

Evaluation and Assessment of Capability of Hydrograph Model of Instantaneous Geomorphology Unit in Simulating Flood Hydrograph of Minab River Basin

Masoumeh Asadi¹, Iraj Jabbari^{2✉}, Homayoon Hesadi³

1. M. Sc of Geomorphology, Faculty Literature and Humanities, University of Razi, Kermanshah, Iran

E-mail: Asadi.m.zh@pnu.ac.ir

2. Associate Professor of Geomorphology, University of Razi, Kermanshah, Iran

✉E-mail: iraj.jabbari@razi.ac.ir

3. Assistant Professor of Faculty Member of Research, Education and Promotion Organization of Agriculture, Kermanshah, Iran

E-mail: h.hesadi@areeo.ac.ir



How to Cite: Asadi, M; Jabbari, I; & Hesadi, H. (2022). Evaluation and Assessment of Capability of Hydrograph Model of Instantaneous Geomorphology Unit in Simulating Flood Hydrograph of Minab River Basin. *Geography and Development*, 20 (68), 116-137.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22111/J10.22111.2022.7005>

Received:

22 April 2021

Received in revised form:

16 February 2022

Accepted:

19 April 2022

Published online:

25 August 2022

Keywords:

Instantaneous unit hydrograph of geomorphology, Hydro geomorphology, Morphometric characteristics, Flood simulation, Basin, Minab river.

ABSTRACT

Accurate prediction of floods is especially important in arid areas with more irregularities and intensities. Lack of hydrometric stations in these areas of our country, along with the important advantage of the GIUH model, which allows the simulation of precipitation-runoff of a basin with the least information data, led the researchers to evaluate the above model in the basin. Consider the catchment of Minab as their goal. The quantitative values of each of the geomorphological parameters of the GIUH model, the most important of which are the bifurcation ratio, length ratio and area ratio, have been calculated using GIS technology and with the help of HECGeoHMS add-on. In ranking waterways, the Strahler method was used as a basis. The hydrograph model of the geomorphology unit in the study basin has had acceptable results according to the calculated average error equivalent to 17.22% for the peak discharge of 4 selected events. However, in estimating the peak occurrence time, the amount of error is higher and in all events, the peak discharge time is less than the real time. In addition, the results of this model in the same basin under study also provided acceptable results with an average error rate of about 30% in calculating the peak discharge. The GIUH in Minab catchment has had acceptable results according to the mean error calculated for the peak discharge of 4 selected events. Therefore, it is possible to achieve the desired results from this model in similar conditions and by applying changes.



© the Author(s).

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

Extended Abstract

1. Introduction

Floods, as a natural disaster, cause great loss of life and property every year in the world. The increasing incidence of floods, as the most harmful recorded environmental hazard in the world, requires extensive and codified studies on floods and its forecast in the country. The scarcity and dispersion of

hydrological data, which is usually a common phenomenon in arid areas, is a serious obstacle for studying and understanding the behavior of basins in order to control and reduce floods. Therefore, researchers try to focus on the physiographic features of the basins. In this regard “instantaneous unit hydrograph” model is widely used in hydrological

studies, flood control and design of hydraulic structures. This model, also known as basin index hydrograph, eliminates the effect of precipitation height on the hydrograph [Alizade, 2008, 584]. The hydrograph of the geomorphological instantaneous unit investigated in this study is also designed based on it. The present study was conducted in Minab catchment area located in Hormozgan province. In this study, the instantaneous geomorphological unit hydrograph model was selected due to the high speed of calculations compared to similar models, the need for low data and the acceptability of the results in measuring and accuracy of flood prediction in the above basin.

2. Methods and Materials

To implement the model, first, a digital elevation model map with a height of 30 meters was prepared from the study basin, using which the required parameters including branching ratio, length ratio and area ratio were calculated. The Strahler method was used to rank the waterways with the help of which the required parameters of the model were calculated. Also, the data of the research, including the corresponding statistics of precipitation and flood discharge, were prepared to measure the performance of the model from meteorological and hydrometric stations of Brentin and Abnama. The geomorphological parameters of this model, which were mentioned above, have been calculated using GIS technology and with the help of HECGeoHMS plugin.

3. Results and Discussion

The results show that the model had more error in estimating the peak discharge time in both basins than the peak discharge estimation; So that the average error percentage of peak discharge in Minab basin is equal to 17.22 and this average for the time of occurrence of peak discharge in Minab catchment basin is 41.99. In Abnama watershed, the MAPE value or the average absolute value of error

percentage in the model evaluation shows that this value is 34.06 for estimating the peak discharge and 46.80 for estimating the time of occurrence of the peak discharge. From the analysis of these results, it can be seen that the model has the necessary efficiency in estimating the peak flow rate in the Minab catchment basin, and in the Abnama catchment basin, despite the greater difference between the calculated peak flow rate and the observed peak flow rate, because the results of this evaluation are in line with the results obtained for the watershed is Minab, it can be said that it has had acceptable results. This shows that the model can be generalized to similar basins.

4. Conclusion

The results of this investigation show that the model has worked relatively well in estimating the peak flood discharge for all 4 evaluated events, with an average error of 17.22% estimated in the Minab catchment basin, and in the Abnama catchment basin as the tested and tested basin. Generalizing with the data related to Minab basin, the average value of the absolute value of the error percentage in the evaluation of the model with an average error of 34.06% with an average error of less than 50% is acceptable. Therefore, it can be said that the GIUH model has the necessary efficiency in simulating the actual values of peak flood discharge in the study basin and similar basins. Therefore, it is possible to achieve the desired results from this model in the same conditions to improve the capability of the model and by applying the changes that have been made in the calculation of effective precipitation using the HEC-HMS model. Especially in areas similar to the Minab catchment area, which is located in a dry and semi-arid region.

Keywords: Instantaneous unit hydrograph of geomorphology, Hydrogeomorphology, Morphometric characteristics, Flood simulation, Basin, Minab river.

5. References

- Alizadeh, A. (2008). Principles of applied hydrology . Mashhad: Emam Reza University Publications.24.
<https://mohitesabs.blogspot.com/1394/11/25/>
- Asadi, M; Jabbari, I; Hesadi, H (2020), Flood modeling in arid and semi-arid regions using the HEC-HMS model, a case study (Istiqlal Minab Dam catchment), quantitative geomorphology research, 8 (3), 17-33.
http://www.geomorphologyjournal.ir/article_102792_3633dbc134.
- Allam, M.N. (1990). Case study evaluation of geomorphologic rainfall-runoff model, incorporating linear infiltration expression. Hydrological Processes, 4 (1), 71-84.
<https://doi.org/10.1002/hyp.3360040107>
- Anghesom, A.G. and Mathur, B.S. (2014). Geomorphologic instantaneous unit hydrographs for rivers in Eritrea (East Africa) . Journal of Indian Water Resources Society, 34 (1), 1-14
<https://pdfs.semanticscholar.org/e2be/8c6ba88d5f0d0f471391d36c88f76718cd3c.pdf>
- Bamufleh, S. Wagdany, A. Elfeki, A. Chaabani, A. (2020) Developing a geomorphological instantaneous unit hydrograph (GIUH) using equivalent Horton-Strahler ratios for flash flood predictions in arid regions. Geomatics Natural Hazard and Risk, 11(1), 1697- 1723
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19475705.2020.1811404>
- Berod, D.D. Singh, V. P. and Musy, A. (1999). A Geomorphologic Kinematic-Wave (GKW) Model for Estimation of Flood From Small Alpine Watersheds. Hydrological. Processes, 13 (9) , 391- 1416 .
[https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/\(SICI\)10991085\(19990630\)13:9%3C1391::AID-HYP809%3E3.0.CO;2-B](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/(SICI)10991085(19990630)13:9%3C1391::AID-HYP809%3E3.0.CO;2-B)
- Cheng, Y. Ke Zhang, Zh. Yu, Zhijia, Li. Qiaoling, Li. (2014). Improving the flood prediction capability of the Xinanjiang model in ungauged nested catchments by coupling it with the geomorphologic instantaneous unit hydrograph. Journal of hydrology, 517. 1035- 1048.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169414004971>.
- Ghahraman, B. Lotfi, M. (2010). "The applicability of unit hydrograph models in estimating flood hydrograph", Mashhad Northern Khorasan Regional Water Company Deputy of Research and Technical Affairs . Applied Research Plan, 1-113. https://www.researchgate.net/publication/342715987_Hydrology
- Ghiasi, N. Roghani, M. (2006). Efficiency of geomorphologic instantaneous unit hydrograph and compar with Snyder, SCS and Triangular synthetic unit hydrograph in Kasilian watershed . Pajouhesh & Sazandegi, 70 (1), 23-32.<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=63143>
- Golkarian, Ali. Naghibi, Seyed Amir. Davoodi Moghadam,D (2014). Evaluation of Geomorphological Growth Efficiency in Estimating Instantaneous Unit Hydrograph Dimensions and Comparing It with Schneider, SCS and Triangular Methods (Case Study: Jang Kardeh Watershed). Journal of Soil Science and Agricultural Industries, 28 (2), 440-450. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=240570>
- Gupta, V.K. Waymire, E. and Wang, C.T. (1980). A representation of an instantaneous unit hydrograph from geomorphology. Water Resources Manage, 16(5), 855-862. <https://doi.org/10.1029/WR016i005p00855>.
- Hormozgan Province Water Resources Studies (1995). Flood warning system studies in the Minab River Basin, Hormozgan Regional Water Company (Ministry of Energy).
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology, Bull. Geol. Soc. Amer. 56 (3), 275-370
<https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article/56/3/275/4075/EROSIONAL-DEVELOPMENT-OF-STREAMS-AND-THEIR>
- Swaina, J.B. Jhab, R. Patrac, K.C. (2015). Stream flow prediction in a typical ungauged catchment using GIUH approach- International conference on water resources. Coastal and ocean engineering (Icwrcoe), Aquatic Procedia. 4, 993-1000. <https://cyberleninka.org/article/n/1291597.pdf>

- Jin, C. X. (1992). A deterministic gamma geomorphologic instantaneous unit hydrograph based on path types. *Water Resources Research*, 28, 479-486. http://ponce.sdsu.edu/DGTGIUH_Jing_1992.pdf
- Karami, F. Esmailpor, M. (2014). Determination of runoff by geomorphological instantaneous unit hydrograph (GIUH) model. *Hydrogeomorphology*, 1, 145-157. https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_3280.html
- Khaleghi, M. Holy, J. Ahmadi, H. Kamyar, M. (2009). Evaluation of the efficiency of instantaneous geomorphology unit hydrograph method in estimating the peak flow rate. *Quarterly Journal of Natural Resources Science and Technology*, 5 (2), 89-100. http://jstnr.iauc.ac.ir/article_544743_b5070263c6bd4b4647ed3c4313895bed.pdf
- Khaleghi, M.R. Ghodusi, J. and Ahmadi, H. (2014). Regional Analysis Using the Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph (GIUH) Method. *Soil & Water Res*, 9 (1), 25-30
https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/33_2012-SWR.pdf
- Kirshen, D. M. and Bras, R. L. (1983). The linear channel and its effect on the geomorphologic IUH. *J. Hydrol*, (65), 175-208. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022169483902160>
- Kwan, Tun Lee. and Chin-Hsin, Chang. (2005). Incorporating Subsurface-Flow Mechanism into Geomorphology-Based IUH Modeling. *Journal of Hydrology*, (311), 91-105.
https://www.researchgate.net/publication/222249730_Incorporating_subsurface_flow_mechanism_into_geomorphology-based_IUH_modeling
- Mahmoudi, F. Eivazi, M. Yamani, M. Nasiri, A. (2004). Flood estimation using GIUH analysis (Case study of Imama Basin). *Journal of Geographical Sciences*, 3 (4), 11-30.
https://jgs.khu.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-3-32&slc_lang=fa&sid=1
- Mahmoudi, F. Yamani, M. Bahrami, SH. (2007). Case study evaluation of geomorphologic instantaneous unit in Kangir Catchment Eivan Gharb. *Geography Resources*, 60, 1-14.
<https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?id=67043>
- Maleki, A. Hafezparast, M. Abdi, V. (2019). Efficiency of instantaneous geomorphological unit hydrograph (GIUH) and its comparison with Schneider, SCS and triangular models in Mereg basin of Kermanshah province. *Scientific Quarterly of Geographical Space*, 68, 59-74.
http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-2538-2&slc_lang=fa&sid=1
- Mashari Eshgh Abad, S. Nohegar, A. Omidvar, E. (2012). Runoff simulation using geomorphological instantaneous unit hydrograph (GIUH), (case study: Bar basin-Khorasan Razavi). *Journal of Natural Erosion Resources*, 6, 115-126. <http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-280-en.pdf>
- Mohammadi, A. and Ahmadi, H. (2011). "Regional model presentation for peak discharge estimation in ungauged drainage basin using geomorphologic, Snyder, SCS and Triangular models (case study: Kan drainage basin). *Lar Natural Geography*, 4 (13), 37-48. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=150330>
- Mostafazadeh, R. Bahremand, A. and Sadaddin, A. (2009). Simulating the direct runoff hydrograph using Clark (Case study: Jafar-Abad Watershed, Golestan Province). *J. of Water and Soil Conservation*, 16 (3), 105-122. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=128693>
- Negahban, S. Abbasi, M. Moradi, A. Barzkar, M. (2014). Extraction of hydrograph (geomorphological unit based on Lopez method and its comparison with observational hydrometers in Hosseinabad basin, *Quantitative Geomorphological Research*, 3 (2), 63-76. http://www.geomorphologyjournal.ir/article_77951.html
- Olivera, F. and Maidment, D. (1999). Geographic Information systems (GIS) – Based Spatially Distributed Model for Runoff Routing. *Water Resour.Res*, 4, 1135-1146. <https://doi.org/10.1029/1998WR900104>
- Pena, A. Ayuso, L. and Giraldez, V. (1999). Incorporating topologic properties into the, Geomorphologic instantaneous unit hydrograph. *Phys. Chem .Earth (B)*, 24(1-2), 55-58.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1464190998000112>
- Rodriguez- Iturbe, I. and Valdes, J. B. (1979). The geomorphologic structure of the hydrologic response. *Water Resources Research*, 15(6), 1409-1420.
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/WR015i006p01435>

- Rodriguez-Iturbe, I. Gonzalez-Sanabria, M. and Caamano, G. (1982b) . On the climatic dependence of the IUH: A rainfall-runoff analysis of the Nash model and the geomorphoclimatic theory. *Water Resour.Res.*, 18 (4) , 887-903.
<https://doi.org/10.1029/WR018i004p00887>
- Sabzevari, T. Hasannezhad, A. Razavi, S A. (2012). Flood estimation of non-statistical catchments by geomorphological instantaneous unit hydrograph method (Case study: Andika Rud Karun saline catchments). *Journal of Water Resources Engineering.* 4 (11) 33-47. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=189053>
- Saeedi, P. Niksokhan, MH. Nouroozi, KH. (2015). Estimation of Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph (GIUH) and Width function Instantaneous Hydrograph (WFIUH) in no statistics Basins (Case Study: Qorveh Basin). *Echo Hydrology*, 2 (1), 51-62.https://journals.ut.ac.ir/article_55128.html
- Salari Jazi, M. (2009). Evaluation of the GIUH-NASH and GIUH-CLARK models in Kasilian watershed, Shiraz, 8th International Congress on Civil Engineering.<https://www.civilica.com/Papers-ICCE08=.html>
- Sanjari, M. (2019). Multi-Comparison Analysis of Instant Geomorphological Unit (GIUH) Hydrograph Model, Rangeland and catchments Management. *Iranian Journal of Natural Invaironment*, 71 (4), 936- 971
https://jrwm.ut.ac.ir/article_70137.html
- Shadeed, S. Shaheen, H. Jayyousi, Anan. (2007). GIS-based KW-GIUH hydrological model of semiarid catchments: The case of Faria catchment, Palestine. *Arabian Jornal For Science And Engineering*, 39 (36),3-16.
<https://inis.iaea.org/search/searchsinglerecord.aspx?recordsFor=SingleRecord&RN=39089842>
- Sharifi, F. B, Saghafian. and Telvari, A. (2002). The Great 2001 Flood in Golestan Province. Iran: Causes and Consequences. *International Conference on Flood Estimation*, Berne, Switzerland, 263-271.
https://www.researchgate.net/publication/236229926_great_2001_flood_in_Golestan_province_Iran_Causes_and_consequences
- Yingbing, Ch. Peng, Shi. Xiaomin, Ji. Simin, Qu. Lanlan, Zh. Fengcheng, D. (2019). New method to calculate the dynamic factor-low velocity in Geomorphologic instantaneous unit hydrograph. *Scientific Reports nature research*, 9 (14201), 735. www.nature.com/scientificreports
- Zakizadeh, F. Malekinezhad, H. Ekhtesasi, M. (2015). Comparison of geomorphologic, geomorphoclimatic and nash instantaneous unit hydrograph in estimating outlet runoff hydrograph characteristics (Case study: Manshad watershed). *Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi)*, 107, 2-11.
https://wmrj.areeo.ac.ir/article_107080_a743551c03a7be4b2b0f31aa293c9545.pdf
<http://www.irna.ir/fa/News/8154691>



ارزیابی و سنجش قابلیت مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل حوضه آبریز رودخانه میناب

معصومه اسدی^۱، دکتر ایرج جباری^{۲*}، دکتر همایون حسادی^۳

مقاله پژوهشی

چکیده

پیش‌بینی درست وقوع سیلاب به‌ویژه در مناطق خشک که با بی‌نظمی و شدت بیشتری همراه است، از اهمیت زیادی برخوردار است. کمبود ایستگاه‌های هیدرومتری در این مناطق از کشور ما در کنار مزیت مهم مدل هیدروگراف ژئومورفولوژی (GIUH)، که با کمترین داده‌های اطلاعاتی امکان شبیه‌سازی بارش-رواناب یک حوضه را فراهم می‌کند، محققان این پژوهش را بر آن داشت تا ارزیابی مدل مذکور را در حوضه آبریز سد استقلال میناب به‌عنوان هدف خود در نظر بگیرند. مقادیر کمی هر یک از پارامترهای ژئومورفولوژیک مدل GIUH که مهم‌ترین آن‌ها نسبت انشعاب، نسبت طول و نسبت مساحت است، با بهره‌گیری از نقشه رقومی ارتفاع با مقیاس ۳۰ متر و به کمک فناوری GIS و الحاقیه HECGeoHMS محاسبه شده‌اند. در رتبه‌بندی آبراه‌ها نیز از روش استرالر به‌عنوان مبنا استفاده شد. مدل هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی در حوضه مورد بررسی با توجه به میانگین خطای محاسبه‌شده (معادل ۱۷/۲۲ درصد) برای اوج ۴ واقعه انتخاب‌شده، نتایج قابل‌قبولی داشته است؛ ولی در برآورد زمان وقوع دبی اوج مقدار خطا بیشتر بوده و در همه وقایع، زمان وقوع دبی اوج کمتر از زمان واقعی به دست آمده است. علاوه بر این، نتایج این مدل در حوضه مشابه مورد بررسی (آبنا) نیز با میانگین درصد خطای حدود ۳۰ درصد در محاسبه دبی اوج نتایج قابل‌قبولی ارائه داد؛ بنابراین می‌توان از این مدل در شرایط مشابه و با اعمال تغییرات به نتایج مطلوبی رسید.

جغرافیا و توسعه، شماره ۶۸، پاییز ۱۴۰۱
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۲
تاریخ بازنگری داوری: ۱۴۰۰/۱۱/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۳۰
صفحات: ۱۱۶-۱۳۷



واژه‌های کلیدی:

هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی، هیدروژئومورفولوژی، ویژگی‌های مورفومتریک، شبیه‌سازی سیل، حوضه، رودخانه میناب.

مقدمه

ایران بحرانی‌تر است؛ به‌طوری‌که در ۲۰ اسفند ۱۳۹۴ در استان هرمزگان و شهرستان میناب بر اثر تنها یک فقره بارندگی سیل‌آسا در یک روز، ۱۱۰ میلی‌متر بارندگی ثبت شد و دو هزار میلیارد ریال خسارت به‌بار آورد (اسدی، جباری و حسادی، ۱۳۹۸: ۱۸). یک چنین وضعیتی ایجاب می‌کند که مطالعات گسترده و مدوّتی در رابطه با سیلاب و پیش‌بینی آن در کشور صورت گیرد؛ ولی کمبود و پراکندگی داده‌های هیدرولوژیک که معمولاً در مناطق خشک پدیده عادی است، مانع جدی در بررسی و شناخت رفتار حوضه‌ها به‌منظور

سیل به‌عنوان یکی از بلایای طبیعی، هر ساله خسارات جانی و مالی فراوانی در سرتاسر جهان به بار می‌آورد. بررسی سیل‌های خسارت‌بار کشور طی ۵۰ سال (۱۳۸۰-۱۳۳۰) نشان می‌دهد که ایران به‌دلیل واقع‌شدن در منطقه خشک و نیمه‌خشک، ۳۷۰۰ مورد سیل حادثه‌خیز داشته است که تنها در یک دهه آن (۱۳۶۱ تا ۱۳۷۱) با وقوع ۴۸۱ سیلاب مهم، ۶۳۰ نفر جان خود را از دست داده‌اند (Sharifi, Saghafian & Telvari, 2002: 264). این شرایط در مناطق خشک

یک واحد بارش مازاد لحظه‌ای آبخیز ارائه شده که در دهه‌های اخیر پیشرفت‌های معنی‌داری در آن صورت گرفته است؛ به طوری که در دو دهه گذشته، استفاده از ویژگی‌های ژئومورفولوژی حوضه آبخیز در شبیه‌سازی‌های رواناب توجه بسیاری از هیدرولوژیست‌ها را به خود جلب کرده است؛ به همین دلیل تحقیقات متعددی (Gupta et al, 1980: 855; Rodriguez- Iturbe et al, 1982: 887; Kirshen & Bars, 1983: 175; Olivera & Maidment, 1999: 1135; Berod et al, 1999: 1391; Kwan & Chang, 2005: 91; Jin, 1992: 479; Pena et al, 1999: 5; Angsom, 2014: 1; Bamufle, 2020: 1697) و (محمدی، ۱۳۹۰: ۳۷؛ سنجرى، ۱۳۹۷: ۹۶۳) در حوضه‌های مختلف جهان به دلیل تنوع شرایط اقلیمی و ژئومورفولوژیکی برای ارزیابی کارایی روش‌های استنتاج هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی انجام شده است؛ به طوری که چنگ (۲۰۱۴) در جنوب رشته کوه‌های آنهویی چین، سوین (۲۰۱۵) رودخانه کوئل در هندوستان، محمد نصرآلام (۱۹۹۰) در عربستان، شادید و همکاران (۲۰۰۷) در حوضه فاریا فلسطین، خالقی (۲۰۱۴) در حوضه امامه، گلکاریان و همکاران (۱۳۹۳) در حوضه جنگ کارده، کرمی (۱۳۹۳) حوضه دریان چای، سعیدی (۱۳۹۴) در حوضه قروه، زکی‌زاده (۱۳۹۴) در حوضه منشاد، سالاری جزی (۱۳۸۸) در حوضه معرف کسلیان، نگهبان (۱۳۹۳) در حوضه حسین آباد، ملکی (۱۳۹۸) در حوضه مرگ کرمانشاه، محمودی و همکاران (۱۳۸۳) در حوضه امامه، قهرمان (۱۳۸۸) در حوضه آبخیز جنگ، خالقی و همکاران (۲۰۰۹) در حوضه آبخیز کسلیان، محمودی و همکاران (۱۳۸۶) در حوضه کنگیر ایلام، در برآورد میزان کارایی مدل GIUH در شرایط اقلیمی و ژئومورفولوژیکی مطالعه خود به نتایج قابل قبولی دست یافته‌اند. با مروری اجمالی بر نتایج

کنترل و کاهش سیلاب است؛ از این رو پژوهشگران تلاش می‌کنند تا مدل‌های خود را روی ویژگی‌های فیزیوگرافیک حوضه‌ها متمرکز کنند. یکی از این مدل‌ها که کاربرد زیادی در مطالعات هیدرولوژی، کنترل سیلاب و طراحی سازه‌های هیدرولیکی دارد، هیدروگراف واحد لحظه‌ای است که به‌عنوان هیدروگراف شاخص حوضه نیز شناخته می‌شود و تأثیر ارتفاع بارش را روی هیدروگراف از بین می‌برد (علیزاده، ۱۳۸۷: ۵۸۴) با حذف اثر ارتفاع بارش و زمان، شکل هیدروگراف واحد لحظه‌ای فقط متأثر از ویژگی‌های فیزیکی حوضه است. مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی بر پایه همین اصل قرار دارد که در آن ویژگی‌های ژئومورفولوژی حوضه در تهیه هیدروگراف واحد لحظه‌ای حوضه به کار می‌رود. با توجه به اینکه در بیشتر موارد، جمع‌آوری داده در سطح حوضه‌ها با مشکل روبه‌روست، بهره‌گیری از مدل‌هایی که بتواند با ایجاد ارتباط بین پارامترهای ژئومورفولوژی و هیدرولوژی، امکان پیش‌بینی سیلاب را فراهم کند، بسیار مفید است. مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی یا GIUH قادر به انجام این کار است. تجزیه و تحلیلی که در این مدل به کار می‌رود، فرایند مارکوف پیوسته است که در آن میانگین زمان پیمایش به شکل توزیع توانی فرض می‌شود. تئوری هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی به‌عنوان تابع چگالی احتمال رسیدن یک قطره آب به خروجی حوضه تعریف می‌شود که به‌طور تصادفی انتخاب شده باشد. پارامترهای مدل با توجه به قوانین رتبه‌بندی هورتون (۱۹۴۵) در شبکه زهکشی و الگوی رتبه‌بندی جریان استرالر تعیین شده است. مدل هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی (GIUH) نخستین بار توسط رودریگوئز-ایتورب و والدس (۱۹۷۹) به‌عنوان واکنش حوضه آبخیز نسبت به ورود

دارای آمار و تعمیم آن به حوضه‌های مشابه به لحاظ ژئومورفولوژی و بدون آمار است (مشاری‌عشق‌آباد، نوحه‌گر و امیدوار، ۱۳۹۱: ۱۱۷). در بیشتر تحقیقات انجام‌شده به رغم هدف اصلی تحقیقاتشان که کشف کارایی این مدل در حوضه‌های مشابه است، فقط به مقایسه نتایج محاسبه‌شده مدل با داده‌های مشاهده‌ای اکتفا کرده‌اند؛ از این رو در این تحقیق سعی شده که برخلاف تحقیقات پیشین، شبیه‌سازی رواناب سیل براساس هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی، علاوه بر سنجش مدل در محدوده مورد مطالعه (حوضه آبریز میناب) از طریق مقایسه با داده بارش و رواناب مشاهده‌ای، نتایج آن در حوضه آبریز آبنما که از نظر ژئومورفولوژیکی حدوداً ۷۰ درصد ویژگی‌های آن مشابه حوضه میناب است و از نظر اقلیمی نیز شرایط یکسانی دارند، مورد سنجش قرار گیرد که از این طریق کارایی آن علاوه بر مقایسه با داده‌های مشاهده‌ای، در حوضه‌ای مشابه با آزمون دربیاید و با اطمینان بیشتری مورد تأیید قرار گیرد.

روش تحقیق

منطقه مورد بررسی

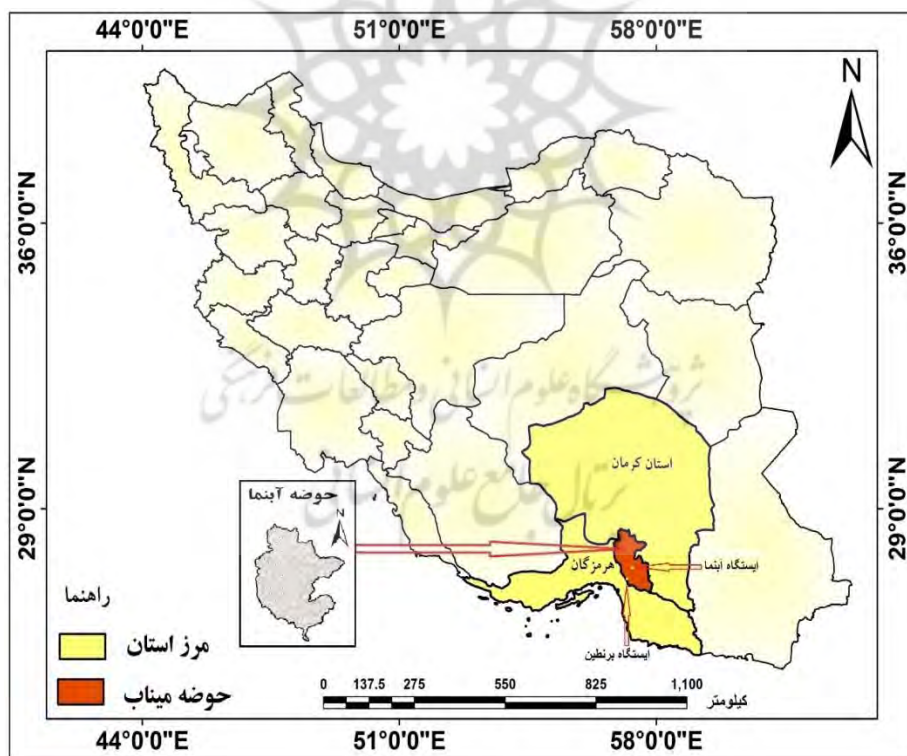
حوضه آبریز سد میناب در محدوده جغرافیایی ۲۰ ۵۷ ۲۶ تا ۴۵ ۳۰ ۲۸ عرض شمالی و ۴۴ ۴۹ ۵۶ تا ۱۷ ۴۳ ۵۷ طول شرقی، در جنوب‌غربی استان کرمان و شمال‌شرقی استان هرمزگان واقع شده و با وسعت ۹۷۶۶ کیلومترمربع از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین حوضه‌های آبریز سواحل جنوبی ایران است. این حوضه از شمال‌شرقی به حوضه آبریز هلیل رود و از شرق به حوضه آبریز جازموریان و از غرب به حوضه آبریز فرعی حسن لنگی و از جنوب به حوضه آبریز رودخانه‌های جگین و رزانی محدود می‌شود (شکل ۱). اقلیم این حوضه، گرم و خشک و دارای رژیم بارندگی مدیترانه‌ای با میانگین سالانه ۲۳۰ میلی‌متر است. متوسط تبخیر

تحقیقات انجام‌شده در مورد اعتبار، حساسیت، کارایی و محدودیت روش‌های مختلف برآورد هیدروگراف واحد، نیاز به انجام تحقیقات و پژوهش‌های بیشتر در این زمینه مشهود است. با وجود اینکه مدل‌ها و روش‌های جدیدتری بر مبنای مدل ژئومورفولوژیک برای رفع نواقص مدل طراحی شده است؛ اما نتایج ارزیابی آن‌ها در مناطق مختلف نشان می‌دهد که همچنان در برخی از مناطق، مدل اولیه GIUH دارای نتایج بهتری در شبیه‌سازی است که قطعاً به تفاوت‌های منطقه‌ای برمی‌گردد؛ از این رو با توجه به اینکه ارزیابی مدل در مناطق مختلف اقلیمی یا دارای ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی خاص، نتایج متفاوتی داشته، بهتر است جداگانه در شرایط متفاوت بیشتری مورد ارزیابی قرار گیرد که بتواند برای برطرف کردن نقاط ضعف مدل و بهبود شبیه‌سازی‌ها از آن بهره‌گرفت. برای بهبود توسعه مدل نیز تحقیقاتی هر چند اندک صورت گرفته است که در آن‌ها بخش‌هایی از مدل‌سازی را به چالش کشیده‌اند؛ از آن جمله می‌توان به کارهای (Yingbing, 2019: 735; Bamufleh, 2020: 1702) اشاره کرد. تحقیق حاضر نیز برای آزمایش مجدد مدل GIUH در شبیه‌سازی سیلاب البته با تغییر در نحوه محاسبه بارش مؤثر و تلاش برای به‌دست‌آوردن نتایج بهتر با بهره‌گیری از مدل GIUH، در حوضه آبریز سد استقلال میناب صورت می‌گیرد. با توجه به شرایط ویژه این حوضه، به دلیل محدودیت‌های اقلیمی، خشکی دائمی و خشکسالی‌های مکرر و وجود منابع مطلوب آبی که هر ساله به صورت سیلاب در بارش‌های فصلی با رگبارهای بسیار تند از دسترس خارج می‌شود، اهمیت توجه خاص به مهار رواناب‌های سطحی در این حوضه را دوچندان می‌کند. هدف از شبیه‌سازی هیدروگراف سیل، ایجاد رابطه بین ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی در حوضه و ارزیابی دقت پیش‌بینی وقوع سیلاب در حوضه‌های

هستند که رودخانه میناب از اتصال دو رودخانه رودان جغین به وجود می‌آید. حوضه آبریز میناب از نظر شکل به صورت کشیده است. به علت ریزش‌های گباری رودخانه‌ها غالباً دارای رژیم سیلابی هستند. به این دلیل هر ساله بخش اعظمی از بارش‌های این حوضه به صورت سیلاب، از دسترس خارج می‌شود. در این حوضه دو ایستگاه هیدرومتری فعال به نام‌های برنطین و آبنما وجود دارد که از هر دو آن‌ها که در خروجی حوضه‌های خود واقع شده‌اند، برای برآورد کارآمد بودن مدل هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی در شرایط ژئومورفولوژیکی و اقلیمی خاص خود به‌عنوان نمونه‌هایی از مناطق خشک، بهره گرفته شده است.

از تشتک تبخیر $3538/3$ میلی‌متر اندازه‌گیری شده است. اختلاف ارتفاع در سطح حوضه برابر با 2625 متر است و اراضی کوهستانی بیشتر در بخش‌های شمالی، شمال شرقی و غربی و شرق و بخش‌هایی از جنوب حوضه قرار دارد. وسعت دشت‌ها حدود یک‌سوم کل حوضه یعنی 3506 کیلومتر مربع است که به صورت ناپیوسته و پراکنده در سطح حوضه توزیع شده‌اند (اداره امور آب استان هرمزگان، ۱۳۷۴: ۴۰).

محدوده مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی ساختمانی در سه زون زاگرس مرتفع، مکران و عمدتاً سنندج-سیرجان با لیتولوژی دگرگونی واقع شده است. سه رودخانه رودان، جغین و میناب در سطح حوضه جاری



شکل ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش و دستیابی به اهداف مورد نظر علاوه بر مطالعات کتابخانه‌ای، نیاز به استفاده از نرم‌افزار HEC-HMS و Arc GIS، نقشه توپوگرافی، نقشه زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی، تصاویر هوایی گوگل ارث دوربین عکاسی، آمار دبی روزانه، ساعتی و سالانه و همچنین آمار بارش سالانه، روزانه و ساعتی بود. این مواد، داده‌ها و آمار از طریق مراجعه مستقیم به سازمان‌های نقشه‌برداری کشور، سازمان زمین‌شناسی استان هرمزگان، سازمان آب منطقه‌ای استان هرمزگان و اداره منابع طبیعی استان هرمزگان و کرمان جمع‌آوری شد.

تئوری GIUH به‌عنوان تابع چگالی احتمال رسیدن یک قطره آب به خروجی حوضه تعریف می‌شود که به طور تصادفی انتخاب شده باشد. به‌طور کلی معادله GIUH برای یک حوضه درجه ۳ (رابطه ۱) به صورت زیر تعریف می‌شود:

رابطه ۱:

$$GIUH(t) = \frac{d4(t)}{dt} = \Theta_1(0) \cdot \frac{d14(t)}{dt} + \Theta_2(0) \cdot \frac{d24(t)}{dt} + \Theta_3 \cdot \frac{d34(t)}{dt}$$

که در آن $\Theta_n(t)$ احتمال وضعیت (احتمال اینکه یک قطره بارش در لحظه t در خروجی حوضه باشد). $\Theta_i(0)$ احتمال وضعیت اولیه (احتمال افتادن قطره آب به دامنه‌های رتبه i) و $\Phi_{i(N+1)}(t)$ احتمال تغییر مسیر (از حالت I به $(N+1)$ در لحظه t هستند (محمودی، ۱۳۸۶: ۵). با توجه به اینکه ارزیابی و حل این معادله کار مشکلی است، رودریگوئز-ایتورب و والدز^۱ (۱۹۷۹) پیشنهاد کردند که براساس پارامترهای هیدرودینامیکی سرعت آب در اوج سیلاب (V) و همچنین پارامترهای ژئومورفولوژی کمی حوضه مانند RB, RA, RL و Ω می‌توان qp (رابطه ۲) و tp (رابطه ۳)

(۳) را استخراج و براساس آن به تهیه هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی اقدام کرد.

رابطه ۲: $qp = 1.31/L_{\Omega}(RL)^{0.43} V$

رابطه ۳: $tp = \frac{0.44L_{\Omega}}{V} \left(\frac{RB}{RA}\right)^{0.55} RL^{-0.38}$

که L_{Ω} طول آبراهه با بزرگ‌ترین رتبه (km)، V سرعت اوج برحسب (m/s) در نظر گرفته شده است. qp دبی اوج هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی برحسب (hr^{-1}) است که tp زمان تا اوج به ساعت، RB نسبت انشعاب، RA نسبت مساحت، tr زمان بارش مؤثر (h) و tp زمان تا اوج هیدروگراف خروجی به ساعت است.

qp و tp محاسبه شده از روابط مذکور به ساعت و بر ساعت است؛ بنابراین روابط زیر برای محاسبه دبی اوج سیلاب و زمان تا اوج هیدروگراف خروجی سیلاب ارائه شده است (رابطه ۴ و ۵).

رابطه ۴: $Qp = qp/3600 \cdot \frac{ir}{100} \cdot A$

رابطه ۵: $Tp = tp + 0.75tr$

A: مساحت حوضه (متر مربع)

ir: شدت بارش (سانتی‌متر در ساعت)

tr: مدت بارش مؤثر (ساعت)

(مشاری عشق‌آباد و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۲۰).

برای محاسبه پارامترهای نسبت انشعاب، نسبت طول و نسبت مساحت نیز از روابط ۶ تا ۸ استفاده شد.

رابطه ۶: $RB = N_U / N_{U+1}$

رابطه ۷: $RL = L_U / L_{U-1}$

رابطه ۸: $RA = A_U / A_{U-1}$

($\Omega\Omega$)، شیب رودخانه اصلی، نسبت انشعاب (RB)، نسبت طول (RL)، نسبت مساحت (RA) (جدول ۱ و ۲) و سرعت جریان برآورد شد. در رتبه‌بندی آبراهه‌ها، از روش استرالر به‌عنوان مبنا استفاده شد. به‌منظور استخراج اطلاعات بارش و دبی هم‌زمان سیلاب، از آمارهای بارش و دبی سیلابی موجود در ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری برنطین و آبنما استفاده شد. در مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی (GIUH)، سعی می‌شود که با ارتباط دادن هیدروگراف با مشخصات ژئومورفولوژیکی، پاسخ هیدرولوژیکی حوضه به رواناب سطحی مورد ارزیابی قرار گیرد.

که تعداد آبراهه‌های با رتبه u ، Lu طول آبراهه‌های با رتبه u و Au مساحت آبراهه‌های با رتبه U است. $Nu+1$ تعداد آبراهه‌های با رتبه $u+1$ ، $lu-1$ تعداد آبراهه‌های با رتبه $u-1$ و $Au-1$ مساحت آبراهه‌های با رتبه $u-1$ است (علیزاده، ۱۳۸۷: ۴۷۴).

برای اجرای مدل GIUH با استفاده از مواد موردنیاز تحقیق، ابتدا با استفاده از نقشه رقومی ارتفاع با مقیاس ۳۰ متر حوضه آبریز سد استقلال میناب، با کمک نرم‌افزار ArcGIS 10.5 الحاقیه Hydrology، مقادیر کمی هر یک از پارامترهای ژئومورفولوژیک محدوده موردنظر، از قبیل مساحت، طول آبراهه با بالاترین رتبه حوضه

جدول ۱: پارامترهای ژئومورفولوژی حوضه آبریز رودخانه میناب

رتبه آبراهه	تعداد آبراهه	متوسط طول	نسبت متوسط طول رده بالاتر به رده پایین‌تر	(کیلومتر مربع) متوسط مساحت	نسبت متوسط مساحت رده بالاتر به رده پایین‌تر	نسبت انشعاب	نسبت طول	نسبت مساحت	طول رودخانه با بیشترین رتبه ($\Omega\Omega$)
۱	۱۷۲۸	۱/۹۸	۲/۰۸۷	۳/۶۱	۱/۱۰۶	۳/۹۹	۲/۷۷	۲/۷۲۶	۷۰،۰۰۱
۲	۴۹۰	۴/۱۵	۱/۴۹۴	۴	۱/۵۸۳				
۳	۱۴۷	۶/۱۷	۱/۹۵۷	۶/۳۱	۲/۰۸۲				
۴	۲۶	۱۲/۰۹	۰/۴۳۷	۱۳/۱۴	۰/۳۷۰				
۵	۱۲	۴/۰۷	۸	۴/۸۸	۸/۶۸۰				
۶	۳	۳۲/۶۱	۲/۱۴۲	۴۲/۳۱	۲/۵۳۸				
۷	۱	۶۹/۸۸		۱۰۷/۴۲					

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۹

جدول ۲: پارامترهای ژئومورفولوژی حوضه آبریز آبنما

رتبه آبراهه	تعداد آبراهه	متوسط طول	نسبت متوسط طول رده بالاتر به رده پایین‌تر	(کیلومتر مربع) متوسط مساحت	نسبت متوسط مساحت رده بالاتر به رده پایین‌تر	نسبت انشعاب	نسبت طول	نسبت مساحت	طول رودخانه با بیشترین رتبه ($\Omega\Omega$)
۱	۹۲۹	۱/۹۳	۲/۴۱	۴/۲۵	۰/۲۲	۳/۶۹	۲/۱۷	۲/۹۸	۳۴/۱۵
۲	۲۵۰	۴/۶۷	۱/۳۲	۰/۹۷	۶/۵۰				
۳	۸۰	۶/۲۰	۱/۸۱	۶/۳۳	۲/۰۱				
۴	۱۴	۱۱/۲۵	۰/۳۱	۱۲/۷۷	۰/۳۷				
۵	۱۰	۳/۵۸	۵/۴۰	۴/۷۶	۵				
۶	۲	۱۹/۳۴	۱/۷۶	۲۳/۸۴	۳/۷۵				
۷	۱	۳۴/۱۵	۱۳/۰۴	۸۹/۴۳	۱۷/۸۷				

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۹

سرعت جریان از این رابطه پارامتر موج جنبشی به شرح زیر استفاده شده است:

$$V_{\Omega} = 0.665 a_{\Omega}^{0.6} (i_r A)^{0.4}$$

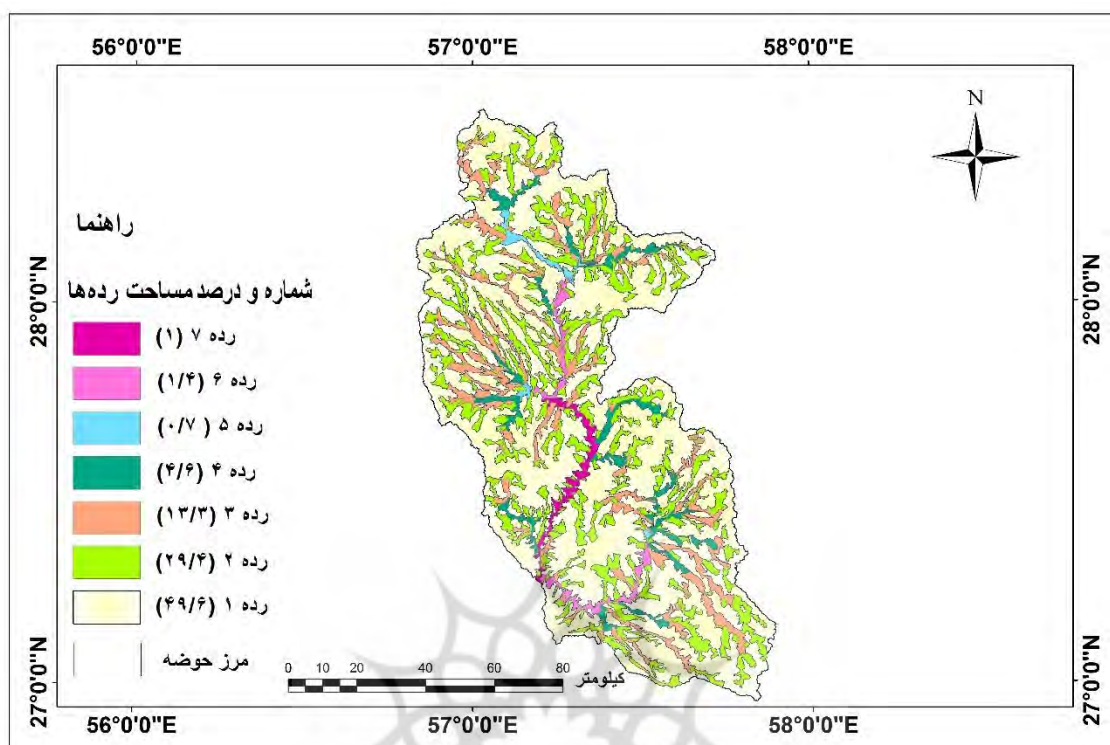
$$a_{\Omega} = S_{\Omega}^{0.5} / N b^{2/3}$$

Ω = سرعت جریان (m/s)، i_r = شدت بارش (cm/h)،
 A = مساحت حوضه (km²)، Ω = شیب آبراهه اصلی
 (m/m) در خروجی حوضه، n = ضریب زبری مانینگ و
 B = عرض جریان در خروجی حوضه (m) است.

یافته‌ها

با استفاده از پارامترهای نسبت انشعاب، نسبت مساحت (شکل ۲)، نسبت طول و طول آبراهه بالاترین درجه، پس از رتبه‌بندی آبراهه‌ها و نیز سرعت دبی اوج در خروجی حوضه، دبی اوج هیدروگراف واحد لحظه‌ای و زمان تا اوج هیدروگراف واحد لحظه‌ای برای ۴ واقعه سیلاب محاسبه شد. این پارامترها برای هر دو حوضه میناب (برنطین) و آبنما (جدول ۳ و ۴) محاسبه شد و از مقادیر محاسباتی آن‌ها در تهیه هیدروگراف محاسبه‌ای به روش GIUH، به‌منظور مقایسه دبی اوج و زمان وقوع دبی اوج با هیدروگراف مشاهده‌ای استفاده شد.

تعیین پارامتر سرعت جریان (V) یکی از بحث‌انگیزترین موضوعات روش GIUH است که معیارهای متفاوتی برای آن پیشنهاد شده است. یکی از این روش‌ها ایجاد رابطه رگرسیونی بین داده‌های هیدرومتری (دبی و سرعت) حوضه است که توسط رودریگوئز-ایتورب (۱۹۷۹) پیشنهاد شده است (محمودی، ۱۳۸۳: ۱۸). قابل ذکر است، حضور سرعت جریان (V) به‌عنوان یک پارامتر دینامیکی تأثیرگذار، در هیدروگراف واحد مزبور از رگباری به رگبار دیگر تغییر می‌کند. رودریگوئز-ایتورب، آزمایش‌های خود را با مدل‌های تفضیلی باران-رواناب مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که صرف‌نظر از تغییرات پارامتر دینامیکی سرعت جریان در خلال وقوع یک رگبار معین، به‌خوبی می‌توان هیدروگراف واحد لحظه‌ای را از طریق سرعت اوج جریان V_{max} نیز توصیف کرد؛ زیرا برآورد دبی اوج و زمان هیدروگراف جریان ناشی از یک رگبار تحت تأثیر یک ویژگی خاص مانند تغییرات سرعت جریان قرار نمی‌گیرند (سبزواری و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۳). رودریگوئز-ایتورب (۱۹۹۳) نیز برای تعیین سرعت جریان برای یک رگبار مشخص از رابطه پارامتر موج جنبشی استفاده کردند (محمودی، ۱۳۹۰: ۴۳) که در تحقیق حاضر نیز برای تعیین



شکل ۲: نقشه مساحت آبراهه‌ها

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

جدول ۳: مقادیر دبی پیک، زمان اوج، زمان پایه سیلاب براساس هیدروگراف‌های محاسباتی حوضه آبریز میناب

ردیف	تاریخ واقعه	Qp	QP	Tp	TP	V	Ir	Tr
۱	۱۳۸۸/۱/۱۱	۰/۰۹۵	۸۰۹/۵۲	۷/۸۷۹	۲۱/۳۷۹	۳/۲۷۷	۰/۳۱۴	۱۸
۲	۱۳۹۳/۱۲/۲۱	۰/۰۵۹	۱۶۰/۸۴۹	۱۲/۵۰۲	۱۶/۲۵۲	۲/۰۶۵	۰/۰۹۹	۵
۳	۱۳۹۱/۱۰/۲۱	۰/۱۰۰۸	۹۹۶/۷۱۹	۷/۴۲۴	۱۱/۱۷۴	۳/۴۷۷	۰/۳۶۴۳	۵
۴	۱۳۸۹/۱۲/۱۰	۰/۰۷۱	۳۰۴/۲۹۴	۱۰/۴۲۰	۱۲/۶۷۰	۲/۴۷۷	۰/۱۵۶۱	۳

مأخذ: اسدی، ۱۳۹۹

جدول ۴: مقادیر محاسبه شده دبی پیک، زمان اوج، زمان پایه سیلاب براساس مدل GIUH برای حوضه آبریز آبنا

ردیف	تاریخ واقعه	Qp	QP	Tp	TP	V	Ir	Tr
۱	۱۳۸۸/۱/۱۱	۰/۱۱۱	۵۷۷/۲۶۲	۶/۰۷۱	۱۶/۵۷۱	۲/۷۳۲	۰/۳۱۴	۱۴
۲	۱۳۹۳/۱۲/۲۱	۰/۰۶۹	۱۱۴/۶۹۹	۹/۶۳۳	۱۷/۱۳۳	۱/۷۲۲	۰/۰۹۹	۱۰
۳	۱۳۹۱/۱۰/۲۱	۰/۱۱۷	۷۱۰/۷۴۵	۵/۷۲۰	۱۵/۴۷۰	۲/۹۰۰	۰/۳۶۴۳	۱۳
۴	۱۳۸۹/۱۲/۱۰	۰/۰۸۳	۲۱۶/۹۸۸	۸/۰۲۹	۱۶/۲۷۹	۲/۰۶۶	۰/۱۵۶۱	۱۱

مأخذ: اسدی، ۱۳۹۹

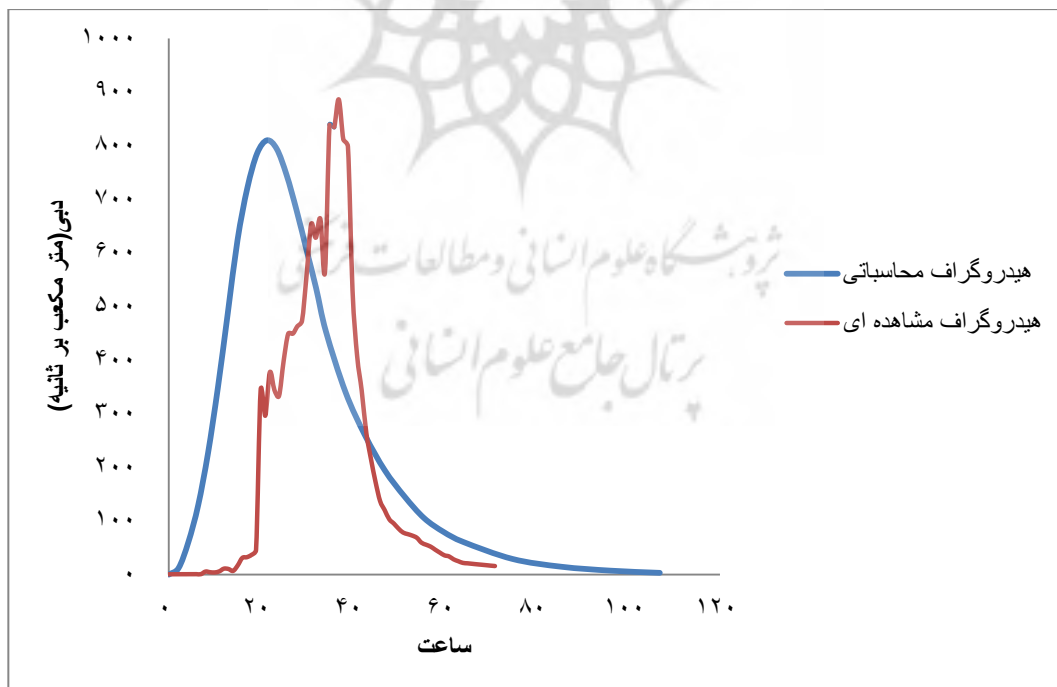
هیدروگراف با هیدروگراف سیل مشاهده‌ای، استخراج شد (شکل ۳ تا ۷). نتایج آن در حوضه برنظین نشان می‌دهد که در همه واقعه‌ها به جز واقعه ۱۳۹۳/۱۲/۲۱

در پایان با کمک جدول هیدروگراف بی بعد SCS، مقادیر دبی ساعتی براساس مدل هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی به‌منظور ترسیم و مقایسه شکل

کارایی مدل GIUH برای حوضه آبریز آبنما به دلیل شباهت به حوضه آبریز میناب، به کار گرفته شد. در حوضه آبریز آبنما نیز هیدروگراف محاسبه‌ای واقعه‌های ۱۳۹۳/۱۲/۲۱ (شکل ۸)، ۱۳۹۱/۱۰/۲۱ و ۱۳۸۹/۱۲/۱۰ به هیدروگراف مشاهده‌ای نزدیک است و بیشترین تفاوت در هیدروگراف واقعه ۱۳۸۸/۱/۱۱ مشاهده می‌شود. همچنین در حوضه آبریز آبنما، همانند حوضه آبریز میناب برآورد زمان وقوع دبی اوج هیدروگراف با دبی اوج واقعی فاصله قابل توجهی مشاهده می‌شود و در واقعه ۱۳۹۳/۱۲/۲۱ این برآورد به حداقل می‌رسد. در کل می‌توان اظهار داشت که مدل در حوضه‌های مورد بررسی، دقتی که در برآورد دبی اوج داشته است، در برآورد زمان وقوع دبی اوج و به‌ویژه شکل هیدروگراف ندارد.

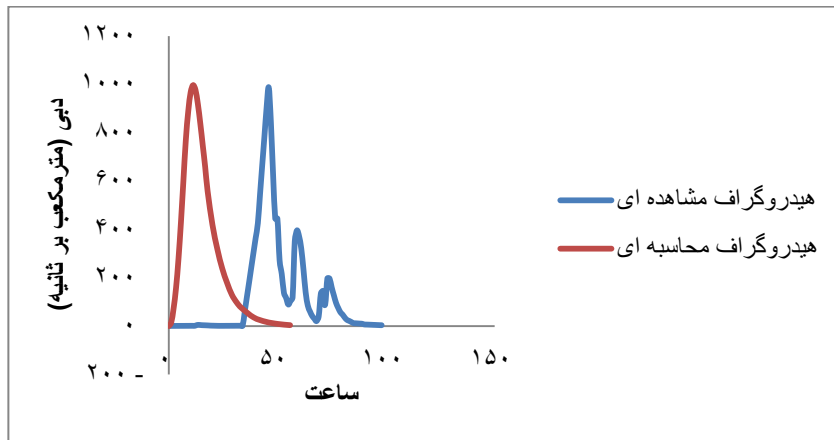
میزان دبی محاسباتی تفاوت چندانی با میزان دبی مشاهده‌ای ندارد. در صورتی که زمان وقوع دبی اوج مشاهده‌ای با دبی اوج محاسبه‌ای در حوضه برنطین در واقعه‌های ۱۳۸۸/۱/۱۱، ۱۳۹۳/۱۲/۲۱ و ۱۳۸۹/۱۲/۱۰ فاصله قابل توجهی دارد، به‌ویژه که در واقعه ۱۳۹۱/۱۰/۲۱ این فاصله بسیار زیاد است.

از آنجا که هدف از شبیه‌سازی هیدروگراف سیل ایجاد رابطه بین ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی در حوضه و ارزیابی دقت پیش‌بینی وقوع سیلاب در حوضه‌های دارای آمار و تعمیم آن به حوضه‌های مشابه به لحاظ ژئومورفولوژی و بدون آمار است، پس از سنجش و تأیید کارایی مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی در حوضه مطالعه، اطلاعات بارش مربوط به حوضه برنطین برای سنجش

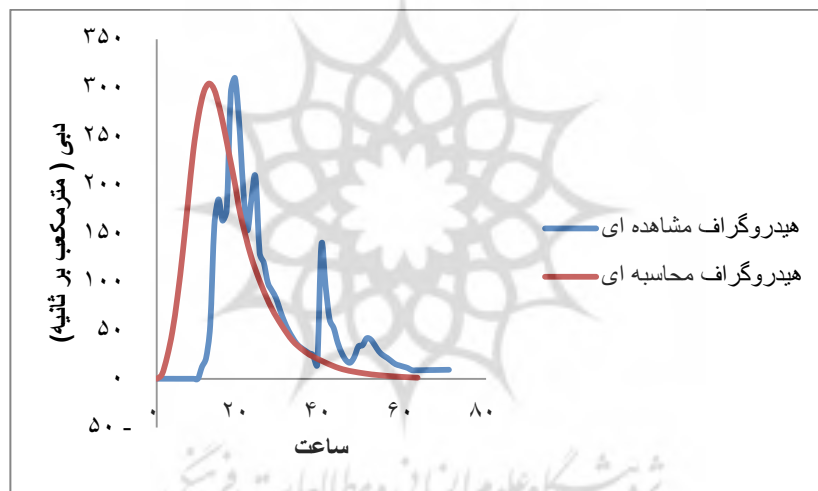


شکل ۳: مقایسه هیدروگراف مشاهده‌ای با هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی حوضه میناب

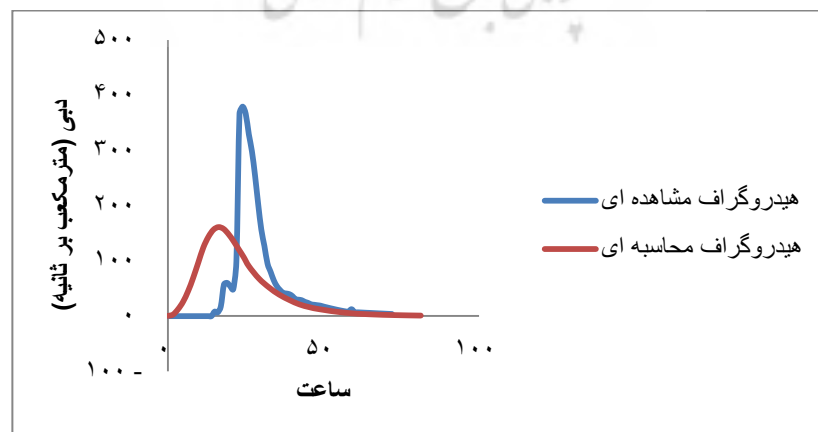
برای واقعه سیل ۱۳۸۸/۱/۱۱ (تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹)



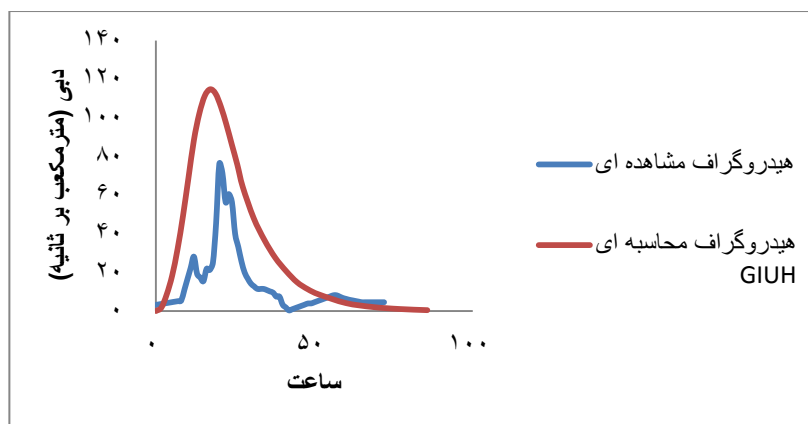
شکل ۴: مقایسه هیدروگراف مشاهده‌ای با هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی میناب برای واقعه سیل ۱۳۹۱/۱۰/۲۱ (تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹)



شکل ۵: مقایسه هیدروگراف مشاهده‌ای با هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی میناب برای واقعه سیل ۱۳۸۹/۱۲/۱۰ (تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹)



شکل ۶: مقایسه هیدروگراف مشاهده‌ای با هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی میناب برای واقعه سیل ۱۳۹۳/۱۲/۲۱ (تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹)



شکل ۷: ارزیابی کارایی هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی حوضه آبریز آبنما با استفاده از دینای بارش حوضه آبریز میناب برای واقعه سیل ۱۳۹۳/۱۲/۲۱ (تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹)

جدول ۶ آمده است. نتایج نشان می‌دهد که مدل در برآورد زمان وقوع دبی پیک در هر دو حوضه، خطای بیشتری نسبت به برآورد دبی پیک داشته است؛ به طوری که میانگین درصد خطای دبی اوج در حوضه میناب برابر با ۱۷/۲۲ و این میانگین برای زمان وقوع دبی اوج حوضه آبریز میناب ۴۱/۹۹ است. در حوضه آبریز آبنما نیز مقدار MAPE یا میانگین قدر مطلق درصد خطا در ارزیابی مدل، نشان می‌دهد که این مقدار برای برآورد دبی اوج ۳۴/۰۶ و در برآورد زمان وقوع دبی اوج ۴۶/۸۰ است. از بررسی این نتایج می‌توان دریافت که مدل در برآورد میزان دبی اوج در حوضه آبریز میناب کارایی لازم را دارد و در حوضه آبریز آبنما با وجود اختلاف بیشتر دبی اوج محاسبه‌ای با دبی اوج مشاهده‌ای، به دلیل اینکه نتایج این ارزیابی در امتداد با نتایج به دست آمده برای حوضه آبریز میناب است، می‌توان گفت نتایج قابل قبولی داشته است. این امر نشان می‌دهد که مدل، قابلیت تعمیم به حوضه‌های مشابه را دارد.

در تحقیق حاضر برای سنجش میزان کارایی هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی (GIUH) از شاخص MAPE، مقایسه میزان دبی پیک مشاهده‌ای با میزان دبی پیک محاسبه‌ای و زمان وقوع پیک دبی برای هر واقعه به صورت جداگانه (جدول ۵)، از شاخص‌های APE استفاده شده است (رابطه ۹ و ۱۰).

$$APE = \left| \frac{Q_s - Q_o}{Q_o} \right| \times 100 \quad \text{رابطه ۹}$$

رابطه ۱۰:

$$APE = \left| \frac{Q_{ts} - Q_{to}}{Q_{to}} \right| \times 100$$

که در آن APE قدر مطلق درصد خطا، Q_o دبی مشاهده‌ای اوج، Q_s دبی اوج محاسبه‌ای، Q_{to} زمان دبی اوج مشاهده‌ای، Q_{ts} زمان دبی اوج محاسبه‌ای است. همچنین برای سنجش دقت مدل با استفاده از داده‌های بارش حوضه آبریز میناب و استفاده از آن برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیل حوضه آبریز آبنما نیز از همین شاخص بهره گرفته شد که نتایج آن در

جدول ۵: محاسبه میزان خطای دبی اوج و زمان دبی اوج، هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی با هیدروگراف مشاهده‌ای حوضه آبریز میناب

درصد خطا (APE)	TP		درصد خطا (APE)	QP		تاریخ واقعه	ردیف
	محاسبه‌ای	مشاهده‌ای		محاسبه‌ای	مشاهده‌ای		
۳۱/۰۳۴	۲۱/۳۷	۳۱	۸/۶۳	۸۰۹/۵۲	۸۸۶	۱۳۸۸/۱/۱۱	۱
۳۲/۲۸۰	۱۶/۲۵	۲۴	۵۷/۵۵	۱۶۰/۸۴	۳۷۹	۱۳۹۳/۱۲/۲۱	۲
۷۱/۳۴	۱۱/۱۷	۳۹	۰/۸۸	۹۹۶/۷۱	۹۸۸	۱۳۹۱/۱۰/۲۱	۳
۳۳/۳۱	۱۲/۶۷	۱۹	۱/۸۴	۳۰۴/۲۹	۳۱۰	۱۳۸۹/۱۲/۱۰	۴
۴۱/۹۹			۱۷/۲۲				میانگین (MAPE)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۹

جدول ۶: محاسبه میزان خطای دبی اوج و زمان دبی اوج، هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی با هیدروگراف مشاهده‌ای حوضه آبریز آبنا

درصد خطا (APE)	TP		درصد خطا (APE)	QP		تاریخ واقعه	ردیف
	محاسبه‌ای	مشاهده‌ای		محاسبه‌ای	مشاهده‌ای		
۴۶/۵۴	۱۶/۵۷	۳۱	۵۵/۶۶	۵۷۷/۳	۱۳۰۲	۱۳۸۸/۱/۱۱	۱
۱۴/۳۳	۱۷/۱۳	۲۰	۴۹/۹۳	۱۱۴/۷	۷۶/۵	۱۳۹۳/۱۲/۲۱	۲
۷۴/۲۲	۱۵/۴۷	۶۰	۲۲/۱۵	۷۱۰/۷	۹۱۳	۱۳۹۱/۱۰/۲۱	۳
۵۲/۱۲	۱۶/۲۷	۳۴	۸/۴۹	۲۱۷	۲۰۰	۱۳۸۹/۱۲/۱۰	۴
۴۶/۸۰			۳۴/۰۶				میانگین (MAPE)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۹

تجزیه و تحلیل یافته‌ها

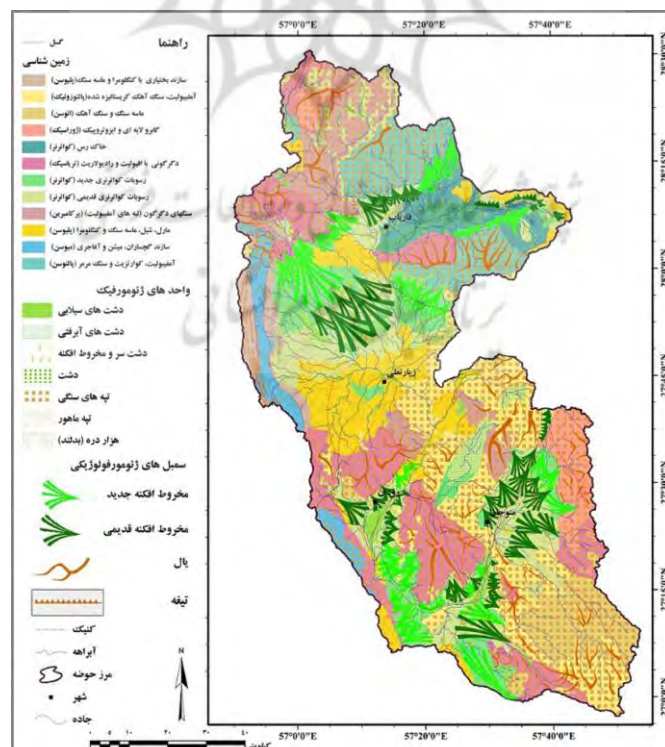
پژوهش‌هایی اشاره کرد که (Bamufleh, 2020: 1711) در عربستان یا (Shadeed, 2007: 3) در منطقه نیمه‌خشک فاریا فلسطین صورت گرفته‌است. عمدتاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک با بارش‌های نامنظم، انتظار می‌رود در تعمیم نتایج مدل به مناطق مشابه خطای بیشتری ایجاد شود. بر این اساس در این تحقیق برای جلوگیری از بروز چنین خطایی و دست‌یافتن به نتایج بهتر در شبیه‌سازی، به جای مقدار بارش مؤثری که در مدل GIUH به صورت دستی محاسبه می‌شود، از بارش مؤثر محاسبه‌شده در نرم‌افزار HEC-HMS براساس روش SCS استفاده شد که نتایج بهتری را در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل حوضه ارائه داده است. دلیل این امر می‌تواند این باشد که نرم‌افزار براساس مقدار بارش دریافتی در ساعات مختلف، این میزان را متغییر در نظر می‌گیرد؛ در صورتی که محاسبه بارش مؤثر در مدل GIUH، مقدار نفوذ را در تمام ساعات بارش یکسان در نظر می‌گیرد و به دنبال آن مقدار تلفات بارش برای آن زیاد محاسبه می‌شود. در تحقیقاتی همسان با تحقیق

تحقیقاتی که در زمینه مدل GIUH انجام شده است و ذکر آن‌ها در مقدمه گذشت، در شرایط اقلیمی متفاوت انجام شده که معمولاً نتایج قابل‌قبولی را در یافته‌های خود گزارش کرده‌اند. با نگاه اجمالی به این نتایج می‌توان دریافت که مدل در شرایط اقلیمی معتدل نتایج قابل‌قبول‌تری داشته است؛ البته در صورتی که ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی حوضه‌های مورد بررسی یکنواخت باشد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل بی‌نظمی و رگباری بودن بارش‌ها، شرایط متفاوت است. در چنین شرایط اقلیمی، پوشش گیاهی محدود و رطوبت کم خاک به همراه بارش‌های شدید و رگباری در تولید رواناب نقش اساسی ایفا می‌کند و بارش فرصت نفوذ در زمین را پیدا نخواهد کرد. بررسی تحقیقاتی که در چنین شرایط اقلیمی انجام شده است، نشان می‌دهد که در مناطق خشک و نیمه‌خشک با تغییراتی اندک در مدل یا تلفیق آن با مدل‌های دیگر می‌توان نتایج قابل‌قبول‌تری به دست آورد؛ برای مثال می‌توان به

از حوضه را دربر گرفته است (شکل ۹). از آنجا که مدل GIUH از طریق ژئومورفولوژی کمی حوضه و ثابت فرض کردن سرعت جریان (سرعت دبی پیک سیلاب) و شدت بارش مؤثر، سیلاب را برآورد می‌کند، ویژگی‌های متفاوت سطح حوضه‌ها، نوع کاربری، جنس، ژئومورفولوژی و همچنین تغییرات بارش، نتایج این مدل را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ویژگی‌های خاص حوضه مورد مطالعه به دلیل واقع شدن در منطقه خشک و نیمه خشک، باعث تشکیل مخروط افکنه‌های متعدد با سطحی نزدیک به یک سوم کل آن شده است. وسعت زیاد حوضه مورد بررسی که حدود دو سوم سطح آن را ارتفاعات عمدتاً متشکل از سنگ‌های دگرگونی با نفوذپذیری کم زون سنج سیرجان مانند گنپس گرانیب و آمفیبولیت پوشانده است، به همراه پوشش گیاهی ضعیف و بارش رگباری سبب تولید رواناب زیاد می‌شود (شکل ۱۰).

حاضر در شرایط اقلیمی مختلف (زکی زاده، ۱۳۹۴: ۹؛ قهرمان، ۱۳۸۸: ۱۰۹؛ محمودی، ۱۳۸۳: ۲۴؛ محمدی، ۱۳۹۰: ۴۶؛ 71: 1990: Allam) نتایج مشابهی در شبیه‌سازی دبی اوج به دست آمده است. مدل مورد ارزیابی در پژوهش حاضر، در برآورد دبی اوج و زمان وقوع دبی اوج سیلاب ضعیف‌تر عمل کرده که نتایج مشابه آن را می‌توان در تحقیقات (قهرمان، ۱۳۸۸: ۶۴؛ محمودی و گلکاریان، ۱۳۹۳: ۴۴۷) مشاهده کرد.

از میان ۴ واقعه مورد ارزیابی، نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی واقعه‌های ۱۳۸۹/۱۲/۱۰ و ۱۳۹۱/۱۰/۲۱ با APE برابر با ۰/۸۸ و ۰/۸۴ درصد در برآورد دبی اوج کمترین میزان خطا را نشان می‌دهد که در این وقایع، بارندگی قابل توجهی صورت گرفته است و با فاصله زمانی چند روزه قبل از آن نیز در سطح حوضه بارش اتفاق افتاده است. دلیل به دست آوردن خطای کم می‌تواند به خاطر اشباع سطوح نفوذپذیر حوضه یعنی مخروط افکنه‌های آن باشد که سطح قابل توجهی



شکل ۱۰: نقشه ژئومورفولوژی حوضه آبریز میناب

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

نتیجه

شبیه‌سازی مقادیر واقعی دبی اوج سیلاب در حوضه مورد مطالعه و حوضه‌های مشابه را دارد. همچنین می‌توان اظهار داشت که برای بهبود قابلیت مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی با لحاظ کردن تغییرات انجام‌شده در محاسبات، یعنی بهره‌گیری از بارش مؤثر به‌دست‌آمده از مدل HEC-HMS براساس روش SCS می‌تواند نتایج رضایت‌بخش‌تری را در برآورد دبی اوج محاسبه‌ای به دست آورد؛ به‌ویژه در مناطق مشابه حوضه آبریز میناب که در منطقه خشک و نیمه‌خشک واقع شده است.

نتایج این بررسی نشان می‌دهد که مدل در برآورد دبی اوج سیلاب، برای هر ۴ واقعه مورد ارزیابی، با میانگین خطای ۱۷/۲۲ درصد برآورد شده در حوضه آبریز میناب نسبتاً مناسب عمل کرده است و در حوضه آبریز آبنا به‌عنوان حوضه مورد آزمایش و مورد تعمیم با داده‌های مربوط به حوضه میناب نیز مقدار MAPE یا میانگین قدر مطلق درصد خطا در ارزیابی مدل با میانگین خطای ۳۴/۰۶ درصد با میانگین خطای کمتر از ۵۰ درصد قابل قبول است؛ بنابراین می‌توان گفت که مدل GIUH کارایی لازم در

منابع

- اسدی، معصومه؛ ایرج جباری؛ همایون حسادی (۱۳۹۸). مدل‌سازی سیلاب در مناطق خشک و نیمه‌خشک با بهره‌گیری از مدل HEC-HMS مطالعه موردی (حوضه آبریز سد استقلال میناب)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. دوره ۸، شماره ۳، صفحات ۱۷-۳۳. http://www.geomorphologyjournal.ir/article_102792_3633dbc134
- اداره امور آب استان هرمزگان مطالعات منابع آب (۱۳۷۴). گزارش مطالعات هیدرولوژی سیستم هشداردهنده سیل در حوضه آبریز رودخانه میناب، شرکت سهامی آب منطقه‌ای هرمزگان (وزارت نیرو).
- زکی‌زاده، فریبا؛ حسین ملکی‌نژاد؛ محمدرضا اختصاصی (۱۳۹۴). مقایسه آنمود واحد لحظه‌ای نش، ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک در برآورد مشخصات هیدروگراف سیلاب. پژوهش‌های آبخیزداری. ۱۰۷.
- https://wmrj.areeo.ac.ir/article_107080_a743551c03a7be4b2b0f31aa293c9545.pdf
- سالاری جزی، میثم؛ آرش ادیب؛ محمد محمودیان شوشتری؛ علی آخوند علی (۱۳۸۸). ارزیابی مدل‌های GIUH-NASH و GIUH-CLARK در حوضه معرف کسلیان، هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران. شیراز.
- <https://www.civilica.com/Papers-ICCE08=.html>
- سبزواری، تورج؛ علی حسن‌نژاد؛ سیدعبدالنبی رضوی (۱۳۹۱). برآورد سیلاب حوضه‌های فاقد آمار به روش آنمود واحد لحظه‌ای زمین‌ریخت‌شناسی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شور اندیکا رود کارون)، مجله مهندسی منابع آب سال چهارم. ۳۳-۴۷.
- <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=189053>
- سعیدی، پونه؛ محمدحسین نیک‌سخن؛ خدیجه نوروزی (۱۳۹۴). برآورد هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک (GIUH) و هیدروگراف واحد لحظه‌ای تابع عرض (WFIUH) در حوضه‌های فاقد آمار (مطالعه موردی: حوضه قروه)، اکوهیدرولوژی. دوره ۲، شماره ۱. صفحات ۶۲-۵۱.
- https://journals.ut.ac.ir/article_55128.html

سنجری، مهدیه؛ علی سلاجقه؛ سیدمحمدصادق موحد؛ آرش ملکیان (۱۳۹۷). تحلیل چند مقایسه مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی (GIUH)، مرتع و آبخیزداری. مجله منابع طبیعی ایران. دوره ۷۱. شماره ۴. صفحات ۹۷۱-۹۶۳.

https://jrwm.ut.ac.ir/article_70137.html

علیزاده، امین (۱۳۸۷). اصول هیدروولوژی کاربردی، مشهد. انتشارات دانشگاه امام رضا(ع). چاپ بیست و چهارم.

<https://mohitesabs.blogspot.com/1394/11/25/>

قهرمان، بیژن؛ مرتضی لطفی (۱۳۸۸). کارایی مدل‌های هیدروگراف واحد در تعیین مشخصات هیدروگراف سیلاب، کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان شمالی. ۱-۱۳۳.

https://www.researchgate.net/publication/342715987_Hydrology

کرمی، فاطمه و اسمعیل پور، مرضیه (۱۳۹۳). برآورد رواناب با استفاده از هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی (مطالعه موردی: حوضه دریان جای)، هیدروژئومورفولوژی. شماره ۱. صفحات ۱۵۷-۱۴۵.

https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_3280.html

گلکاربان، علی؛ سیدامیر نقیبی؛ داود داودی‌مقدم (۱۳۹۳). ارزیابی کارایی روش ژئومورفولوژی در برآورد ابعاد هیدروگراف واحد لحظه‌ای و مقایسه آن با روش‌های اشنایدر، SCS و مثلثی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز جنگ کرده)، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۸. شماره ۲. صفحات ۴۵۰-۴۴۰.

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=240570>

محمدی، علی‌اصغر؛ حسن احمدی (۱۳۹۰). ارائه مدل برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای در حوضه‌های فاقد آمار مبتنی بر مدل‌های هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی، اشنایدر، SCS و مثلثی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کن)، فصلنامه جغرافیای طبیعی لار. سال ۴. شماره ۱۳. صفحات ۴۸-۳۷.

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=150330>

محمودی، فرج‌الله؛ جمشید عیوضی؛ مجتبی یمانی؛ علی نصیری (۱۳۸۳). برآورد سیل با استفاده از آنالیز GIUH (مطالعه موردی: حوضه امامه)، نشریه علوم جغرافیایی. جلد ۳. شماره ۳ و ۴. صفحات ۳۰-۱۱.

https://jgs.khu.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-3-32&slc_lang=fa&sid=1

محمودی فرج‌الله؛ مجتبی یمانی؛ بهرامی شهرام (۱۳۸۶). ارزیابی مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی (GIUH) در حوضه آبخیز کنگیر (ایوان غرب)، پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۶۰.

<https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?id=67043>

مشاری‌عشق‌آباد، سمیه؛ احمد نوحه‌گر؛ ابراهیم امیدوار (۱۳۹۱). شبیه‌سازی رواناب به روش هیدروگراف واحد ژئومورفولوژیک (مطالعه موردی: حوضه بار- خراسان رضوی)، فصلنامه علمی- پژوهشی پژوهش‌های فرسایش محیطی. شماره ۶. صفحات ۱۲۶-۱۱۵.

<http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-280-en.pdf>

ملکی، امجد؛ مریم حافظ‌پرست؛ ویدا عبدی‌پور (۱۳۹۸). کارایی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی (GIUH) و مقایسه آن با سایر مدل‌ها در حوضه مرگ استان کرمانشاه، فصلنامه علمی فضای جغرافیایی. شماره ۶۸. صفحات ۷۴-۵۹.

http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-2538-2&slc_lang=fa&sid=1

نگهبان، سعید؛ موسی عباسی؛ انور مرادی؛ محسن بزرکار (۱۳۹۳). استخراج آبنمود (هیدروگراف) واحد ژئومورفولوژیکی براساس روش لویز و مقایسه آن با آبنمودهای مشاهداتی در حوضه حسین آباد، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. سال سوم، شماره ۲. صفحات ۶۷-۶۳.

http://www.geomorphologyjournal.ir/article_77951.html

References

Allam, M. N. (1990). Case study evaluation of geomorphologic rainfall-runoff model, incorporating linear infiltration expression. *Hydrological Processes*, 4 (1), 71-84.

<https://doi.org/10.1002/hyp.3360040107>

Anghesom, A.G. and Mathur, B.S. (2014). Geomorphologic instantaneous unit hydrographs for rivers in Eritrea (East Africa) . *Journal of Indian Water Resources Society*, 34 (1), 1-14

<https://pdfs.semanticscholar.org/e2be/8c6ba88d5f0d0f471391d36c88f76718cd3c.pdf>

Bamufleh, S. Wagdany, A. Elfeki, A. Chaabani, A (2020). Developing a geomorphological instantaneous unit hydrograph (GIUH) using equivalent Horton-Strahler ratios for flash flood predictions in arid regions. *Geomatics Natural Hazard and Risk*, 11(1), 1697- 1723

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19475705.2020.1811404>

Berod, D.D. Singh, V. P. and Musy, A. (1999). A Geomorphologic Kinematic-Wave (GKW) Model for Estimation of Flood From Small Alpine Watersheds. *Hydrological. Processes*, 13 (9), 1391-1416.

[https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/\(SICI\)10991085\(19990630\)13:9%3C1391::AID-HYP809%3E3.0.CO;2-B](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/(SICI)10991085(19990630)13:9%3C1391::AID-HYP809%3E3.0.CO;2-B)

Cheng, Y. Ke Zhang, Zh. Yu, Zhijia, Li. Qiaoling, Li (2014). Improving the flood prediction capability of the Xinanjiang model in ungauged nested catchments by coupling it with the geomorphologic instantaneous unit hydrograph. *Journal of hydrology*, 517, 1035-1048.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169414004971>

Gupta, V.K. Waymire, E. and Wang, C.T (1980). A representation of an instantaneous unit hydrograph from geomorphology. *Water Resources Manage*, 16(5), 855-862.

<https://doi.org/10.1029/WR016i005p00855>

Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology, *Bull. Geol. Soc. Amer.* 56 (3), 275-370.

<https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article/56/3/275/4075/Erosional-development-of-streams-and-their>

Ignacio - Rodriguez-Iturbi (1993). The Geomorphological Unit Hydrograph, *Channel Network Hydrology*, 43-68.

Jin, C.X (1992). A deterministic gamma geomorphologic instantaneous unit hydrograph based on path types. *Water Resources Research*, 28, 479-486.

http://ponce.sdsu.edu/DGTGIUH_Jing_1992.pdf

Khaleghi, M. Holy, J. Ahmadi, H. Kamyar, M (2009). Evaluation of the efficiency of instantaneous geomorphology unit hydrograph method in estimating the peak flow rate. *Quarterly Journal of Natural Resources Science and Technology*, 5 (2), 89-100.

http://jstnr.iauc.ac.ir/article_544743_b5070263c6bd4b4647ed3c4313895bed.pdf

- Khaleghi, M.R. Ghodusi, J. and Ahmadi, H (2014). Regional Analysis Using the Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph (GIUH) Method. *Soil & Water Res*, 9 (1), 25-30.
https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/33_2012-SWR.pdf
- Kirshen, D. M. and Bras, R. L. (1983). The linear channel and its effect on the geomorphologic IUH. *J. Hydrol*, (65), 175-208.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022169483902160>
- Kwan, Tun Lee and Chin-Hsin, Chang (2005). Incorporating Subsurface-Flow Mechanism into Geomorphology-Based IUH Modeling. *Journal of Hydrology*, (311), 91-105.
https://www.researchgate.net/publication/222249730_Incorporating_subsurface-flow_mechanism_into_geomorphology-based_IUH_modeling
- Olivera, F. and Maidment, D. (1999). Geographic Information systems (GIS)- Based Spatially Distributed Model for Runoff Routing. *Water Resour.Res*, 4, 1135-1146.
<https://doi.org/10.1029/1998WR900104>
- Pena, A. Ayuso, L. and Giraldez, V (1999). Incorporating topologic properties into the, Geomorphologic instantaneous unit hydrograph. *Phys. Chem .Earth (B)*, 24(1-2), 55-58.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1464190998000112>
- Rodriguez- Iturbe, I. and Valdes, J. B. (1979). The geomorphologic structure of the hydrologic response. *Water Resources Research*, 15(6), 1409-1420.
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/WR015i006p01435>
- Shadeed, S. Shaheen, H. Jayyousi, Anan. (2007). GIS-based KW-GIUH hydrological model of semiarid catchments: The case of Faria catchment, Palestine. *Arabian Journal For Science And Engineering*, 39 (36), 3-16.
<https://inis.iaea.org/search/searchsinglerecord.aspx?recordsFor=SingleRecord&RN=39089842>
- Sharifi, F. B, Saghafian. and Telvari, A. (2002). The Great 2001 Flood in Golestan Province. Iran: Causes & Consequences. International Conference on Flood Estimation, Berne, Switzerland, 263-271.
https://www.researchgate.net/publication/236229926_great_2001_flood_in_Golestan_province_Iran_Causes_and_consequences
- Swaina, J.B. Jhab, R. Patrac, K.C (2015). Stream flow prediction in a typical ungauged catchment using GIUH approach- International conference on water resources. Coastal and ocean engineering (Icwrcoe), Aquatic Procedia. 4, 993-1000.
<https://cyberleninka.org/article/n/1291597.pdf>
- Yingbing, Ch. Peng, Shi. Xiaomin, Ji. Simin, Qu. Lanlan, Zh. Fengcheng, D. (2019). New method to calculate the dynamic factor–low velocity in Geomorphologic instantaneous unit hydrograph. *Scientific Reports nature research*, 9 (14201), 735.
www.nature.com/scientificreports <http://www.irna.ir/fa/News/8154691>