

## Assessment and Zoning of the Risk of Flash Flooding Based on Physiographic Factors and Morphometric Indices (Case Study of Qasr-e Shirin Basin)

Mansor Parvin<sup>1\*</sup>

1- Assistant Professor of Geography, Payame Noor University, Kermanshah, Iran

(\*Corresponding Author Email: mansorparvin@pnu.ac.ir)

### Introduction

Sudden flash floods are generated by severe storms with high peak discharge (Abraham, 1984, p. 163) and are generally due to complex interactions between topographical, geological, geomorphological, and hydrological conditions (Abu Zaydou et al., 2016, 56). The flash flood is a complex phenomenon, whose prediction is very difficult (Cao et al., 2016, p. 2). The flash flood results in severe material damage and even human casualties and extreme erosion (Farhan & Iid, 2017, p. 718). It is the result of the activity of two groups of different parameters. The first group has meteorological features that vary in space and time, and the second group includes constant parameters including geomorphological and geological conditions (Josef et al., 2011, p. 755). The morphometric characteristics of drainage basins are significantly correlated with hydrological parameters (Maysa 2006, p. 1238) and the possibility of estimating their hydrologic behavior. Physiographic factors such as gradient, soil texture, land use, and rock permeability have different hydrological responses to precipitation occurrences in different basins. This affects the formation and characteristics of a sudden flood (Tinco et al., 2018, 595). Qasr-e Shirin Basin, due to the outcrops of Marne and Chile formations, geomorphologically, is an eroded area with a drainage network that is relatively dense and is susceptible to flash flood events due to heavy rainfalls. So far, there has not been any study to assess the risk of flash flood events in this basin since the assessment and zoning of the flash flood event in this basin is necessary. The purpose of this study is to assess and categorize the risk of flash flooding based on the morphometric and physiographic characteristics of Qasr-e Shirin Basin.

### Materials and Methods

In this study, two methods of standardization of morphometric parameters and the FFPI model have been used. In the first method, 11 morphometric parameters were used to calculate the degree of risk. These parameters are calculated according to Equations (1) and (2).

$$\text{Equation 1 : } HD = \frac{4(X - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})} + 1$$

$$\text{Equation 2 : } HD = \frac{4(X - X_{mox})}{(X_{min} - X_{mox})} + 1$$

The MFFPI model uses six physiographic parameters to capture the potential hazard of a sudden flood. Each of these parameters has its weight and is classified into five classes. The weight of each parameter is multiplied in each of the five sub-parameters and the final score of each layer is calculated (Tinco et al., 2018, p. 596). In the next step, the six-layer layers are assembled in the Raster Calculator and the final map of the potential flood event is calculated (Tinco et al., 2018, p. 507). The layers of the topographic slope (S), flow accumulation (Fa), and amplitude curvature (Pc) are extracted from a 10-meter DEM. Lithology layer (L) from Geological map 1: 250,000 Qasr-e Shirin sheet, Land Use layer (LU) from modified land-use plan of Kermanshah province with 1: 100000 scale, and soil texture layer from 1: 250000 map of Kermanshah province.

### Findings

The studied basin has six sub-basins and the drainage network model in Qasr-e Shirin basin and sub-basins is dendritic. In the standardization method, the total sum of the degree values of the eleven

morphometric parameters showed that Qasr-e Shirin Basin and sub-basins 1, 2, and 3 have a high potential hazard. Sub-basin 4 has a high potential hazard and sub-basins 5 and 6 have a potential low risk of flash floods. According to the final map, the Falling Flood Potential (FFPI) of Qasr-e Shirin Basin has the extremes of high, medium, low, and very low levels of flash floods. The highest and the lowest risky areas of flash floods have 33.63% and 9.86% of the basin area, respectively. Areas with very low and low risk of flood occurrences correspond to the highlands of the basin, high mountain ranges, and river valleys prevailing on the river bed. Areas with high potential risk and a large number of flash floods are in line with the erosion plain and hill.

### Conclusion

Calculating the risk according to eleven parameters showed that 83.3% of the area of Qasr-e Shirin basin had a high risk, 9.5% had a potential hazard, 7.2% had a potentially hazardous risk. In fact, 93% of the area of the Qasr-e-Shirin Basin had a potential high and severe risk of flash floods. According to the second method, about 60% of the area of Qasr-e Shirin Basin had a high potential hazard, about 20% had had a moderate potential, and about 20% of the basin area had a potentially hazardous and very low potential. A review of the map from the MFFPI model showed that the high heterogeneity of this map was influenced by the heterogeneity of slope parameters, directional direction, and flow density. The comparison of the results of the two models suggested that most of the area of the Qasr-e Shirin basin had a potentially high risk of occurrence of a flash flood. The degree of risk method, which is based on the measurement of eleven linear, shape, and ergonomic morphometric parameters, presented the potential risk of a flash flood event for the entire basin. Since the drainage network is responsible for the discharge of the flood, the results had a high degree of accuracy in assessing the risk of a flash flood event in the whole basin. But the MFFPI model used the effective physiographic parameters for creating floods in flood risk zoning and it identified high-risk areas within the basin. Finally, it can be admitted that the results of the two methods, despite differences like the parameters used, are complementary to each other. Based on the results of these models, the Qasr-e Shirin Basin had a high potential hazard in the event of a sudden flood event and the city of Qasr-e Shirin is in a very high-risk zone. Therefore, the Qasr-e Shirin Basin requires the implementation of protective projects and flood control.

**Keywords:** Flash Floods, Morphometric Parameters, MFFPI Method, Flooding Potential, Precipitation.

### References:

- Abrahams, A. D. (1984). Channel Networks: A Geographical Perspective. *Journal of Water Resources Research*, 20, 161-168.
- Abuzied, S. M., & Mansour, B. M. (2019). Geospatial Hazard Modeling for the Delineation of Flash Flood-Prone Zones in Wadi Dahab Basin, Egypt. *Journal of Hydroinformatics*, 21(1), 180-206.
- Abuzied, S., Yuan, M., Ibrahim, S., Kaiser, M., & Saleem, T. (2016). Geospatial Risk Assessment of Flash Floods in Nuweiba Area, Egypt. *Journal of Arid Environments*, 133, 54-72.
- Bajabaa, S., Masoud, M., & Al-Amri, N. (2014). Flash Flood Hazard Mapping based on Quantitative Hydrology, Geomorphology and GIS Techniques (Case Study of Wadi Al Lith, Saudi Arabia). *Arabian Journal of Geosciences*, 7(6), 2469-2481.

- Cao, C., Xu, P., Wang, Y., Chen, J., Zheng, L., & Niu, C. (2016). Flash Flood Hazard Susceptibility Mapping Using Frequency Ratio and Statistical Index Methods in Coalmine Subsidence Areas. *Journal of Sustainability*, 8(9), 948.
- Constantinescu, S. (2006). Observații Asupra Indicatorilor Morfometrici Determinați Pe Baza. *Journal of Natural Hazards and Risk*, 5, 321-332.
- Douvinet, J. (2014). Flash Flood Hazard Assessment in Small Agricultural Basins Coupling GIS-Data and Cellular Automata Modelling: First Experimentations in Upper-Normandy (France). *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems (IJAEIS)*, 5(1), 59-80.
- El Maghraby, M., Masoud, M., & Niyazi, B. (2014). Assessment of Surface Runoff in Arid, Data Scarce Regions; An Approach Applied in Wadi Al Hamd, Al Madinal Al Munawarah, Saudi Arabia. *Life Science Journal*, 11(4).
- Eze, E. B., & Efiog, J. (2010). Morphometric Parameters of the Calabar River Basin: Implication for Hydrologic Processes. *Journal of Geography and Geology*, 2(1), 18.
- Farhan, Y., & Ayed, A. (2017). Assessment of Flash-Flood Hazard in Arid Watersheds of Jordan. *Journal of Geographic Information System*, 9(06), 717.
- Farhan, Y., Anaba, O., & Salim, A. (2017). Morphometric Analysis and Flash Floods Assessment for Drainage Basins of the Ras En Naqb Area, South Jordan using GIS. *Applied Morphometry and Watershed Management Using RS, GIS and Multivariate Statistics (Case Studies)*, 413.
- Gregory, K. J., & Walling, D. E. (1973). *Drainage Basin Form Process*. New York: Wiley.
- Haggett, P. (1965). *Locational Analysis in Human Geography*. London: Edward Arnold Ltd.
- Horton, R. E. (1932). Drainage Basin Characteristics. *American Geophysics Union Transactions*, 13, 350-361.
- Horton, R. E. (1945). Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins; Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. *Journal of Geological Society of America Bulletin*, 56(3), 275-370.
- Howard, A. D. (1990). Role of Hypsometry and Planform in Basin Hydrologic Response. *Journal of Hydrol Process*, 4(4), 373-385.
- Hungr, O. (2000). Analysis of Debris Flow Surges Using the Theory of Uniformly Progressive Flow. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 25(5), 483-495.
- Jain, V., & Sinha, R. (2003). Evaluation of Geomorphic Control on Flood Hazard through Geomorphic Instantaneous Unit Hydrograph. *Journal of Current Science*, 85(11), 1596-1600.
- Majure, J. J., & Soenksen, P. J. (1991). Using a Geographic Information System to Determine Physical Basin Characteristics for Use in Flood Frequency Equations. In: Balthrop BH, Terry JE (Eds.), U.S. Geological Survey National Computer Technology Meeting-Proceedings, Phoenix, Arizona, November 14-18, 1988: U.S. *Geological Survey Water-Resources Investigations Report*, 90-4162, 31-40.
- Masoud, M. H. (2016). Geoinformatics Application for Assessing the Morphometric Characteristics' Effect on Hydrological Response at Watershed (Case Study of Wadi Qanunah, Saudi Arabia). *Arabian Journal of Geosciences*, 9(4), 280.
- Mesa, L. M. (2006). Morphometric Analysis of a Subtropical Andean Basin (Tucuman, Argentina). *Journal of Environmental Geology*, 50(8), 1235-1242.

- Minea, G. (2013). Assessment of the Flash Flood Potential of Bâsca River Catchment (Romania) based on Physiographic Factors. *Journal of Open Geosciences*, 5(3), 344-353.
- Pallard, B., Castellarin, A., & Montanari, A. (2009). A Look at the Links between Drainage Density and Flood Statistics. *Journal of Hydrology and Earth System Sciences*, 13(7), 1019-1029.
- Pareta, K., & Pareta, U. (2011). Quantitative Morphometric Analysis of a Watershed of Yamuna Basin, India Using ASTER (DEM) Data and GIS. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 2(1), 248-269.
- Patton, P. C., & Baker, V. R. (1976). Morphometry and Floods in Small Drainage Basins Subject to Diverse Hydrogeomorphic Controls. *Journal of Water Resources Research*, 12(5), 941-952.
- Perucca, L. P., & Angilieri, Y. E. (2011). Morphometric Characterization of Del Molle Basin Applied to the Evaluation of Flash Floods Hazard, Iglesia Department, San Juan, Argentina. *Journal of Quaternary International*, 233(1), 81-86.
- Schumm, S. A. (1956). Evolution of Drainage Systems and Slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Journal of Geological Society of America Bulletin*, 67(5), 597-646.
- Strahler, A. (1952). Dynamic Basis of Geomorphology. *Journal of Geological Society of America Bulletin*, 63, 938.
- Sujatha, E. R., Selvakumar, R., Rajasimman, U. A. B., & Victor, R. G. (2015). Morphometric Analysis of Sub-Watersheds in Part of Western Ghats, South India Using ASTER DEM. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 6(4), 326-341.
- Taha, M. M., Elbarbary, S. M., Naguib, D. M., & El-Shamy, I. Z. (2017). Flash Flood Hazard Zonation based on Basin Morphometry Using Remote Sensing and GIS Techniques: A Case Study of Wadi Qena Basin, Eastern Desert, Egypt. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 8, 157-167.
- Tincu, R., Lazar, G., & Lazar, I. (2018). Modified Flash Flood Potential Index in order to Estimate Areas with Predisposition to Water Accumulation. *Journal of Open Geosciences*, 10(1), 593-606.
- Yousif, M., & Bubenzer, O. (2015). Geoinformatics Application for Assessing the Potential of Rainwater Harvesting in Arid Regions. Case study: El Daba'a area, Northwestern Coast of Egypt. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(11), 9169-9191.
- Youssef, A. M., Pradhan, B., & Hassan, A. M. (2011). Flash Flood Risk Estimation along the St. Katherine Road, Southern Sinai, Egypt Using GIS based on Morphometry and Satellite Imagery. *Environmental Earth*



جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی

سال ۳۱، پیاپی ۷۸، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، صص ۹۹-۱۰۴

نوع مقاله: پژوهشی

وصول: ۱۳۹۸/۷/۳۰ پذیرش: ۱۳۹۹/۹/۵

## ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب‌های ناگهانی براساس عوامل فیزیوگرافی و شاخص‌های

### مورفومتریک

### نمونه پژوهش: حوضه قصر شیرین

منصور پروین\*، استادیار گروه جغرافیا دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

mansorparvin@pnu.ac.ir

#### چکیده

سیلاب ناگهانی، پدیده‌ای پیچیده و مخرب و پیش‌بینی آن بسیار دشوار است. حوضه قصر شیرین به علت رخنمون سازندهای نفوذناپذیر، شبکه زهکشی متراکم، توپوگرافی ناهموار، ویژگی‌های کاربری اراضی و رخداد بارش‌های سنگین، مستعد وقوع سیلاب ناگهانی است؛ بر این اساس هدف این پژوهش، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب ناگهانی در این حوضه است.

در پژوهش حاضر از دو روش محاسبه درجه خطر و MFFPI استفاده شده است. روش درجه خطر از یازده پارامتر مورفومتریکی مؤثر در سیل‌خیزی و روش MFFPI از شش پارامتر فیزیوگرافی برای پهنه‌بندی خطر سیلاب ناگهانی استفاده می‌کنند.

نتایج نشان می‌دهد براساس روش محاسبه درجه خطر، ۹۳ درصد مساحت حوضه قصر شیرین، پتانسیل خطر زیاد و خطر شدید سیلاب ناگهانی دارد. براساس مدل MFFPI، پهنه‌های با پتانسیل خطر زیاد و خیلی زیاد رخداد سیلاب ناگهانی، ۶۰ درصد مساحت حوضه قصر شیرین و پهنه‌های با خطر کم و خیلی کم نیز، ۲۰ درصد مساحت این حوضه را دربرگرفته‌اند. ناهمگونی بالایی نقشه نهایی مدل MFFPI ناشی از ژئومورفولوژی فرسایش یافته حوضه است و نواحی کوهستانی، پتانسیل کم و مناطق تپه‌ماهوری و دشت فرسایشی، پتانسیل خطر زیاد سیلاب ناگهانی دارند. روش درجه خطر مبتنی بر اندازه‌گیری پارامترهای مورفومتری است و پتانسیل خطر سیلاب ناگهانی را برای کل حوضه ارائه داده است؛ اما مناطق پرخطر و کم‌خطر را در داخل حوضه مشخص نمی‌کند. درمقابل مدل MFFPI، پارامترهای فیزیوگرافی مؤثر در ایجاد سیلاب را در پهنه‌بندی خطر سیلاب به کار می‌گیرد و براساس آن، مناطق پرخطر و کم‌خطر را در داخل حوضه مشخص می‌کند. به‌طور کلی برپایه نتایج این مدل‌ها، حوضه قصر شیرین پتانسیل خطر زیاد در رخداد سیلاب ناگهانی دارد.

واژه‌های کلیدی: سیلاب ناگهانی، پارامترهای مورفومتری، روش MFFPI، پتانسیل سیل‌خیزی، حوضه قصر شیرین

\*نویسنده مسئول

Copyright©2020, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they can change it in any way or use it commercially.

[Doi:10.22108/gep.2020.119766.1221](https://doi.org/10.22108/gep.2020.119766.1221)

## مقدمه

حوضه‌های زهکشی، واحدهای اساسی یا اولیه ژئومورفیک برای مدیریت هیدرولوژیکی و توسعه پایدار منابع طبیعی هستند (Farhan et al., 2017: 9) که در داخل آنها، مخاطراتی چون سیلاب‌های ناگهانی رخ می‌دهد. سیلاب‌های ناگهانی، جریان‌های سریع و ناگهانی تولیدشده با طوفان‌های شدید است که دبی بیک بالا دارد (Abrahams, 1984: 163) و عموماً ناشی از تعاملات پیچیده بین شرایط توپوگرافی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی است (Abuzied et al., 2016: 56). سیلاب ناگهانی، پدیده‌ای پیچیده است (Cao et al., 2016: 2) که به خسارات شدید مادی، تلفات انسانی و فرسایش بسیار شدید منجر می‌شود (Farhan and Ayed, 2017: 718). این پدیده حاصل فعالیت دو گروه پارامتر مختلف است؛ گروه اول، ویژگی‌های هواشناسی است که در فضا و زمان متغیر است و گروه دوم، پارامترهای ثابت شامل شرایط ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی است (Youssef et al., 2011: 755).

ویژگی‌های مورفومتری حوضه‌های زهکشی به‌طور چشمگیری با پارامترهای هیدرولوژیکی همبستگی دارد (Mesa, 2006: 1238) و برآورد رفتار هیدرولوژیکی آنها را امکان‌پذیر می‌کند. این شناخت برای ارزیابی رفتار حوضه در برابر بارش‌های سنگین، میزان احتمال رخداد سیلاب‌های ناگهانی و اجرای استراتژی‌های کنترل مفید است (Hung, 2000: 485). عوامل فیزیوگرافی همچون شیب، بافت خاک، کاربری اراضی و نفوذپذیری سنگ‌ها موجب پاسخ‌های هیدرولوژیکی متفاوت به رخداد بارش در حوضه‌های مختلف شده و این امر بر ایجاد و ویژگی‌های سیلاب ناگهانی تأثیرگذار است (Tincu et al., 2018: 595). در واقع تحلیل هیدرومورفومتری حوضه‌ها، ابزاری کارآمد، سریع و کم‌هزینه برای پهنه‌بندی خطر سیلاب‌های ناگهانی در حوضه‌های آبریز است. تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب ناگهانی، روشی مناسب برای برنامه‌ریزی توسعه پایدار و حفاظت از جوامع انسانی است (Farhan and Ayed, 2017: 719).

حوضه قصر شیرین به علت رخنمون سازندهای مارنی گروه فارس از نظر ژئومورفولوژیکی، منطقه‌ای فرسایش‌یافته با شبکه زهکشی نسبتاً متراکم است. بیشتر مساحت این حوضه، کاربری مراتع کم‌تراکم و دیمزارهای کم‌بازده و از نظر اقلیمی، اقلیم نیمه‌خشک تا خشک دارد و به علت بارش‌های سنگین مستعد رخداد سیلاب ناگهانی است؛ همچنین با وجود عبور رودخانه الوند از شهر قصر شیرین، تاکنون مطالعه‌ای در زمینه برآورد خطر سیلاب‌های ناگهانی در این حوضه صورت نگرفته است؛ از این رو ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب ناگهانی در این حوضه ضروری است؛ بر این اساس هدف پژوهش حاضر، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب ناگهانی بر مبنای ویژگی‌های مورفومتریکی و فیزیوگرافی در حوضه قصر شیرین است.

در زمینه سیلاب‌های ناگهانی در سطح جهان به پژوهش‌های زیر اشاره می‌شود:

پریوکا و انجیلیری<sup>۱</sup> (2011) در حوضه سن جون آرژانتین؛ یوسف و همکاران<sup>۲</sup> (2011) در حوضه‌های صحرای سینا در مصر؛ مینیا<sup>۳</sup> (2013) در حوضه بسکا<sup>۱</sup> در رومانی؛ باجبا و همکاران<sup>۲</sup> (2014) در حوضه وادی الیث عربستان؛

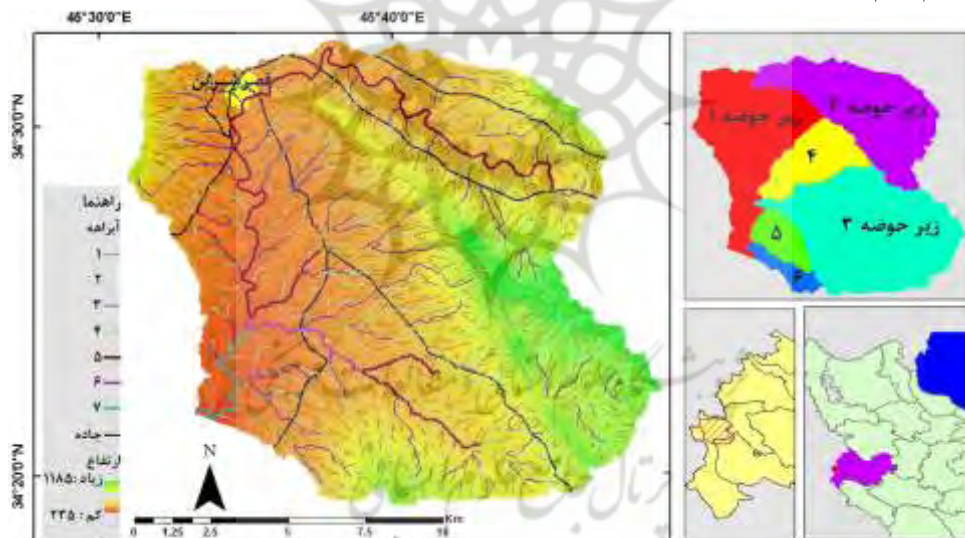
1. Perucca and Angilieri  
2. Youssef et al.  
3. Minea

دوونیت<sup>۳</sup> (2014) در حوضه‌های شمال فرانسه؛ فرهان و همکاران<sup>۴</sup> (2017) در چندین حوضه در اردن؛ کاو و همکاران<sup>۵</sup> (2016) در حوضه‌های اطراف پکن در چین؛ طاها و همکاران<sup>۶</sup> (2017) در حوضه وادی قنا در شرق مصر؛ فرهان و اید<sup>۷</sup> (2017) در حوضه‌های اردن؛ تینکو و همکاران<sup>۸</sup> (2018) در حوضه تروتوس<sup>۹</sup> رومانی؛ ابوزید و همکاران<sup>۱۰</sup> (2016) در حوضه وادی دهاب مصر.

این پژوهش‌ها با استفاده از پارامترهای مورفومتری و فیزیوگرافی، نقشه پهنه‌بندی پتانسیل خطر سیلاب ناگهانی را در حوضه‌های مدنظر خود تهیه کرده‌اند و نتایج آنها بیان‌کننده کارایی این مدل‌ها در ارزیابی خطر سیلاب ناگهانی است.

### موقعیت حوضه پژوهش

حوضه قصر شیرین در غرب استان کرمانشاه در عرض‌های جغرافیایی  $34^{\circ} 19'$  تا  $34^{\circ} 33'$  شمالی و طول‌های جغرافیایی  $45^{\circ} 31'$  تا  $45^{\circ} 50'$  شرقی واقع شده (شکل ۱) و بیشتر مساحت آن در محدوده سیاسی شهرستان قصر شیرین قرار دارد و رودخانه الوند، زهکش اصلی این حوضه است. از نظر ژئومورفولوژی، چشم‌انداز غالب حوضه قصر شیرین، تپه‌ماهورها، بدلند و تیغه‌های فرسایشی است. ارتفاع کم و قرارگیری در حاشیه بیابان‌های بین‌النهرین سبب حاکمیت اقلیم گرم و نیمه‌خشک تا خشک در حوضه قصر شیرین شده است.



شکل ۱. الف. نقشه موقعیت، شبکه زهکشی و زیرحوضه‌های حوضه قصر شیرین

Figure 1. a. Location map, drainage network and sub-basins of Qasr Shirin basin

1. Bâsca
2. Bajaba et al.
3. Douvinet et al.
4. Farhan et al.
5. Kaw et al.
6. Taha et al.
7. Farhan and Ayed
8. Tinko et al.
9. Trotus
10. Abu Zaid et al.

## روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش از روش محاسبه درجه خطر و مدل شاخص پتانسیل سیلاب ناگهانی برای ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب ناگهانی در حوضه قصر شیرین استفاده شد (شکل ۲)؛ سپس در محیط نرم‌افزار ArcGIS محدوده حوضه قصر شیرین، زیرحوضه‌ها و شبکه زهکشی آن از DEM منطقه استخراج و شبکه آبراه‌ها براساس روش استرالر رتبه‌بندی شد. لایه‌های شش‌گانه فیزیوگرافی حوضه قصر شیرین از نقشه‌های پایه و DEM منطقه استخراج شد. DEM ده متر سازمان نقشه‌برداری کشور، نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ برگه قصر شیرین، نقشه اصلاح‌شده کاربری اراضی استان کرمانشاه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و نقشه خاک ۱:۲۵۰۰۰۰ استان کرمانشاه، داده‌های استفاده‌شده در این پژوهش هستند. در مدل MFFPI، لایه‌های پارامترهای شیب توپوگرافی، تجمع جریان و انحنا دامنه از DEM منطقه، لایه لیتولوژی از نقشه زمین‌شناسی و لایه کاربری اراضی از نقشه کاربری استخراج می‌شوند.



شکل ۲. فلوجارت پژوهش و مراحل انجام روش‌های استفاده‌شده

Figure 2. Flowchart of research and steps of used methods

## - روش محاسبه درجه خطر

در این روش برای ارزیابی خطر سیلاب ناگهانی، یازده پارامتر مورفومتریک به کار گرفته شده است. هشت پارامتر رابطه مستقیم و سه پارامتر رابطه معکوس با رخداد سیلاب ناگهانی دارند (جدول ۱) و به ترتیب براساس معادلات ۱ و ۲ محاسبه می‌شوند.

$$HD = \frac{4(X - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})} + 1 \quad \text{معادله ۱}$$

$$HD = \frac{4(X - X_{mox})}{(X_{min} - X_{mox})} + 1 \quad \text{معادله ۲}$$

در این معادلات، HD درجه خطرپذیری پارامترها، X میزان پارامترهای مورفومتریک و Xmin و Xmax مقادیر حداقل و حداکثر هر یک از پارامترهای مورفومتریک در حوضه و زیرحوضه‌های مطالعه‌شده است. پهنه‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر خطرپذیری سیلاب ناگهانی براساس حاصل مجموع پارامترهای یازده‌گانه است و به پنج پهنه خطر تقسیم می‌شود (جدول ۲). هر یک از این پهنه‌ها امتیاز ۱ تا ۵ را به خود اختصاص می‌دهند (Farhan and Ayed, 2017: 724).



## جدول ۱. پارامترهای مورفومتریک استفاده‌شده در روش استانداردسازی

Table 1. Morphometric parameters used in standardization method

منبع	فرمول	پارامتر	روش
Strahler (1952)	$Rb = Nu / Nu + 1$	نسبت انشعاب (Rb)	رابطه معکوس
Horton (1932)	$Lo = 1/2D$	طول جریان سطحی (Lo)	
Gregory and Walling (1973)	$Si = VL/LB$	سینوزیته (SI)	
Shum (1956)	محاسبه در نرم‌افزار GIS	مساحت (A)	رابطه مستقیم
Horton (1932)	$NNN_i/A$	فراوانی جریان (Fs)	
Horton (1932)	$D = Lu/A$	تراکم زهکشی (Dd)	
Hagt (1965), Horton (1945)	$Ish = 1.27A/LB^2$	شاخص شکل حوضه (Bf)	
Shum (1956)	$Rr = (Rf/LB)100$	نسبت ناهمواری (Rr)	
Milton (1957)	$Rn = Rf * D$	عدد ناهمواری (Rn)	
Major and Sonksen (1991)	$SI = (E/0.75VL)100$	شاخص شیب (SIn%)	
Horton (1945)	$Dt = Nu/P$	نسبت بافت زهکشی (Tt)	

## جدول ۲. مقادیر پهنه‌های پتانسیل خطر سیل خیزی براساس روش محاسبه درجه خطر (Farhan and Ayed, 2017: 19)

Table 2. The values of flood potential risk zones based on the method of calculating the degree of risk

خطر شدید	خطر خیلی زیاد	خطر زیاد	خطر متوسط	خطر کم	پهنه خطر
۳۹,۹-۳۶	۳۵,۹-۳۲	۳۱,۹-۲۸	۲۷,۹-۲۴	۲۳,۹-۱۹	مقادیر عددی
۵	۴	۳	۲	۱	درجه خطر

## - مدل شاخص پتانسیل سیلاب ناگهانی (MFFPI)

این مدل از شش پارامتر برای پهنه‌بندی پتانسیل خطر سیلاب ناگهانی بهره می‌برد و هر یک از آنها وزن خاص خود را دارند و به پنج کلاس طبقه‌بندی می‌شوند (جدول ۳). وزن‌های ۱ و ۵ به ترتیب کمترین و بیشترین تأثیر را بر انباشت آب دارند؛ سپس وزن هر پارامتر در هر یک از زیرپارامترهای پنجگانه ضرب و امتیاز نهایی هر لایه محاسبه می‌شود (Tinko et al., 2018: 596). در ادامه لایه‌های شش‌گانه در ابزار Raster calculator جمع و نقشه نهایی پتانسیل سیلاب ناگهانی محاسبه می‌شود (Tinko et al., 2018: 507).

## جدول ۳. نحوه امتیازدهی پارامترهای مدل MFFPI (Tinko et al., 2018: 507)

Table 3. How to model the parameters of the model MFFPI

پارامتر	وزن	طبقه	وزن هر طبقه	امتیاز نهایی
شیب	۳	۳-۰	۵	۳
		۶-۳	۴	۶
		۸-۶	۳	۹
		۱۰-۸	۲	۱۲
		۶۰-۱۰	۱	۱۵
تراکم جریان	۲,۵	۱-۰	۱	۲,۵
		۲-۱	۲	۵
		۳-۲	۳	۷,۵
		۴-۳	۴	۱۰
		۶-۴	۵	۱۲,۵
انحنای دامنه	۲	-۱۸ - (-۴۹)	۱	۲
		-۹ - (-۰,۵)	۲	۴
		-۰,۵ - ۰,۵	۳	۶
		۰,۵ - ۱,۵	۴	۸
		۱,۵ - ۳۰	۵	۱۰
بافت خاک	۱	ماسه - رسی	۱	۱
		ماسه‌ای - لومی - رسی	۲	۲
		بافت‌های مختلف	۳	۳
		رسی	۴	۴
		رسی - سیلتی - مواد رس‌دار	۵	۵
نفوذپذیری سنگ	۱	نهشته‌های کواترنری	۱	۱
		سازندهای ماسه‌سنگ، کنگلومرا	۲	۲
		سازندهای آهکی - دولومیتی	۳	۳
		سازندهای شیلی	۴	۴
		سازندهای مارنی	۵	۵
پوشش زمین	۰,۵	جنگل و باغ‌ها	۱	۰,۵
		مرتع متراکم و نیمه‌متراکم	۲	۱
		زمین زراعی	۳	۱,۵
		مرتع کم‌تراکم	۴	۲
		رخنمون سنگی و سطوح آبی	۵	۲,۵

## یافته‌های پژوهش

حوضه قصر شیرین شش زیرحوضه دارد و الگوی شبکه زهکشی در تمامی زیرحوضه‌ها به علت رخنمون زیاد سازندهای نفوذناپذیر شیلی و مارنی از نوع دندریتیکی<sup>۱</sup> متراکم است. زهکش اصلی حوضه قصر شیرین، رودخانه الوند است و رتبه ۷ دارد (شکل ۳).

### - تحلیل پارامترهای مورفومتری و ارزیابی پتانسیل سیل خیزی حوضه قصر شیرین

مساحت حوضه قصر شیرین، ۴۹۰ کیلومتر مربع (جدول ۴) است. زیرحوضه‌های شماره ۱، ۲ و ۳ با مساحت بیش از ۱۰۰ کیلومتر مربع جزو حوضه‌های متوسط است و زیرحوضه‌های ۴، ۵ و ۶ در رده حوضه‌های کوچک قرار دارند. پارامتر نسبت انشعاب بر دبی پیک هیدروگراف رواناب تأثیر زیادی دارد (3333: aaaaaa ::::: Jii) و مقادیر زیاد آن نشان‌دهنده دبی لحظه بالا و رخداد سیل است (Howard, 1990: 377).

حوضه قصر شیرین و زیرحوضه‌های آن مقادیر زیاد تا متوسط پارامتر نسبت انشعاب دارند (جدول ۴). پارامتر فراوانی آبراه‌ها با میزان نفوذپذیری، ناهمواری و تولید رواناب مرتبط (Eze and Efiang, 2010: 21) و مقادیر زیاد آن نشان‌دهنده کم بودن ظرفیت نفوذ است (Patton and Baker, 1976: 944). میزان این پارامتر در حوضه قصر شیرین، ۴/۰۷ و در زیرحوضه‌ها، بین ۵/۲۵ (زیرحوضه ۲) و ۲/۸۲ (زیرحوضه ۶) متغیر است و این پارامتر شرایط لازم را برای تولید رواناب و ایجاد سیلاب دارد.

پارامتر تراکم زهکشی از شرایط اقلیمی، لیتولوژیکی، ساختارهای زمین‌شناسی و ناهمواری سطحی متأثر (Pareta and Pareta, 2011: 257) و با کنترل رواناب سطحی بر میزان دبی سیل تأثیرگذار است (Pallard et al., 2009: 1025). میزان پارامتر تراکم زهکشی در حوضه قصر شیرین، ۳/۶۶ (Km/Km<sup>2</sup>) و رخنمون سازندهای نفوذناپذیر سبب زیادبودن مقادیر این پارامتر است.

طول جریان سطحی توسعه هیدرولوژیکی و فیزیوگرافی بر حوضه‌های زهکشی تأثیر می‌گذارد (Horton, 1932: 355). هورتون<sup>۲</sup> (1945) این پارامتر را مسافت طی شده با آب پیش از رسیدن به داخل آبراه تعریف می‌کند. طول جریان سطحی در حوضه قصر شیرین، ۰/۱۰۷ کیلومتر و در زیرحوضه، این میزان بین ۰/۱۱۰ (زیرحوضه ۳) و ۰/۱۸۵ (زیرحوضه ۶) کیلومتر است.

سینوزیته نسبت حداکثر طول رودخانه اصلی به طول حوضه است و عموماً مقادیر بین ۰/۵ تا ۴ دارد (Farhan and

1. Dendritic  
2. Horton

734: 2017). جریان‌های با مقادیر سینوزیته کمتر، حالت مستقیم دارد و مقادیر بیش از ۱/۵ بیان‌کننده حالت  
 مانندری جریان است (Wolman et al., 1960: 57). حوضه قصر شیرین نسبت سینوزیته ۰/۷۲ و زیرحوضه ۱ (۰/۶۳) و  
 زیرحوضه ۵ (۰/۹۱)، کمترین و بیشترین میزان را دارد. نسبت سینوزیته نسبتاً کم در حوضه قصر شیرین و  
 زیرحوضه‌های آن نشان‌دهنده زمان کم خروج آب از حوضه و افزایش خطر سیل است. شاخص شکل حوضه قصر  
 شیرین، ۰/۴۱ و در زیرحوضه‌ها، کمترین و بیشترین میزان این پارامتر به ترتیب متعلق به زیرحوضه ۶ (۰/۱۷) و ۵  
 (۰/۴۵) است (جدول ۴). مقادیر کمتر این پارامتر نشان‌دهنده شکل کشیده‌تر حوضه‌ها و در نتیجه سیل‌خیزی کمتر است.  
 نسبت ناهمواری، میزان تبدیل انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی جریان آب در حوضه را کنترل می‌کند و مستقیماً با  
 سیلاب و غیرمستقیم با زمان تمرکز در ارتباط است (Bajaba et al., 2014: 2475). نسبت‌های ناهمواری کم بیان‌کننده  
 شیب کم حوضه، انرژی جنبشی کمتر و در نتیجه سیل‌خیزی کمتر است (Farhan and Ayed, 2017: 736). نسبت  
 ناهمواری حوضه قصر شیرین، ۲/۹۵ است و زیرحوضه‌های ۴ و ۵ به ترتیب با مقادیر ۵/۳۶ و ۲/۵۱، بیشترین و  
 کمترین مقادیر نسبت ناهمواری را دارند. زیرحوضه‌های ۲، ۴، ۵ و ۶ مقادیر زیاد نسبت ناهمواری دارند. عدد  
 ناهمواری متأثر از شیب و ناهمواری حوضه است و بر ویژگی‌های رواناب تأثیر می‌گذارد. در حوضه‌های با دامنه‌هایی  
 پرشیب، سرعت جریان زیاد، رواناب سطحی سریع‌تر و زمان رسیدن به پیک هیدروگراف سیل کمتر است (Masoud,  
 2016: 271). مقادیر بزرگ‌تر از ۰/۵ این پارامتر حاکی از سیل‌خیزی حوضه آبخیز است (Sujatha et al., 2013: 334).  
 حوضه قصر شیرین و زیرحوضه‌های آن اختلاف ارتفاع کمی دارند و در نتیجه مقادیر پارامتر عدد ناهمواری برای  
 تمامی زیرحوضه‌ها، کمتر از ۰/۵ و بیان‌کننده پتانسیل کمتر خطر سیل است.  
 شاخص شیب برای ارزیابی شیب کانال اصلی حوضه است و در ارزیابی حجم رواناب استفاده می‌شود (Yousif  
 and Bubbenzer, 2015: 9175). مقادیر شاخص شیب حوضه قصر شیرین، ۰/۵۱ و زیرحوضه‌های آن بین ۰/۷۳ تا  
 ۰/۵۲ در نوسان (جدول ۴) و میزان نسبتاً متوسط این پارامتر نشان‌دهنده پتانسیل متوسط خطر سیل‌خیزی حوضه قصر  
 شیرین و زیرحوضه‌های آن است.  
 نسبت بافت زهکشی متأثر از ویژگی‌های لیتولوژیکی، نفوذپذیری و ناهمواری حوضه است (El Maghraby et al.,  
 2014: 279). اسمیت<sup>۱</sup> (1958) براساس مقادیر، نسبت بافت حوضه‌های زهکشی را به حوضه‌های با بافت درشت  
 ( $Km^{-1} > 16$ )، بافت متوسط ( $6/4$  تا  $16 Km^{-1}$ ) و بافت ریز ( $16 Km^{-1} >$ ) طبقه‌بندی کرد. مقادیر کم نسبت بافت  
 نشان‌دهنده میزان نفوذ زیاد و کاهش خطر سیل است. حوضه قصر شیرین و تمامی زیرحوضه‌های آن، بافت متوسط و  
 پتانسیل خطر سیل متوسط دارند.

جدول ۴. میزان پارامترهای مورفومتری حوضه قصر شیرین و زیرحوضه‌های آن

Table 4. The amount of morphometric parameters of Qasr Shirin basin and its sub-basins

پارامتر	حوضه قصر شیرین	زیرحوضه ۱	زیرحوضه ۲	زیرحوضه ۳	زیرحوضه ۴	زیرحوضه ۵	زیرحوضه ۶
مساحت حوضه	۴۹۰	۱۱۶	۱۱۹	۱۷۳	۴۶	۲۲	۱۴
نسبت انشعاب	۳/۴۳	۳/۲۵	۳/۵۲	۳/۱۷	۴/۱۱	۴/۱۵	۳/۹۷
فراوانی آبراهه	۴/۰۷	۵/۱۳	۵/۲۵	۵/۰۳	۳/۱۳	۲/۵۱	۲/۸۲
تراکم زهکشی	۳/۹۶	۳/۷۶	۳/۶۷	۳/۷۱	۳/۱۸	۳/۲۴	۲/۸۹
طول جریان سطحی	۰/۱۰۷	۰/۱۱۵	۰/۱۲۷	۰/۱۱۰	۰/۱۶۳	۰/۱۷۱	۰/۱۸۵
سینوزیته	۰/۷۲	۰/۶۱	۰/۷۱	۰/۶۵	۰/۷۹	۰/۹۱	۰/۸۳
شاخص شکل حوضه	۰/۴۱	۰/۳۰	۰/۲۷	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۴۳	۰/۱۷
نسبت ناهمواری	۲/۹۵	۳/۷۸	۳/۴۳	۳/۹۳	۵/۳۶	۲/۵۱	۳/۱۶
عدد ناهمواری	۰/۳۹	۰/۲۶	۰/۳۵	۰/۴۷	۰/۲۴	۰/۱۱	۰/۱۸
شاخص شیب	۰/۰۶۱	۰/۰۴۵	۰/۰۵۳	۰/۰۸۸	۰/۰۴۲	۰/۰۳۵	۰/۰۴۳
نسبت بافت زهکشی	۱۵/۴۱	۱۵/۸۲	۱۵/۹۳	۱۴/۹۱	۶/۲۱	۸/۳۹	۵/۱۵

محاسبه مقادیر درجه خطر پارامترهای مورفومتری یازده‌گانه نشان می‌دهد حوضه قصر شیرین و زیرحوضه‌های بزرگ (۱، ۲ و ۳) جز پارامترهای نسبت انشعاب و شاخص شکل حوضه در سایر پارامترها، بیشترین میزان درجه خطر را دارند (جدول ۵). حوضه‌های کوچک (۴، ۵ و ۶) به جز دو پارامتر مورفومتری یادشده در بالا، در بیشتر پارامترهای مورفومتری، کمترین میزان درجه خطر را دارند؛ بنابراین حوضه قصر شیرین و زیرحوضه‌های بزرگ، بیشترین میزان درجه خطر را درزمینه امکان وقوع سیلاب ناگهانی دارند و زیرحوضه‌های کوچک ریسک کمتری در این زمینه دارند. جمع کل مقادیر درجه خطر پارامترهای یازده‌گانه مورفومتری براساس تقسیم‌بندی جدول ۲ نشان داد حوضه قصر شیرین و زیرحوضه‌های ۱، ۲ و ۳ پتانسیل خطر شدید، زیرحوضه ۴ پتانسیل خطر زیاد و زیرحوضه‌های ۵ و ۶ پتانسیل خطر کم سیلاب ناگهانی دارند.

جدول ۵. میزان درجه خطر پارامترهای مورفومتری در حوضه قصر شیرین و زیرحوضه‌های آن

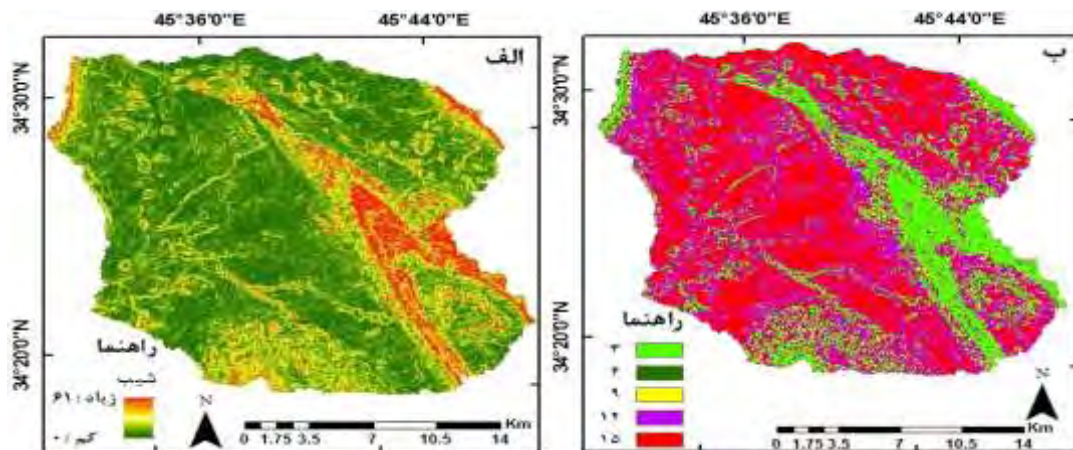
Table 5. Risk level of morphometric parameters in Qasr Shirin basin and its sub-basins

پارامتر	حوضه قصر شیرین	زیرحوضه ۱	زیرحوضه ۲	زیرحوضه ۳	زیرحوضه ۴	زیرحوضه ۵	زیرحوضه ۶
مساحت حوضه	۵	۱/۸۵	۱/۸۸	۲/۳۳	۱/۲۶	۱/۰۵	۱
نسبت انشعاب	۱/۶۱	۱/۳۲	۲/۴۲	۱	۴/۸۳	۵	۴/۲۶
فراوانی آبراهه	۳/۰۷	۴/۸۲	۵	۴/۶۷	۱/۹۱	۱	۱/۴۵
تراکم زهکشی	۵	۴/۲۵	۳/۹۱	۲/۰۶	۲/۰۸	۲/۳۱	۱
طول جریان سطحی	۵	۴/۵۸	۳/۹۷	۴/۸۴	۲/۱۲	۱/۷۱	۱
سینوزیته	۳/۱۳	۵	۳/۶۶	۳/۴۶	۲/۶	۱	۲/۰۶
شاخص شکل حوضه	۳/۶۹	۳	۲/۵۳	۳/۶۱	۳/۶۱	۵	۱
نسبت ناهمواری	۱/۶۱	۲/۷۸	۲/۲۹	۲/۹۹	۵	۱	۱/۹۱
عدد ناهمواری	۴/۰۱	۲/۶۶	۳/۶۶	۵	۲/۴۴	۱/۷۷	۱
شاخص شیب	۲/۹۶	۱/۷۵	۲/۳۵	۵	۱/۵۲	۱	۱/۶۳
نسبت بافت زهکشی	۴/۷۰	۴/۹۵	۵	۴/۶۲	۱/۳۹	۲/۲۱	۱
جمع کل	۳۹/۷۸	۳۶/۹۶	۳۶/۶۷	۳۹/۵۸	۲۸/۷۶	۲۳/۰۵	۲۱/۳۱

#### - ارزیابی پتانسیل سیلاب ناگهانی براساس مدل شاخص پتانسیل سیلاب ناگهانی

شیب توپوگرافی تابع ناهمواری سطح زمین است و نقش بسیار مؤثری در نفوذ آب و ایجاد سیل دارد. در نواحی با شیب بین ۱۰ تا ۶۰ درجه به علت افزایش سرعت رواناب، انباشت آب کم شده است و امتیاز ۱ را به خود اختصاص داده‌اند. در نواحی با شیب بین ۶ تا ۰، درجه انباشت آب صورت گرفته و امکان وقوع سیل افزایش یافته است و بیشترین امتیاز را دارند (Tinko et al., 2018: 599).

حوضه قصر شیرین دربرگیرنده ارتفاعات فرسایشی، تپه‌ماهور و دشت فرسایشی و شیب توپوگرافی آن بین ۰ تا ۶۱ درجه متغیر است (شکل ۳.الف). نقشه شیب حوضه قصر شیرین با توجه به جدول ۵ به پنج طبقه تقسیم شد. طبقات شیب ۰ تا ۱۰ درجه منطبق بر محدوده دشت فرسایشی قصر شیرین، بیشترین امتیاز و طبقه شیب ۱۰ تا ۶۰ درجه منطبق بر ارتفاعات فرسایشی حوضه، کمترین امتیاز را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۳.الف).

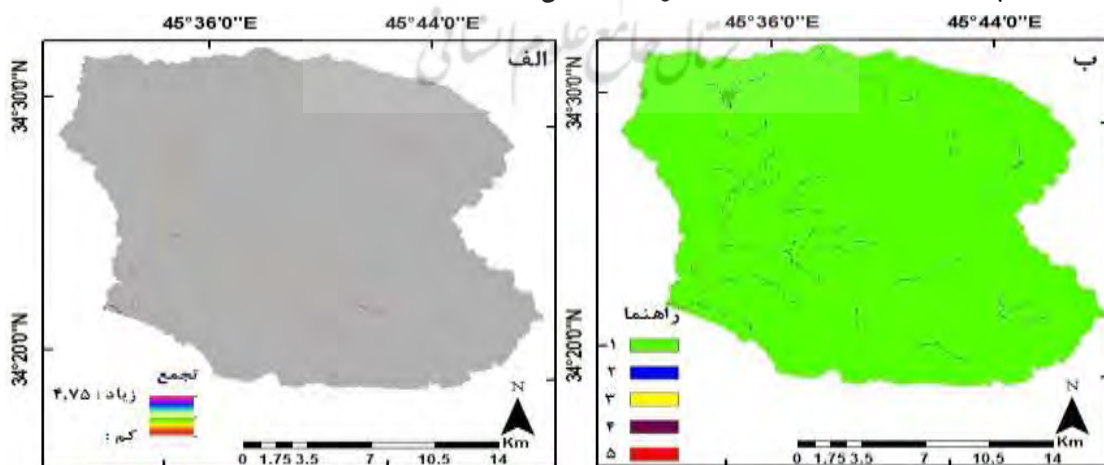


شکل ۳. الف. نقشه طبقات شیب؛ ب. نقشه لایه وزن دار شیب حوضه قصر شیرین

Figure 3. A. Map of slope classes; B. Weighted map of the slope of Qasr Shirin basin

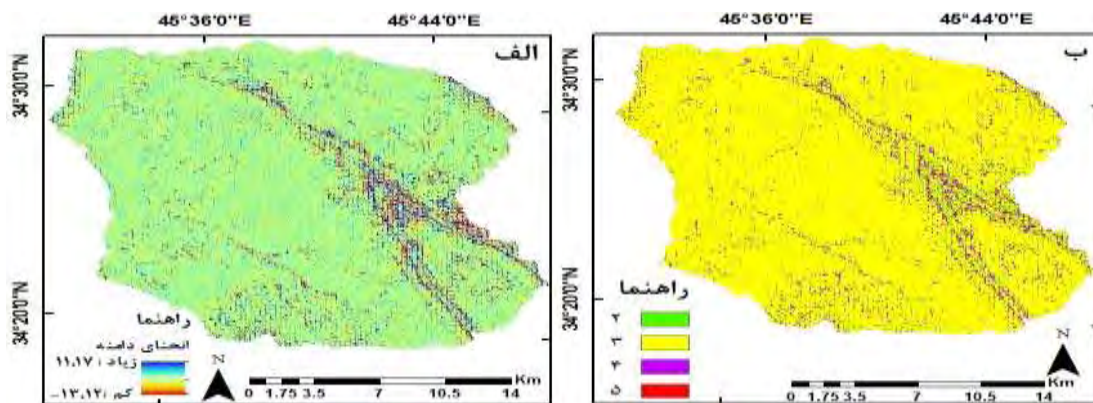
پارامتر تجمع جریان، چگونگی تجمع آب را در هر سلول از سطوح مجاور نشان می‌دهد. سلول‌های با انباشت زیاد آب معمولاً کانال رودخانه‌ها و شبکه زهکشی را نشان می‌دهد و به علت تجمع آب نقش زیادی در ایجاد سیل دارد (Tinko et al., 2018: 600). شکل ۴ (الف و ب) به ترتیب نقشه تجمع جریان و نقشه لایه امتیازدهی شده این پارامتر را نشان می‌دهد. آبراهه‌های رتبه پایین و دامنه‌ها، کمترین امتیاز و آبراهه‌های رتبه بالا به علت انباشت بیشتر آب، بیشترین امتیاز را دارند.

نیمرخ انحناى دامنه اجزای محدب و مقعر دامنه را مشخص می‌کند. در نواحی محدب، سرعت رواناب افزایش یافته است و این امر باعث کاهش انباشت آب می‌شود؛ اما در نواحی مقعر، سرعت رواناب کاهش یافته است و در نتیجه انباشت آب و امکان ایجاد سیل افزایش می‌یابد (Constantinescu, 2006: 324). شکل ۵ (الف و ب) به ترتیب نقشه نیمرخ انحناى دامنه و نقشه امتیازدهی شده این پارامتر را نشان می‌دهد که به علت ناهمواری و فرسایش یافتگی حوضه، نیمرخ دامنه‌ها متغیر است و بیشتر آنها نیمرخ محدب دارند؛ بنابراین بیش از نیمی از دامنه‌های حوضه دامنه محدب دارند و امتیازات زیاد را به خود اختصاص داده‌اند.



شکل ۴. الف. نقشه تجمع جریان؛ ب. نقشه لایه وزن دار تجمع جریان حوضه قصر شیرین

Figure 4. a. Flow aggregation map; B. Weighted layer map of Qasr Shirin basin



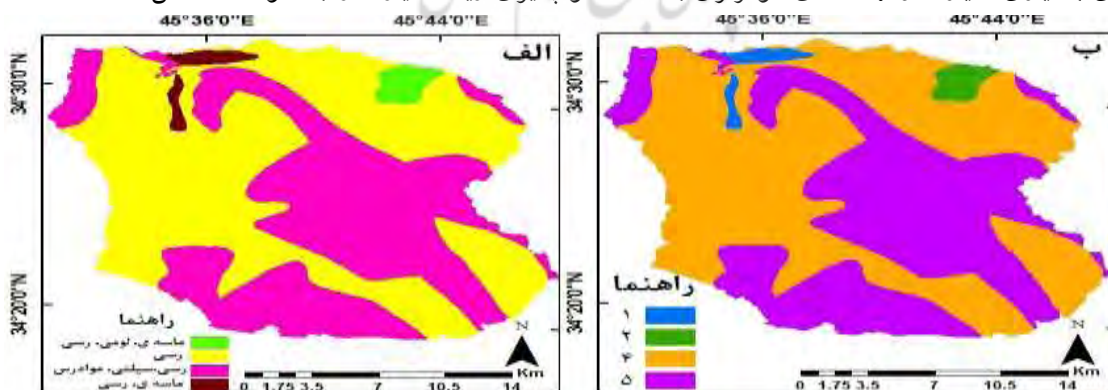
شکل ۵. الف. نقشهٔ نیمرخ انحناى دامنه؛ ب. نقشهٔ لایهٔ وزن‌دار نیمرخ انحناى دامنهٔ حوضهٔ قصر شیرین

Figure 5. a. Domain Curvature Profile Map; B. The weighty layer map of the curved profile of the slope of the Qasr Shirin basin

بافت و ساختار خاک با کنترل میزان نفوذ آب و نگهداشت آن باعث تأثیر بر سیل می‌شود. خاک‌های با نفوذپذیری زیاد و نگهداشت مناسب آب باعث کاهش رواناب و کاهش سیل می‌شود (Tinko et al., 2018: 595). خاک حوضهٔ قصر شیرین متأثر از شرایط سنگ مادر و رخنمون سازندهای مارنی و شیلی، اقلیم خشک و توپوگرافی ناهموار است و بیشتر مساحت آن، خاک‌های رسی و رسی-سیلتی-مواد رس‌دار دارد (شکل ۶. الف). این نوع خاک‌ها به علت نفوذپذیری کم در ایجاد سیل مؤثرند و بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۶. ب).

حوضهٔ قصر شیرین در زون زاگرس چین‌خورده واقع شده است و تنوع لیتولوژیکی دارد. نهشته‌های کواترنری در امتداد رودخانهٔ الوند و سرشاخه‌های آن رخنمون دارد. ارتفاعات «بازی داز» یک طاق‌دیس فرسایش‌یافته است که بخش‌های حاشیهٔ آن از سازند گچساران (مارن-گچ) و دیواره‌های آن از سازند آهک آسماری تشکیل شده و در هستهٔ آن، سازندهای شیلی-رسی-مارنی گورپی و پابده رخنمون یافته است (شکل ۷. الف). ارتفاعات قراویز و آخ‌داخ از سازند کنگلومرای بختیاری و تپه‌ماهورها و دشت فرسایشی قصر شیرین از سازند آغاچاری تشکیل شده‌اند.

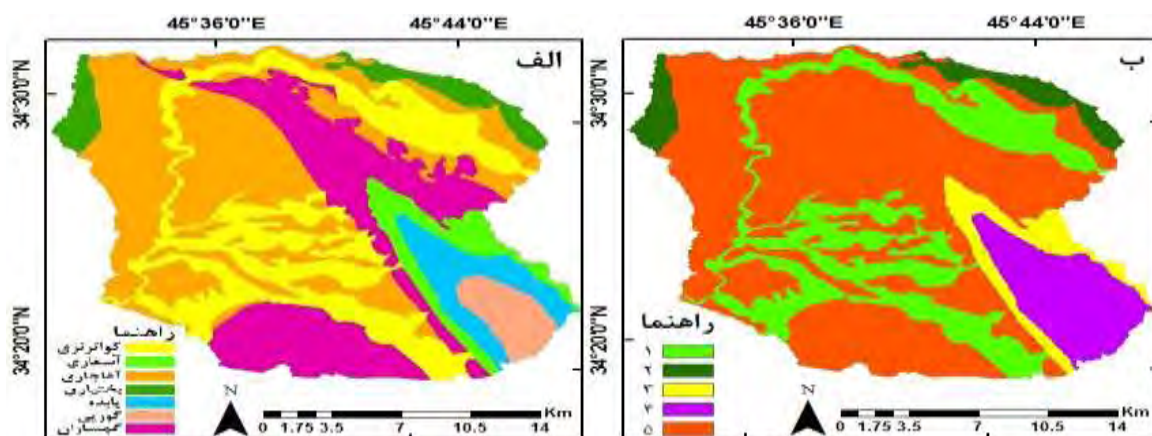
شکل (۷. ب) نقشهٔ لایه‌های امتیازدهی به پارامتر لیتولوژی را نشان می‌دهد که براساس آن، سازندهای نفوذناپذیر مارنی آغاچاری و گچساران و سازندهای شیلی پابده و گورپی به ترتیب امتیازهای ۵ و ۴، سازند آهک آسماری امتیاز ۳، سازند کنگلومرای بختیاری امتیاز ۲ و نهشته‌های کواترنری به علت نفوذپذیری زیاد، امتیاز ۱ را به خود اختصاص داده‌اند.



شکل ۶. الف. نقشهٔ خاک؛ ب. نقشهٔ وزن‌دار لایهٔ خاک حوضهٔ قصر شیرین

Figure 6. a. Soil map; B. Weighing map of the soil layer of Qasr Shirin basin

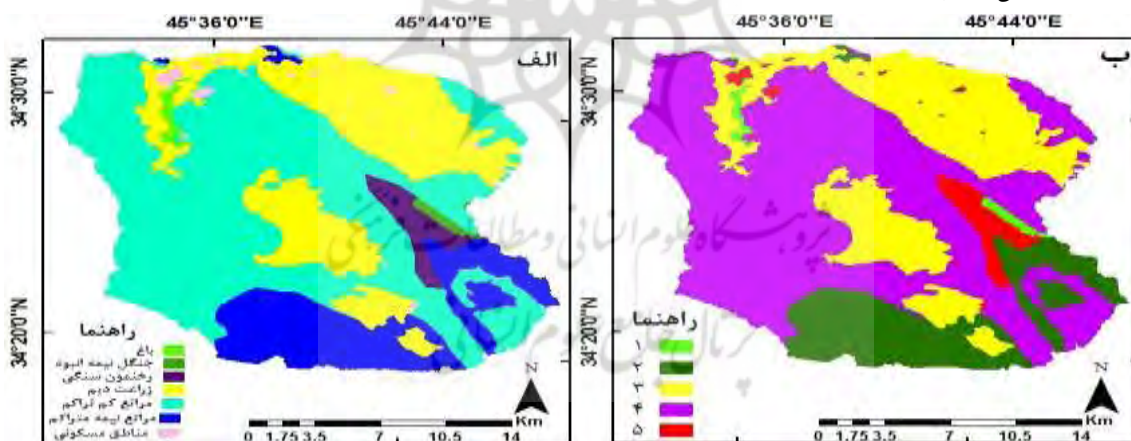




شکل ۷. الف. نقشه لیتولوژی؛ ب. نقشه وزن‌دار لایه لیتولوژی حوضه قصر شیرین

Figure 7. a. Lithological map; B. Weighted map of the lithology layer of the Sweet Palace Basin

پوشش گیاهی به‌مثابه عامل حفاظتی در برابر باران عمل می‌کند و سرعت رواناب را کاهش می‌دهد. کاربری اراضی نیز نقش مهمی در میزان نفوذ آب و تجمع آن دارد. از نظر کاربری اراضی مراتع کم‌تراکم حدود ۵۴٪، زراعت دیم ۲۶٪، مراتع نیمه‌تراکم ۱۵٪، رخنمون سنگی ۳٪ و کاربری‌های مناطق مسکونی، باغ و جنگل تنک در مجموع ۲٪ مساحت حوضه قصر شیرین را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۸. الف). پارامتر کاربری اراضی براساس جدول ۳ امتیازدهی شده است و کاربری باغ‌ها و جنگل نیمه‌تراکم، کمترین امتیاز و رخنمون سنگی و مراتع متراکم، بیشترین امتیاز را دارند (شکل ۸. ب).

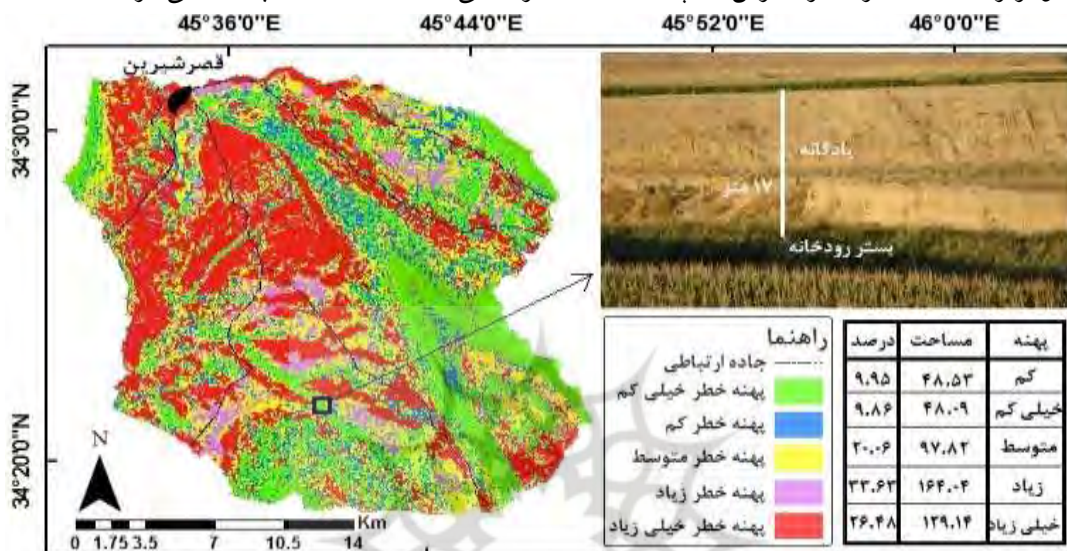


شکل ۸. الف. نقشه کاربری اراضی؛ ب. نقشه وزن‌دار لایه کاربری اراضی حوضه قصر شیرین

Figure 8. a. Land use map; B. Weight map of the land use layer of Qasr Shirin basin

نقشه نهایی شاخص پتانسیل سیل ناگهانی (MFFPI)، حاصل جمع پارامترهای شش گانه امتیازدهی شده براساس جدول ۵ است و از لحاظ سیل‌خیزی به پنج پهنه تقسیم شده است. پهنه‌های با پتانسیل خطر زیاد و خطر کم سیل ناگهانی به ترتیب با اختصاص ۳۳،۶۳٪ و ۹،۸۶٪ مساحت حوضه، بیشترین و کمترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۹). مناطق با پتانسیل خطر خیلی کم و کم خطر سیل ناگهانی منطبق بر ارتفاعات حوضه، تپه‌ماهورهای مرتفع و پرتگاه‌های رودخانه‌ای مسلط بر بستر رودخانه هستند (شکل ۹). این پهنه شیب و تراکم جریان کم، دامنه‌های

محدب، سازندهای آهکی، شیلی و مارنی، کاربری مرتع، جنگل نیمه‌متراکم، باغ‌ها و مناطق مسکونی و خاک‌های رسی - سیلتی - مواد رس دار دارد. پهنه با خطر متوسط سیل ناگهانی منطبق بر تپه‌ماهورها و حواشی ارتفاعات است و شیب و تراکم جریان متوسط، دامنه‌های نسبتاً مسطح، کاربری مرتع کم‌تراکم و کشاورزی و سازندهای شیلی، مارنی و نهشته‌های کواترنری دارد. پهنه‌های با خطر زیاد و خیلی زیاد سیل ناگهانی منطبق بر دشت فرسایشی و تپه‌ماهوری است که شیب کم، تراکم جریان زیاد، دامنه‌های مقعر، کاربری مرتع کم‌تراکم و کشاورزی، سازندهای مارنی و تا حدی نهشته‌های کواترنری دارد. شهر قصر شیرین در پهنه‌های با خطر خیلی زیاد رخداد سیلاب ناگهانی قرار دارد.



شکل ۹. نقشه نهایی پهنه‌بندی سیلاب ناگهانی براساس مدل FFPI

Figure 9. Final Plan for Sudden Flood Zoning Based on the FFPI Model

### نتیجه‌گیری

سیل از جمله مهم‌ترین مخاطرات طبیعی در ایران است که هر ساله خسارات زیادی را در اقصی نقاط کشور به بار می‌آورد. رخداد این پدیده متأثر از پارامترهای مختلف ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی، اقلیمی، زمین‌شناسی و کاربری اراضی است. حوضه قصر شیرین و زیرحوضه‌های آن عمدتاً داده‌های هیدرومتری مناسب ندارند. ارزیابی شرایط مورفومتری و فیزیوگرافی این حوضه به برآورد میزان خطر و پهنه‌بندی پتانسیل سیلاب ناگهانی در این حوضه منجر می‌شود. نتایج محاسبه روش درجه خطر بیان‌کننده آن است که حوضه قصر شیرین و زیرحوضه‌های ۱، ۲ و ۳ پتانسیل خطر شدید، زیرحوضه ۵ پتانسیل خطر زیاد و زیرحوضه‌های ۵ و ۶ پتانسیل خطر کم دارند؛ به بیانی ۸۳,۳٪ مساحت حوضه قصر شیرین پتانسیل خطر شدید، ۹,۵٪ پتانسیل خطر زیاد و ۷,۲٪ پتانسیل خطر کم دارند. درواقع ۹۳٪ مساحت حوضه قصر شیرین پتانسیل خطر زیاد و شدید سیلاب ناگهانی دارد و این امر بیان‌کننده مساعد بودن شرایط مورفومتری حوضه برای رخداد سیلاب ناگهانی است. مدل MFFPI برای ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب ناگهانی مبتنی بر پارامترهای فیزیوگرافی است و براساس آن حدود ۶۰٪ مساحت حوضه قصر شیرین پتانسیل خطر زیاد و خیلی زیاد، حدود ۲۰٪ پتانسیل خطر متوسط و حدود ۲۰٪ مساحت این حوضه نیز پتانسیل خطر کم و خیلی کم رخداد سیلاب ناگهانی دارد؛ بنابراین شرایط فیزیوگرافی حوضه قصر شیرین نیز مساعد رخداد سیلاب ناگهانی است.

بررسی نقشه حاصل از مدل MFFPI نشان می‌دهد ناهمگونی بالایی این نقشه متأثر از ناهمگونی پارامترهای شیب، جهت دامنه و تراکم جریان بوده است؛ زیرا ژئومورفولوژی حوضه فرسایش یافته است. نواحی کوهستانی متأثر از شیب زیاد، تحذب زیاد دامنه و کم‌بودن تراکم جریان، پتانسیل خطر کم سیل ناگهانی و مناطق تپه‌ماهوری و دشت فرسایشی متأثر از توپوگرافی نسبتاً هموار، پتانسیل خطر زیاد سیلاب ناگهانی دارند.

مقایسه نتایج دو مدل بیان‌کننده آن است که بیشتر مساحت حوضه قصر شیرین پتانسیل خطر زیاد رخداد سیلاب ناگهانی دارد. روش درجه خطر، میزان پتانسیل خطر سیلاب ناگهانی را برای کل حوضه نشان می‌دهد؛ اما مناطق پرخطر و کم‌خطر را در داخل حوضه مشخص نمی‌کند. درمقابل مدل MFFPI، مناطق پرخطر و کم‌خطر را در داخل حوضه مشخص می‌کند. درنهایت باید گفت نتایج دو روش با وجود تفاوت‌ها در ماهیت پارامترهای استفاده‌شده، مکمل یکدیگرند. برپایه نتایج این مدل‌ها، حوضه قصر شیرین پتانسیل خطر زیاد در رخداد سیلاب ناگهانی دارد و شهر قصر شیرین به علت عبور رودخانه الوند از داخل شهر و شرایط مورفومتری و فیزیوگرافی حوضه در پهنه خطر خیلی زیاد قرار گرفته است؛ بنابراین حوضه قصر شیرین نیازمند اجرای پروژه‌های حفاظتی و مقابله با سیلاب برای کاهش خطرات احتمالی ناشی از رخداد این مخاطره است.

## Resources

- Abrahams, A.D., (1984). **Channel Networks: A Geographical Perspective**, Water Resources Research, 20, 161- 168.
- Abuzied, S.M., Mansour, B.M., (2019). **Geospatial hazard modeling for the delineation of flash flood-prone zones in Wadi Dahab basin, Egypt**, Journal of Hydroinformatics, 21 (1), 180- 206.
- Abuzied, S., Yuan, M., Ibrahim, S., Kaiser, M., Saleem, T., (2016). **Geospatial risk assessment of flash floods in Nuweiba area, Egypt**, Journal of Arid Environments, 133, 54- 72.
- Bajabaa, S., Masoud, M., Al-Amri, N., (2014). **Flash flood hazard mapping based on quantitative hydrology, geomorphology and GIS techniques (case study of Wadi Al Lith, Saudi Arabia)**, Arabian Journal of Geosciences, 7 (6), 2469- 2481.
- Cao, C., Xu, P., Wang, Y., Chen, J., Zheng, L., Niu, C., (2016). **Flash flood hazard susceptibility mapping using frequency ratio and statistical index methods in coalmine subsidence areas**, Sustainability, 8 (9), 948 p.
- Constantinescu, S., (2006). **Observații asupra indicatorilor morfometrici determinati pe baza**, Natural Hazards and Risk, 5, 321- 332.
- Douvinet, J., (2014). **Flash Flood Hazard Assessment in Small Agricultural Basins Coupling GIS-Data and Cellular Automata Modelling: First Experimentations in Upper-Normandy (France)**, International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems (IJAEIS), 5 (1), 59- 80.
- El Maghraby, M., Masoud, M., Niyazi, B., (2014). **Assessment of Surface Runoff in Arid, Data Scarce Regions; An Approach Applied in Wadi Al Hamd, Al Madinal al Munawarah, Saudi Arabia**, Life Science Journal, 11 (4).
- Eze, B.E., Efiang, J., (2010). **Morphometric parameters of the Calabar River basin: implication for hydrologic processes**, J Geogr Geol 2, 18- 26.
- Farhan, Y., Ayed, A., (2017). **Assessment of flash-flood Hazard in arid watersheds of Jordan**, Journal of Geographic Information System, 9 (06), 717 p.
- Farhan, Y., Anaba, O., Salim, A., (2017). **Morphometric Analysis and flash floods assessment for drainage basins of the Ras En Naqb Area, South Jordan using GIS**, Applied Morphometry and Watershed Management Using RS, GIS and Multivariate Statistics (Case Studies), 413 p.
- Gregory, K.J., Walling, D.E., (1973). **Drainage Basin Form Process**, Wiley, New York.
- Haggett, P., (1965). **Locational Analysis in Human Geography**, Edward Arnold Ltd, London.
- Horton, R.E., (1945). **Erosional development of streams and their drainage basins**, hydrophysical approach to quantitative morphology, Geological society of America bulletin, 56 (3), 275- 370.
- Horton, R.E., (1932). **Drainage basin characteristics**, American Geophysics Union Transactions 13, 350- 361.

- Howard, AD., (1990). **Role of hypsometry and planform in basin hydrologic response**, Hydrol Process 4 (4), 373- 385.
- Hungr, O., (2000). **Analysis of debris flow surges using the theory of uniformly progressive flow**, Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group, 25 (5), 483- 495.
- Jain, V., Sinha, R., (2003). **Evaluation of geomorphic control on flood hazard through geomorphic instantaneous unit hydrograph**, Current Science, 85 (11), 1596- 1600.
- Majure, JJ., Soenksen, PJ., (1991). **Using a geographic information system to determine physical basin characteristics for use in floodfrequency equations**, In: Balthrop BH, Terry JE (eds), U.S. Geological Survey National Computer Technology Meeting-Proceedings, Phoenix, Arizona, November 14- 18, 1988: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 90-4162, 31- 40.
- Masoud, M.H., (2016). **Geoinformatics application for assessing the morphometric characteristics' effect on hydrological response at watershed (case study of Wadi Qanunah, Saudi Arabia)**, Arabian Journal of Geosciences, 9 (4), 280 p.
- Melton, M., (1957). **An analysis of the relations among elements of climate, surface properties and geomorphology**, Project NR 389-042, Tech. Rept. 11, Columbia Univ.
- Mesa, L.M., (2006). **Morphometric analysis of a subtropical Andean basin (Tucuman, Argentina)**, Environmental Geology, 50 (8), 1235- 1242.
- Minea, G., (2013). **Assessment of the flash flood potential of Bâsca River Catchment (Romania) based on physiographic factors**, Open Geosciences, 5 (3), 344- 353.
- Pallard, B., Castellarin, A., Montanar, A., (2009). **A look at the links between drainage density and flood statistics**, Hydrol Earth Syst Sci. 13, 1019-1029.
- Pareta, K., Pareta, U., (2011). **Quantitative morphometric analysis of a watershed of Yamuna basin, India using ASTER (DEM) data and GIS**, International journal of Geomatics and Geosciences, 2 (1), 248 p.
- Patton, PC., Baker, VR., (1976). **Morphometry and floods in small drainage basins subject to diverse hydrogeomorphic controls**, Water Resour Res 12, 941- 952.
- Perucca, L.P., Angilieri, Y.E., (2011). **Morphometric characterization of del Molle Basin applied to the evaluation of flash floods hazard**, Iglesia Department, San Juan, Argentina. Quaternary international, 233 (1), 81- 86.
- Schumm, SA., (1956). **Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Ambos, New Jersey**, Geol Soc Am Bull 67, 597- 646.
- Strahler, A., (1952). **Dynamic Basis of Geomorphology**, Geological Society of America Bulletin, 63, 938 p.
- StrahlerSmith, K., (1958). **Erosional Processes and Landforms in Badlands**, National Monu-ment, South Dakota. Geological Society of America Bulletin, 69, 975-1008.
- Sujatha, E., Selvakumar, R., Rojasimman, U., Victor, R., (2013). **Morphometric Analysis of Sub-Watersheds in Part of Western Ghats, South India Using ASTER DEM**. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 6, 326- 341.
- Taha, M.M., Elbarbary, S.M., Naguib, D.M., El-Shamy, I.Z., (2017). **Flash flood hazard zonation based on basin morphometry using remote sensing and GIS techniques: a case study of Wadi Qena basin, Eastern Desert, Egypt**, Remote Sensing Applications: Society and Environment, 8, 157- 167.
- Tincu, R., Lazar, G., Lazar, I., (2018). **Modified flash flood potential index in order to estimate areas with predisposition to water accumulation**, Open Geosciences, 10 (1), 593- 606.
- Wolman, M.G., Miller, J.P., (1960). **Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes**, The Journal of Geology, 68 (1), 54- 74.
- Yousif, M., Bubbenzer, O., (2015). **Geoinformatics Application for Assessing the Potential of Rainwater Harvesting in Arid Regions**, Caa' Araa, Northwestern Coast of Egypt, Arab Journal of Geosciences, 9, 9169- 9191.
- Youssef, A.M., Pradhan, B., Hassan, A.M., (2011). **Flash flood risk estimation along the St. Katherine road, southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery**, Environmental Earth Sciences, 62 (3), 611- 623.