی از آن در پایین دست. پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز. جلد ۵: ۱۵-۲۹.

شاهرضائی، س.ع.، رادفر، م و قنبری عدیوی، ا. (۱۳۹۹). ارزیابی پارامتر های ناشی از شکست سد خاکی قره آقاج با استفاده از رابطه فرولیچ (۱۹۹۵). نوزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه فردوسی مشهد.

شاهرضائی، س.ع.، رادفر، م و قنبری عدیوی، ا. (۱۴۰۰). ارزیابی و مقایسه پارامتر های ناشی از شکست سد قره آقاج با استفاده از رابطه Froehlich و مدل BREACH. فصلنامه علمی تخصصی مهندسی آب. جلد ۹: ۱۸-۳۲.

شاهرضائی، س.ع.، رادفر، م و قنبری عدیوی، ا. (۱۴۰۰). بررسی سیل پذیری مناطق پایین دست ناشی از وقوع بیشترین سیلاب محتمل در سد خاکی قره آقاج. فصلنامه علمی تخصصی مهندسی آب. جلد ۹: ۲۸-۴۲.

قبادیان، ر. (۱۳۹۸). بکارگیری روش های پرش قورباغه ولکس در مدل سازی دو بعدی شکست سد به روش تفاضل محدود صریح. نشریه دانش آب و خاک. جلد ۲۹: ۸۵ - ۹۹.

نجفی، م.، حسینی، س.ع و عبده کلاه چی، ع. (۱۳۹۶). پهنه بندی سیلاب ناشی از شکست سد به صورت دوبعدی با استفاده از HEC-RAS: مطالعه موردی سد علویان. چهارمین کنفرانس بین المللی عمران، معماری و توسعه اقتصاد شهری. شیراز.

Faudzi, M., Abustan, I., Abdul Kadir M.A, Wahab, M.Kh and Abdul Razak, M.F. (2019). Two-Dimensional Simulation of Sultan Abu Bakar Dam Release using HEC-RAS. School of Civil Engineering. University Sains Malaysia. Journal of Geomate. 16 : 124-131.

Greenberg, R.J. (2018). Dam Breach Model of Lake Anza Dam Using HEC-RAS. Presented to the Faculty of the Department of Civil Engineering. California State University. Sacramento. pp. 1-35.

Latrubesse, E.M., Park, E., Sieh, K., Dang, T., Lin, Y.N and Yun, S.H. (2020). Dam failure and a catastrophic flood in the Mekong basin (Bolaven Plateau) southern Laos, 2018. Geomorphology, Volume 362, pp 107221.

Moya Quiroga, V., Kure, S., Udo, K. and Mano, A. (2016). Application of 2D Numerical Simulation for the Analysis of the February 2014 Bolivian Amazonia Flood: Application of the New HEC-RAS Version 5. RIBAGUA 3. pp. 25-33.



Nash, J.E. and Sutcliffe, J. (1970). River flow forecasting through conceptual models, Part 1, A discussion of principles. *Journal of Hydrology*. 10: 282–290.

Urzica, A.; Miha-Pintilie, A.; Stoleriu, C.C.; Cîmpianu, C.I.; Huțanu, E.; Pricop, C.I.; Grozavu, A. (2021). Using 2D HEC-RAS Modeling and Embankment Dam Break Scenario for Assessing the Flood Control Capacity of a Multi-Reservoir System (NE Romania). *Water*. 13, 57.

Shrestha, S. and Lohpaisankrit, W. (2017). Flood Hazard Assessment under Climate Change Scenarios in the Yang River Basin Thailand. *International Journal of Sustainable Built Environment*. 6 :285-298.

Singh., J., Mustafa, Altinakar, M. S., Ding, Y. (2011). Two-Dimensional Numerical Modelling of Dam Break Flows over Natural Terrain Using a Central Explicit Scheme”, *Advances in Water Resources*, Vol.34, No.10, pp.1366-1375.

Singh., K.R., and Pauer, P.S. (2011). Comparative study of reference crop evapotranspiration (ET₀) by different energy based method with FAO56 Penman-Monteith method at New Delhi, India, *International Journal of Engineering Science and Technology*, Vol.3, No.10, 7861-7868. Singapore.

Toapaxi Alvarez, J and Acero Quilumbaquin, A. (2021). Analysis of Flooding by Dam Breaking Using the 2D HEC-RAS Model: Case Study of the Mulacorral Dam, Tungurahua Province, Ecuador. *Rev Politec*. 48(1), 51-64. ISSN 2477-8990.

Willems, P. (2009). A time series tool to support the multi-criteria performance evaluation of rainfall-runoff models. *Environmental Modeling Software* 24(3), 311-321.



Investigation of Flooding of Downstream Lands under Different Scenarios due to Failure of Ghare Aghach Earth Dam

Sayyed Ali Shahrezaie¹, Mahdi Radfar², Elham Ghanbari Adivi³

Abstract

Simulation of dam failure as well as flood investigation can be used by dam operators. In the present study, the flood zoning due to the piping of Ghare Aghach earth dam in 3 different scenarios that lead to the failure of the dam has been investigated in HEC-RAS software. All parameters due to dam failure were calculated using Froehlich equations. Finally, the flow rate calculated from Froehlich method with the observed flow rate from HEC-RAS software was statistically analyzed. The results showed that the highest peak flow observed due to dam failure in HEC-RAS software is related to the third scenario and is equal to 8935.64 cubic meters per second. However, the lowest peak flow observed due to dam failure in HEC-RAS software is related to the first scenario and is equal to 8231.78 cubic meters per second. Linked results of HEC-RAS software with the Google Earth model show that the highest flooding area occurred in the third scenario and was approximately equal to 22.8 square kilometers and the lowest flooding area is related to the first scenario and approximately equal to 21.8 square kilometers. Correlation due to dam failure using the Froehlich method and the observed peak flow using HEC-RAS software equal to 0.9968 which indicates high accuracy of modeling. Calibration and applying the linked results of the hydraulic models of failure dam as well as HEC-RAS with GIS software can be useful in downstream flood zoning for water crisis management.

Keywords: Dam failure, Land flooding, HEC-RAS, RAS Mapper

¹ Master's degree, Water Science and Engineering, Shahrekord University of Shahrekord, Iran. sayyed.ali.shahrezaie@gmail.com

² Assistant Professor, Water Science and Engineering, Shahrekord University of Shahrekord, Iran. mahdi1010@yahoo.com

³ Assistant Professor, Water Science and Engineering, Shahrekord University of Shahrekord, Iran. Elhamgh44@gmail.com