



<https://gep.ui.ac.ir/?lang=en>
Geography and Environmental Planning
E-ISSN: 2252- 0910
Document Type: Research Paper
Vol. 33, Issue 2, No.86, Summer 2022, pp. 1- 6
Received: 21/08/2021 Accepted: 22/02/2022

Frequency Analysis and Investigation of the Factors Affecting 100-yr Peak-Flood in Iran's Watersheds

Esmael Parizi¹, Seiyed Mossa Hosseini^{2*}

1- Postdoctoral Researcher, Department of Physical Geography, Faculty of Natural Geography, University of Tehran, Tehran, Iran
parizi555@ut.ac.ir

2- Associate Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Natural Geography, University of Tehran, Tehran, Iran
smhosseini@ut.ac.ir

Abstract

The purpose of the current study is to analyze the frequency of peak flood discharge with a 100-year return period in 206 Iran watersheds and to quantify it based on the most important factors. In this regard, flood frequency analysis was performed based on annual maximum discharge data and fitting of conventional continuous distributions in hydrology and fitting statistical tests. Then, for modeling, 8 parameters affecting the flood peak discharge including heavy daily rainfall, average vegetation, area, perimeter, average slope, average elevation, length of the main river, and the slope of the main river at the catchment area leading to the extraction of selected hydrometric stations. Also, the stepwise regression analysis technique was used to determine the factors affecting the production of flood peak discharge in the selected stations. The results of the study showed that the southwestern, southern, and southeastern basins of Iran with peak discharges of more than 4000 m³/s had the highest 100-year peak discharges among the study basins. The results of the stepwise regression model indicated that five parameters of area, heavy rainfall, elevation, vegetation, and slope of the basin with an adjusted coefficient of determination of 0.72, standard error of estimation of 132.7, Akaike's information criterion of 1.62, and variance inflation factor of 0.62 had the best performance in estimating the flood peak discharge. The results of this study, considering its large spatial scale, which includes the whole of Iran, can be used as a practical guide by the hydrologists and decision-makers in estimating the 100-

*Corresponding Author

Parizi, E., Hosseini, S. (2022). Frequency Analysis and Investigation of Effective Factors on with 100-year Flood in Iran's watersheds. *Geography and Environmental Planning*, 33 (2), 1 -6.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://dx.doi.org/10.22108/gep.2022.130040.1450>



20.1001.1.20085362.1401.33.2.5.5

year flood peak discharge in ungauged watersheds based on the most important factors affecting its generations.

Keywords: Flood Peak Discharge, Modeling, Iran's Watersheds, Stepwise Regression, Geomorphic Factors.

1. Introduction

Flood is one of the most important natural hazards that has attracted a lot of attention from managers and planners due to the heavy damage it has caused to human societies (Jahangir et al., 2019). In fact, floods, as a type of natural disaster, have a significant negative impact on regional development, and its catastrophes are characterized by sudden water flow, high intensity, uncontrollable factors, and serious damages (Miceli et al., 2008). On the other hand, among various types of natural disasters such as earthquakes, landslides, soil erosion, and tsunamis, floods are considered to be the most common and destructive phenomena of the earth that affect the lives of many people every year (Doocy et al., 2013; Salvati et al., 2018; Yari et al., 2019). High socio-economic losses, human casualties, widespread destruction, and threatening living conditions are some of the damages that floods can cause (Turgut & Tevfik, 2012). It can be stated that half of the deaths occur due to floods (FitzGerald et al., 2010; Lee & Vink, 2015). In recent years, Iran has experienced very destructive floods due to climate change and poor watershed management (deforestation, overgrazing, and lack of flood control measures). For example, the recent floods (2019) in Iran have affected 25 provinces, killed 77 people, and caused about \$ 2.2 billion in damage to these 25 provinces (Khosravi et al., 2020).

2. Methodology

In the first step, the Iran hydrometric stations that had discharge data with maximum long-term annual peak records (at least 30 years) were collected from the Iran Water Resources Management Company. In the next step, flood frequency analysis was performed based on the fitting of conventional continuous distributions in hydrology and fitting statistical tests. After performing flood frequency analysis and estimating peak discharge for 100 year return period, the watersheds boundary of hydrometric stations was determined. In this regard, using a digital elevation model with 12.5 m resolution and ARC GIS, Global Mapper, and Surfer software, the boundaries of the studied watersheds were extracted. Then, using the watersheds boundary and digital elevation model, the geomorphic parameters of the watershed such as perimeter, area, average slope, average elevation, length of the main river, and the slope of the main river were calculated. In the next step, long-term daily precipitation data of synoptic stations were collected from Iran Meteorological Organization. Then, 95% of the non-zero daily precipitation series was calculated for heavy precipitation (Gu et al., 2017). Using the IDW method, the long-term amount of heavy rainfall for each watershed was determined in GIS software. The NDVI index was used to determine the mean annual vegetation. In this regard, the vegetation time series for each watershed was extracted using Landsat images from 2000 to 2019 with a resolution of 30 m on the Google Earth Engine platform. After calculating the 100-year return period and possible parameters influencing the flood in the study watersheds, using Pearson bivariate analysis and stepwise regression model, the most suitable models for estimating

flood peak discharge were determined.

3. Discussion

The results of the study show that the southwestern, southern, and southeastern watersheds of Iran with peak discharges of more than 4000 cubic meters per second have the highest peak discharges of 100 years among the study watersheds. Meanwhile, the Minab watershed, which ends in the Persian Gulf, has a maximum peak flow of 100 years with a peak flow of 12,614 cubic meters per second. On the other hand, the northwestern and northern watersheds of Iran with a peak discharge of less than 300 cubic meters per second have the lowest peak discharge, with a minimum discharge of 20.7 cubic meters per second related to the Solan watershed in Hamadan province. The findings of the stepwise regression model indicated that the five parameters of the watershed, including area, heavy rainfall, mean elevation, vegetation, and mean slope with $R^2 = 0.72$ and significance level of 0.01, are the most influential factors in the estimation of flood peak discharge. In addition, the results showed that the three factors of watershed area, heavy rainfall, and mean slope have a direct relationship with peak discharge but mean elevation and vegetation have an inverse relationship.

4. Conclusion

This study quantified the relative contribution of driving factors influencing the flood peak discharge over 100 years across Iran. Considering its large spatial scale, which includes the whole of Iran, it can be used as a practical guide by the hydrologists and decision-makers in estimating the 100-year flood peak discharge in ungauged watersheds based on the most important factors affecting its generations.

References

- Adhikari, P., Hong, Y., Douglas, K. R., Kirschbaum, D. B., Gourley, J., Adler, R., & Brakenridge, G. R. (2010). A digitized global flood inventory (1998–2008): Compilation and preliminary results. *Journal of Natural Hazards*, 55(2), 405–422. Doi: 10.1007/s11069-010-9537-2
- Ahern, M., Kovats, R. S., Wilkinson, P., Few, R., & Matthies, F. (2005). Global health impacts of floods: Epidemiologic evidence. *Journal of Epidemiologic Reviews*, 27(1), 36–46. Doi: 10.1093/epirev/mxi004
- Bennett, B., Leonard, M., Deng, Y., & Westra, S. (2018). An empirical investigation into the effect of antecedent precipitation on flood volume. *Journal of Hydrology*, 567, 435–445. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2018.10.025
- Chang, H. S., & Chen, T. L. (2016). Spatial heterogeneity of local flood vulnerability indicators within flood-prone areas in Taiwan. *Journal of Environmental Earth Sciences*, 75(23), 1-14. Doi: 10.1007/s12665-016-6294-x
- Chau, K. W. (2017). *Use of meta-heuristic techniques in rainfall-runoff modelling*. Basel, Switzerland: Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Chuntian, C., & Chau, K. W. (2002). Three-person multi-objective conflict decision in reservoir flood control. *European Journal of Operational Research*, 142(3), 625–631. Doi: 10.1016/S0377-2217(01)00319-8

- Croke, J., Thompson, C., & Fryirs, K. (2017). Prioritising the placement of riparian vegetation to reduce flood risk and end-of-catchment sediment yields: Important considerations in hydrologically-variable regions. *Journal of Environmental Management*, 190, 9–19. Doi: 10.1016/j.jenvman.2016.12.046
- Doocy, S., Daniels, A., Packer, C., Dick, A., & Kirsch, T. D. (2013). The human impact of earthquakes: A historical review of events 1980–2009 and systematic literature review. *Journal of Plos Currents*, 5. Doi: 10.1371/currents.dis.67bd14fe457f1db0b5433a8ee20fb833
- El-Hames, A. S. (2012). An empirical method for peak discharge prediction in ungauged arid and semi-arid region catchments based on morphological parameters and SCS curve number. *Journal of Hydrology*, 456, 94–100. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.06.016
- Ezemonye, M. N., & Emeribe, C. N. (2011). Flood characteristics and management adaptations in parts of the Imo river system. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*, 4(3), 56–64. Doi: 10.4314/ejesm.v4i3.8
- Falah, F., Rahmati, O., Rostami, M., Ahmadisharaf, E., Daliakopoulos, I. N., & Pourghasemi, H. R. (2019). Artificial neural networks for flood susceptibility mapping in data-scarce urban areas. In *Spatial modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences* (pp. 323–336). Elsevier.
- Feng, L. H., & Lu, J. (2010). The practical research on flood forecasting based on artificial neural networks. *Journal of Expert Systems with Applications*, 37(4), 2974–2977. Doi: 10.1016/j.eswa.2009.09.037
- FitzGerald, G., Du, W., Jamal, A., Clark, M., & Hou, X. (2010). Flood fatalities in contemporary Australia (1997–2008). *Journal of Emergency Medicine Australasia*, 22(2), 180–186. Doi: 10.1111/j.1742-6723.2010.01284.x
- Fu, S., Wei, X., & Zhang, G. (2008). Estimation of peak flows from small watersheds on the Loess Plateau of China. *Hydrological Processes*, 22(21), 4233–4238. doi: 10.1002/hyp.7030
- Geravand, F. (2015). *Hydrological analysis of Kashkan river in Shiravand sub-basin and determination of floodplain boundary*. MA Thesis. University of Tehran [In Persian].
- Ghavidel, Y., & Hombari, F. J. (2020). Synoptic analysis of unexampled super-heavy rainfall on April 1, 2019, in west of Iran. *Journal of Natural Hazards*, 104(2), 1567–1580. Doi: 10.1007/s11069-020-04232-0
- Gu, X., Zhang, Q., Singh, V. P., & Shi, P. (2017). Changes in magnitude and frequency of heavy precipitation across China and its potential links to summer temperature. *Journal of Hydrology*, 547, 718–731. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2017.02.041
- Haghizadeh, A., Siahkamari, S., Haghiahi, A. H., & Rahmati, O. (2017). Forecasting flood-prone areas using Shannon's entropy model. *Journal of Earth System Science*, 126(3), 1–11. Doi: 10.1007/s12040-017-0819-x
- Haynes, K., Coates, L., van den Honert, R., Gissing, A., Bird, D., de Oliveira, F. D., ... & Radford, D. (2017). Exploring the circumstances surrounding flood fatalities in Australia, 1900–2015 and the implications for policy and practice. *Journal of Environmental Science & Policy*, 76, 165–176.

Doi: 10.1016/j.envsci.2017.07.003

- Herget, J., Roggenkamp, T., & Krell, M. (2014). Estimation of peak discharges of historical floods. *Journal of Hydrology and Earth System Sciences*, 18(10), 4029-4037. Doi: 10.5194/hess-18-4029-2014
- Hosseini, S. M., Jafar-Beiglu, M., & Geravand, F. (2015). Modeling of hydraulic behavior of Kashkan river and determination of floodplain limits using HEC-Geo-RAS. *Environmental Management Hazards*, 2(3), 355-369. Doi: 10.22059/jhsci.2015.58102 [In Persian].
- Jahangir, M. H., Reineh, S. M. M., & Abolghasemi, M. (2019). Spatial predication of flood zonation mapping in Kan River Watershed, Iran, using artificial neural network algorithm. *Journal of Weather and Climate Extremes*, 25, 100215. Doi: 10.1016/j.wace.2019.100215
- Khosravi, K., Panahi, M., Golkarian, A., Keesstra, S. D., Saco, P. M., Bui, D. T., & Lee, S. (2020). Convolutional neural network approach for spatial prediction of flood hazard at national scale of Iran. *Journal of Hydrology*, 591, 125552. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.125552
- Khosravi, K., Pourghasemi, H. R., Chapi, K., & Bahri, M. (2016). Flash flood susceptibility analysis and its mapping using different bivariate models in Iran: A comparison between Shannon's entropy, statistical index, and weighting factor models. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 188(12), 1-21. Doi: 10.1007/s10661-016-5665-9
- Kirch, W., Menne, B., & Bertollini, R. (Eds.) (2005). *Extreme weather events and public health responses*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Lashkari, H., Mohammadi, Z., & Jafari, M. (2020). Investigation on dynamical structure and moisture sources of heavy precipitation in south and south-west of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(21), 1-15. Doi: 10.1007/s12517-020-06097-w
- Lee, S., & Vink, K. (2015). Assessing the vulnerability of different age groups regarding flood fatalities: Case study in the Philippines. *Journal of Water Policy*, 17(6), 1045–1061. Doi: 10.2166/wp.2015.089
- Liu, D., Fan, Z., Fu, Q., Li, M., Faiz, M. A., Ali, S., ... & Khan, M. I. (2020). Random forest regression evaluation model of regional flood disaster resilience based on the whale optimization algorithm. *Journal of Cleaner Production*, 250, 119468. Doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119468
- Liu, Y., Yuan, X., Guo, L., Huang, Y., & Zhang, X. (2017). Driving force analysis of the temporal and spatial distribution of flash floods in Sichuan Province. *Journal of Sustainability*, 9(9), 1527. Doi: 10.3390/su9091527
- Machado, R. A. S., Oliveira, A. G., & Lois-González, R. C. (2019). Urban ecological infrastructure: The importance of vegetation cover in the control of floods and landslides in Salvador/Bahia, Brazil. *Journal of Land Use Policy*, 89, 104180. Doi: 10.1016/j.landusepol.2019.104180
- Mallakpour, I., Villarini, G., Jones, M. P., & Smith, J. A. (2017). On the use of Cox regression to examine the temporal clustering of flooding and heavy precipitation across the central United States. *Journal of Global and Planetary Change*, 155, 98-108. Doi: 10.1016/j.gloplacha.2017.07.001

- Miceli, R., Sotgiu, I., & Settanni, M. (2008). Disaster preparedness and perception of flood risk: A study in an alpine valley in Italy. *Journal of Environmental Psychology*, 28(2), 164–173. Doi: 10.1016/j.jenvp.2007.10.006
- Norouzi, G., & Taslimi, M. (2012). The impact of flood damages on production of Iran's agricultural sector. *Middle East Journal of Scientific Research*, 12(7), 921-926. Doi: 10.5829/idosi.mejsr.2012.12.7.1783
- Ogato, G. S., Bantider, A., Abebe, K., & Geneletti, D. (2020). Geographic information system (GIS)-Based multicriteria analysis of flooding hazard and risk in Ambo Town and its watershed, west Shoa zone, Oromia regional state, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 27, 100659. Doi: 10.1016/j.ejrh.2019.100659
- Sadeghi-Pouya, A., Nouri, J., Mansouri, N., & Kia-Lashaki, A. (2017). An indexing approach to assess flood vulnerability in the western coastal cities of Mazandaran, Iran. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 22, 304-316. Doi: 10.1016/j.ijdr.2017.02.013
- Saksena, S., & Merwade, V. (2015). Incorporating the effect of DEM resolution and accuracy for improved flood inundation mapping. *Journal of Hydrology*, 530, 180-194. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2015.09.069
- Salvati, P., Petrucci, O., Rossi, M., Bianchi, C., Pasqua, A. A., & Guzzetti, F. (2018). Gender, age and circumstances analysis of flood and landslide fatalities in Italy. *Journal of Science of the Total Environment*, 610, 867–879. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.064
- Seckin, N., & Guven, A. (2012). Estimation of peak flood discharges at ungauged sites across Turkey. *Journal of Water Resources Management*, 26(9), 2569-2581. Doi: 10.1007/s11269-012-0033-1
- Shabanikiya, H., Seyedin, H., Haghani, H., & Ebrahimian, A. (2014). Behavior of crossing flood on foot, associated risk factors and estimating a predictive model. *Journal of Natural Hazards*, 73(2), 1119–1126. Doi: 10.1007/s11069-014-1124-5
- Shahabi, H., Shirzadi, A., Ronoud, S., Asadi, S., Pham, B. T., Mansouripour, F., ... & Bui, D. T. (2021). Flash flood susceptibility mapping using a novel deep learning model based on deep belief network, back propagation and genetic algorithm. *Journal of Geoscience Frontiers*, 12(3), 101100. Doi: 10.1016/j.gsf.2020.10.007
- Smith, K. (2013). *Environmental hazards: Assessing risk and reducing disaster*. Routledge.
- Tang, J., Li, Y., Cui, S., Xu, L., Hu, Y., Ding, S., & Nitivattananon, V. (2021). Analyzing the spatiotemporal dynamics of flood risk and its driving factors in a coastal watershed of southeastern China. *Journal of Ecological Indicators*, 121, 107134. Doi: 10.1016/j.ecolind.2020.107134
- Turgut, A., & Tefvik, T. (2012). Floods and drowning incidents by floods. *Journal of World Applied Sciences*, 16(8), 1158–1162.
- Wang, C., Du, S., Wen, J., Zhang, M., Gu, H., Shi, Y., & Xu, H. (2017). Analyzing explanatory factors of urban pluvial floods in Shanghai using geographically weighted regression. *Journal of Stochastic Environmental Research Risk Assessment*, 31(7), 1777-1790. Doi: 10.1007/s00477-016-

1242-6

- Yari, A., Ardalan, A., Ostadtaghizadeh, A., Zarezadeh, Y., Boubakran, M. S., Bidarpoor, F., & Rahimiforushani, A. (2019). Underlying factors affecting death due to flood in Iran: A qualitative content analysis. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 40, 101258. Doi: 10.1016/j.ijdr.2019.101258
- Zorn, C. R., & Shamseldin, A. Y. (2015). Peak flood estimation using gene expression programming. *Journal of Hydrology*, 531, 1122-1128. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2015.11.018

تحلیل فراوانی سیلاب ۱۰۰ساله در حوضه‌های آبریز ایران و بررسی عوامل تأثیرگذار بر آن

اسماعیل پاریزی، پژوهشگر پسادکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران، تهران، ایران
parizi555@ut.ac.ir
سید موسی حسینی*، دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران، تهران، ایران
smhosseini@ut.ac.ir

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، تحلیل فراوانی دبی پیک سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ساله و مدل‌سازی آن براساس مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر سیلاب در ۲۰۶ حوضه آبریز در ایران است. در این راستا، تحلیل فراوانی سیلاب براساس داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای سالانه و برازش توزیع‌های پیوسته مرسوم انجام شد. سپس برای مدل‌سازی، هشت عامل مؤثر بر دبی اوج سیلاب شامل بارش سنگین روزانه، متوسط پوشش گیاهی، محیط، مساحت، میانگین شیب، میانگین ارتفاع، طول رودخانه اصلی و شیب رودخانه اصلی در سطح حوضه آبریز منتهی به ایستگاههای هیدرومتری انتخابی استخراج شد. همچنین از تکنیک تحلیل رگرسیون گام‌به‌گام به منظور تعیین عوامل مؤثر بر تولید دبی اوج سیلاب در ایستگاههای منتخب استفاده شد. نتایج نشان داد حوضه‌های جنوب غربی، جنوبی و جنوب شرقی ایران با دبی پیک بیش از ۴۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه، بیشترین دبی پیک ۱۰۰ساله را در بین حوضه‌های مطالعاتی دارند. یافته‌های مدل رگرسیون گام‌به‌گام مؤید آن بود که پنج عامل مساحت، بارش سنگین، ارتفاع، پوشش گیاهی و شیب حوضه با ضریب تعیین تعدیل‌شده ۰/۷۲، خطای برآورد استاندارد ۱۳۲/۷، معیار اطلاعات آکائیک ۱/۶۲ و فاکتور تورم واریانس ۰/۶۲، بهترین عملکرد را در تخمین دبی پیک سیلاب دارند. نتایج این پژوهش با توجه به مقیاس مکانی گسترده آن که شامل کل ایران است، می‌تواند یک راهنمای عملی در تخمین دبی پیک سیلاب ۱۰۰ساله در حوضه‌های فاقد آمار کشور باشد و فقط براساس مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تولید آن در سطح حوضه آبریز مورد استفاده هیدرولوژیست‌ها و مدیران حوضه آبریز قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: دبی پیک سیلاب، مدل‌سازی، حوضه‌های آبریز ایران، رگرسیون گام‌به‌گام، فاکتورهای ژئومورفیک

*نویسنده مسؤول

پاریزی، اسماعیل، حسینی، سید موسی. (۱۴۰۰). تحلیل فراوانی سیلاب ۱۰۰ساله در حوضه‌های آبریز ایران و بررسی عوامل تأثیرگذار بر آن جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۳

(۲)، ۳۶-۱۷.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://dx.doi.org/10.22108/gep.2022.130040.1450>



20.1001.1.20085362.1401.33.2.5.5

مقدمه

سیلاب یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی محسوب می‌شود که با خسارات سنگینی که بر جوامع بشری وارد کرده، توجه مدیران و برنامه‌ریزان زیادی را جلب کرده است (Jahangir et al., 2019: 1). در واقع سیلاب به‌مثابه نوعی از بلایای طبیعی، تأثیر منفی زیادی بر توسعه منطقه‌ای دارد و فاجعه‌های آن با جاری شدن ناگهانی آب، شدت زیاد، عوامل کنترل‌ناپذیر و خسارات جدی مشخص می‌شود (Miceli et al., 2008: 3). از سوی دیگر، در میان انواع گوناگون بلایای طبیعی مانند زلزله، زمین‌لغزش، فرسایش خاک و سونامی، سیل رایج‌ترین و مخرب‌ترین پدیده زمین در نظر گرفته می‌شود (Doocy et al., 2013: 2) که هر سال بر زندگی تعداد زیادی از مردم اثر می‌گذارد (Salvati et al., 2018: 1; Yari et al., 2019: 2). خسارات اقتصادی اجتماعی زیاد، تلفات انسانی، تخریب گسترده و ایجاد شرایط زندگی در حال تهدید بخشی از آسیب‌هایی است که سیل به وجود می‌آورد (Turgut & Tefvik, 2012: 3). در زمینه تلفات انسانی ناشی از بلایای طبیعی می‌توان گفت که نیمی از مرگ‌ومیرها در اثر سیل رخ می‌دهد (FitzGerald et al., 2010: 1; Lee & Vink, 2015: 2). در این زمینه، در فاصله ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۵ سیلاب‌ها جان ۵۹۰۹۲ نفر را در سرتاسر جهان گرفته‌اند (Haynes et al., 2017: 1) و طی یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۸۰-۲۰۰۹)، ۵۳۹۸۱۱ نفر در اثر این فاجعه مرگبار جان خود را از دست داده‌اند (Salvati et al., 2018: 3).

بر مبنای بررسی صلیب سرخ و هلال احمر از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵، ۱۷۱۹ سیل در سرتاسر زمین رخ داده است که ۴۵/۷۹ درصد از بلایای طبیعی را شامل می‌شود. این امر به تلفات اقتصادی در حدود ۲۳/۸ میلیارد یوان منجر شده و بر زندگی دست‌کم ۸۰۰ میلیون نفر تأثیر گذاشته است (Chau, 2017: 1; Liu et al., 2020: 3)؛ به بیان دیگر، ۴۰ درصد از خسارات اقتصادی انواع گوناگون بلایای طبیعی مربوط به سیلاب است (Ezemonye & Emeribe, 2011: 1; Feng & Lu, 2010: 1)؛ علاوه بر این، سیلاب‌ها به‌طور جدی به محیط زندگی انسان و تولیدات آنها آسیب می‌زنند و مانع از فرایندهای توسعه اجتماعی می‌شوند (Chuntian & Chau, 2002: 2).

در دهه‌های اخیر تعداد سیلاب‌ها و شدت آثار آنها در سرتاسر جهان با توجه به تغییرات اقلیمی، تغییر در الگوی بارش و افزایش سطح دریا افزایش چشمگیری داشته است (Ahern et al., 2005: 3; Kirch et al., 2005: 1)؛ علاوه بر این، رشد جمعیت، توسعه شهری و روستایی سریع و فعالیت‌های انسانی دیگر خطر سیل را افزایش داده است (Haghizadeh, 2017: 2). در این زمینه بیش از ۱/۳ درصد مساحت جهان مستعد سیل‌های مصیبت‌بار است که ۹۰ کشور (۸۲ درصد جمعیت جهان) را دربرمی‌گیرد (Adhikari et al., 2010: 2). همچنین تخمین زده می‌شود که تعداد افرادی که در منطقه خطر سیل زندگی می‌کنند تا سال ۲۰۵۰ به ۱/۳ میلیارد نفر برسد (Falah et al., 2019: 1).

در این میان، کشورهای آسیایی جزو مخاطره‌آمیزترین کشورهای جهان از لحاظ وقوع سیلاب محسوب می‌شوند، به‌طوری‌که بیش از ۹۰ درصد تلفات ناشی از بلایای طبیعی در این قاره در اثر سیل رخ می‌دهد (Smith, 2013: 1). این مقدار از تلفات، هم به دلایل طبیعی (برای نمونه تغییر اقلیم) و هم در اثر عوامل انسانی (برای نمونه تغییر کاربری زمین) ایجاد می‌شود (Chang and Chen, 2016: 3). ایران نیز به‌مثابه یکی از مناطق سیلابی آسیا و جهان (Shabanikiya et al., 2014: 1) با توجه به مساحت گسترده حوضه‌ها، تنوع اقلیمی و تغییرات زمانی فضایی بارش،

هرساله با سیلاب‌های بزرگی روبه‌رو بوده است (Jahangir et al., 2019: 1). طی دهه‌های گذشته (۱۹۸۱-۲۰۰۹) خسارات اقتصادی‌ای که سیلاب‌ها در ایران ایجاد کرده‌اند، به ۷۳۷۴۵۳۶۸ دلار رسیده است (Norouzi and Taslimi, 2012: 3). از منظر مساحت، سطح مناطق سیل‌خیز کشور حدود ۹۱ میلیون هکتار برآورد شده است؛ به بیان دیگر، ۵۵ درصد از سطح کشور در تولید رواناب مستقیم و سریع نقش داشته که حدود ۴۲ میلیون هکتار آن شدت سیل‌خیزی متوسط تا خیلی زیاد داشته است (گراوند، ۱۳۹۴: ۵۳). به‌طور میانگین در هر سال، ۶۰ رویداد سیل در ایران روی می‌دهد که میانگین تلفات انسانی ناشی از آن در هر سال ۱۴۱ نفر است (حسینی و همکاران، ۱۳۹۴: ۴). در سال‌های اخیر، کشور ایران سیلاب‌های بسیار مخربی را به دلیل تغییرات اقلیمی و مدیریت ضعیف حوضه آبخیز (جنگل‌زدایی، اجرای بیش از حد و انجام‌نشدن اقدامات پیشگیرانه برای کنترل سیلاب) تجربه کرده است؛ برای نمونه سیلاب‌های اخیر (زمستان ۱۳۹۷ و بهار ۱۳۹۸) در ایران بر ۲۵ استان تأثیر گذاشته، ۷۷ نفر را از بین برده و حدود ۲/۲ میلیارد دلار خسارت به این ۲۵ استان وارد کرده است (Khosravi et al., 2020: 2).

در سطح جهان مطالعات زیادی درباره سیلاب انجام شده است؛ از جمله:

(Guvén and Seckin (2012) دبی پیک سیلاب را در حوضه‌های فاقد آمار ترکیه با سه روش GEP^1 ، LGP^2 و LR^3 برآورد کردند و چنین نتیجه گرفتند که دقت روش‌های یادشده به ترتیب ۰/۵۷، ۰/۵۶ و ۰/۴۲ است.

(Herget et al. (2014) در پژوهشی دبی پیک سیلاب‌های تاریخی را تخمین زدند و گزارش دادند که خطرات سیلاب‌های آینده به‌ویژه در تغییرات محیطی اخیر می‌تواند به‌طور چشمگیری با بررسی سیلاب‌های تاریخی کاهش یابد.

(Shamseldin and Zorn (2015) دبی پیک سیلاب را با استفاده از روش GEP برآورد کردند و نتیجه گرفتند که اگرچه میزان خطای روش یادشده نسبت به روش RFE^4 برای پیش‌بینی کردن دوره بازگشت سیلاب کمتر است، نمی‌توان از آن به‌تنهایی استفاده کرد و باید در کنار سایر روش‌های رایج به کار گرفته شود.

(Mallakpour et al. (2017) نقش بارش‌های سنگین را در شکل‌گیری سیل در ایالات متحده آمریکا بررسی و چنین استنباط کردند که تنوع در سیستم‌های آب‌وهوایی و وقوع بارش‌های سنگین، نقشی کلیدی در ایجاد سیلاب‌ها دارد.

(Croke et al. (2017) در پژوهشی تأثیر پوشش گیاهی را در کاهش خطر سیل در دره Lockyer استرالیا بررسی کردند و بیان داشتند که یک مؤلفه کلیدی برای مدیریت یکپارچه حوضه‌های آبریز، کاشت پوشش گیاهی در موقعیت‌های مناسب برای کاهش خطرات سیل است. آنها همچنین گزارش دادند که یکی از عوامل دیگر برای مدیریت مناسب حوضه‌های آبریز در زمینه مخاطرات سیلاب، فهم فرایندهای ژئومورفیک حاکم بر حوضه است.

(Sadeghi-Pouya et al. (2017) در پژوهشی میزان آسیب‌پذیری شهرهای ساحلی استان مازندران را ارزیابی کردند و نتیجه گرفتند که مناطق شهری به‌ویژه طبقه اول ساختمان‌ها که با دو رودخانه احاطه شده‌اند، آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به سایر مناطق دارند.

1. Gene-Expression Programming
2. Linear Genetic Programming
3. Logistic Regression
4. Regional Flood Estimation

Bennett et al. (2018) نقش بارش‌های پیشین (بارش‌هایی که پیش از وقوع سیل سبب افزایش رطوبت خاک شده‌اند) را در حجم سیلاب‌ها بررسی کردند و گزارش دادند که بارش‌های سنگین عامل اصلی سیلاب‌ها در نظر گرفته می‌شود، ولی مقدار رطوبتی که در اثر بارش‌های پیشین در خاک وجود دارد، تأثیر مهمی بر افزایش حجم سیلاب دارد.

Yari et al. (2019) در پژوهشی در زمینه عوامل مؤثر بر مرگ‌ومیر ناشی از سیل، چنین بیان کردند که پارامترهایی نظیر ویژگی‌های سیل، وضعیت اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، جمعیتی، مدیریتی و جسمی بر میزان مرگ‌ومیر ناشی از سیل اثر می‌گذارد.

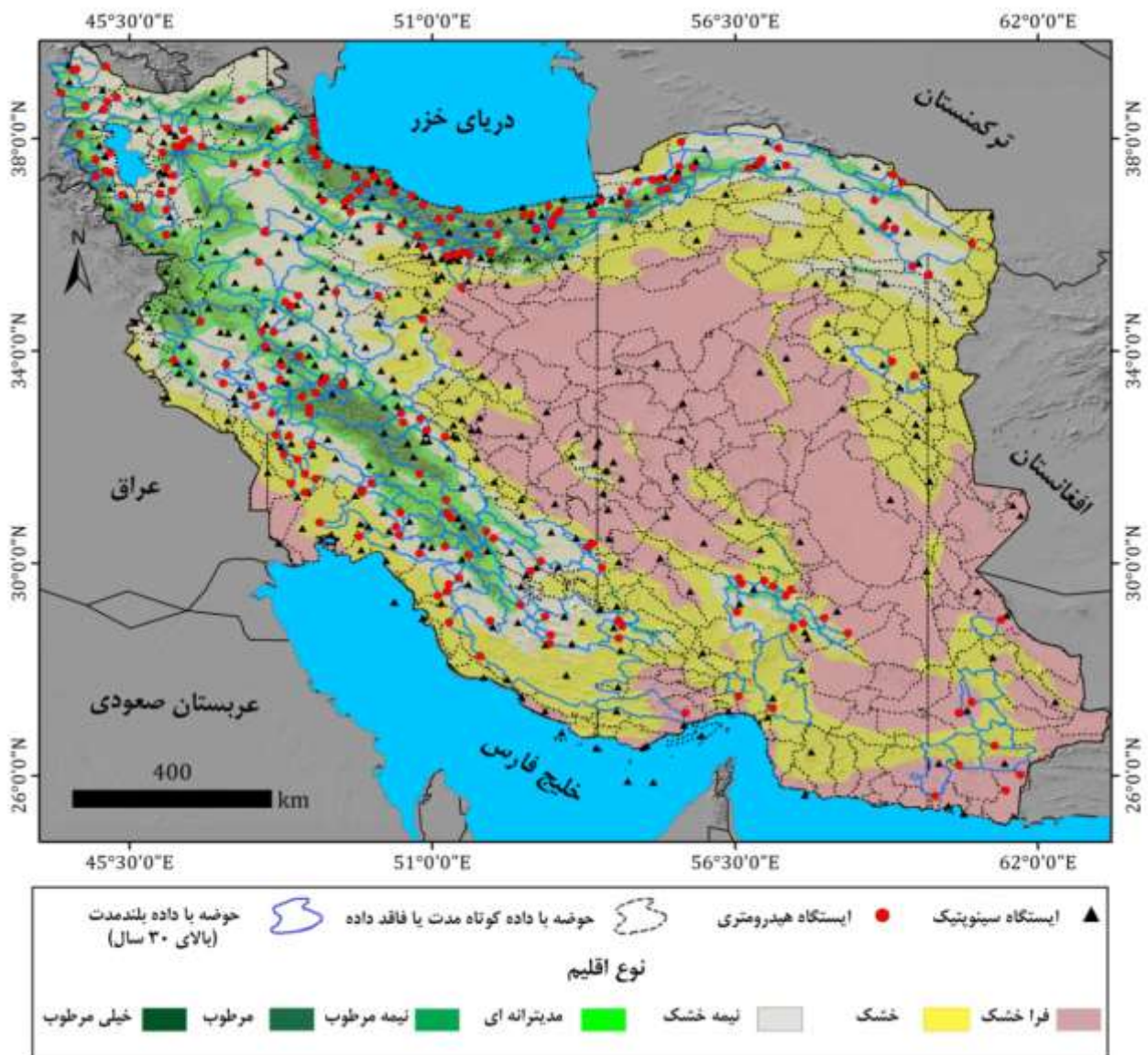
Ogato et al. (2020) در پژوهشی خطرات سیل را در کشور اتیوپی تحلیل و استنباط کردند که بخش زیادی از منطقه مطالعاتی ریسک سیل‌خیزی زیاد تا خیلی زیاد دارد. با توجه به نتایج یادشده، آنها نتیجه گرفتند که باید یک رویکرد مدیریت یکپارچه سیل در سطح حوضه‌های آبریز اعمال شود.

با وجود اینکه در سال‌های اخیر برای مدیریت سیلاب از راهبردها و روش‌های متعددی استفاده شده است، وقوع سیلاب‌های مخرب در سطح کشور به‌ویژه در استان‌های سیستان و بلوچستان، لرستان و خوزستان و اعمال خسارات جانی و مالی این حقیقت را آشکار می‌کند که برنامه‌ها و سیاست‌های اتخاذشده کارآمدی لازم را ندارند. در این زمینه عوامل مختلفی در تشدید این مخاطره طبیعی تأثیر داشته‌اند که از جمله آنها می‌توان به نبود یا کمبود داده‌های حداکثر دبی لحظه‌ای سالانه برای برآورد دبی پیک سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف (وجود این داده‌ها به‌مثابه یکی از ورودی‌های مدل هیدرولیکی برای هر حوضه لازم است) و تغییرات زمانی و مکانی عوامل تأثیرگذار بر تولید سیلاب در هر حوضه اشاره کرد.

این پژوهش برای نخستین بار سعی دارد در سطح کلان و براساس داده‌های حداکثر دبی لحظه‌ای سالانه بلندمدت (بیش از ۳۰ سال) در ۲۰۶ حوضه در سراسر کشور با تنوع زیاد آب‌وهوایی، پوشش گیاهی و ویژگی‌های ژئومورفیک، سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰۰ساله را برآورد و سپس با شناسایی عوامل تأثیرگذار بر تولید آن، معادله رگرسیونی ساده‌ای را به‌منظور تخمین آن ارائه کند. انتخاب دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ساله به این دلیل است که در هنگام چنین رخدادی با جریان زیاد، هم کانال اصلی و هم دشت سیلابی به‌طور کامل غرقاب می‌شوند، هیچ منطقه ذخیره‌سازی در دشت سیلابی وجود ندارد و کل دشت سیلابی به‌مثابه یک کانال واحد عمل می‌کند (Saksena and Merwade, 2015). از سوی دیگر، براساس مطالعات پیشین، سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰۰ساله در بیشتر حوضه‌های آبریز کشور مخاطرات فراوانی را ایجاد می‌کنند. به دلیل آنکه بیشتر حوضه‌های ایران فاقد داده‌های حداکثر دبی لحظه‌ای سالانه بلندمدت هستند، ارائه یک مدل رگرسیونی ساده براساس مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تولید سیلاب می‌تواند به مدیران و مهندسان برای برآورد اولیه سیلاب با دوره بازگشت مدنظر و همچنین تعمیم چنین رابطه‌ای برای حوضه‌های فاقد آمار سیلاب به‌منظور تحلیل فراوانی و مدل‌سازی کمک شایانی کند. گفتنی است استفاده از حوضه‌هایی با ویژگی‌های طبیعی مختلف برای مدل‌سازی می‌تواند کاربرد تحلیل‌های انجام‌شده در این پژوهش را در سطح کلان (کل کشور) امکان‌پذیر کند.

منطقه پژوهش

برپایه دسترسی داده‌های حداکثر دبی لحظه‌ای سالانه که پوشش مناسب مکانی در سطح ایران داشتند و از سوی دیگر، دست کم ۳۰ سال داده ثبت شده داشتند، ۲۰۶ ایستگاه هیدرومتری از ۱۱۰۹ ایستگاه هیدرومتری فعال کشور انتخاب شد (شکل ۱). بازه زمانی داده‌های دبی پیک بین ۳۰ تا ۵۸ سال با میانگین ۴۲ سال بود و اکثراً از سال ۱۳۴۴ داده ثبت شده داشتند. از نظر اقلیمی ۳۱ درصد حوضه‌ها در اقلیم‌های خیلی مرطوب، مرطوب و نیمه مرطوب، ۶۷ درصد نیمه خشک، خشک و فرا خشک و ۲ درصد نیز در اقلیم مدیترانه‌ای واقع شده‌اند؛ علاوه بر این با توجه به موقعیت‌های مکانی مختلف، این حوضه‌ها از نظر شرایط ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی متنوع بودند. وجود چنین تنوعی سبب می‌شود که مدل‌های قابل اعتماد و کاربردی برای تخمین دبی پیک سیلاب ارائه شود.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاههای هیدرومتری مطالعه شده (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Figure 1. Geographical location of the studied hydrometric stations (Authors, 2021)

مواد و روش‌ها

مواد

داده‌های پژوهش با کارهای تفصیلی، تحلیل‌های آماری و آنالیز مدل رقومی ارتفاعی و تصاویر ماهواره‌ای به دست آمدند. این داده‌ها در ۵ گروه اصلی تفکیک می‌شوند؛ شامل داده‌های حداکثر دبی لحظه‌ای سالانه در حوضه‌های آبریز کشور که از طریق داده‌های ایستگاههای هیدرومتری شرکت مدیریت منابع آب و شرکت آب منطقه‌ای استان‌های کشور گردآوری شدند، داده‌های دبی پیک سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ساله در حوضه‌های مطالعاتی که از طریق آنالیزها، آزمون‌های آماری و تحلیل فراوانی حداکثر دبی لحظه‌ای سالانه برآورد شدند، داده‌های بارش‌های سنگین که براساس داده‌های روزانه بلندمدت (۲۰۰۰-۲۰۱۹) تمام ایستگاه سینوپتیک کشور و صدک ۹۵ در حوضه‌ها تعیین شدند، داده‌های ژئومورفیک حوضه نظیر محیط، مساحت، میانگین شیب، میانگین ارتفاع، طول رودخانه اصلی و شیب رودخانه اصلی که با پردازش مدل رقومی ارتفاعی ۱۲/۵ متر در نرم‌افزار ArcGIS محاسبه شدند و سرانجام داده‌های پوشش گیاهی حوضه که با پردازش تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ با رزولوشن ۳۰ متر و فاصله ۱۶ روزه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ به صورت اتوماتیک در پلتفرم گوگل ارث انجین استخراج شدند (شکل ۲).

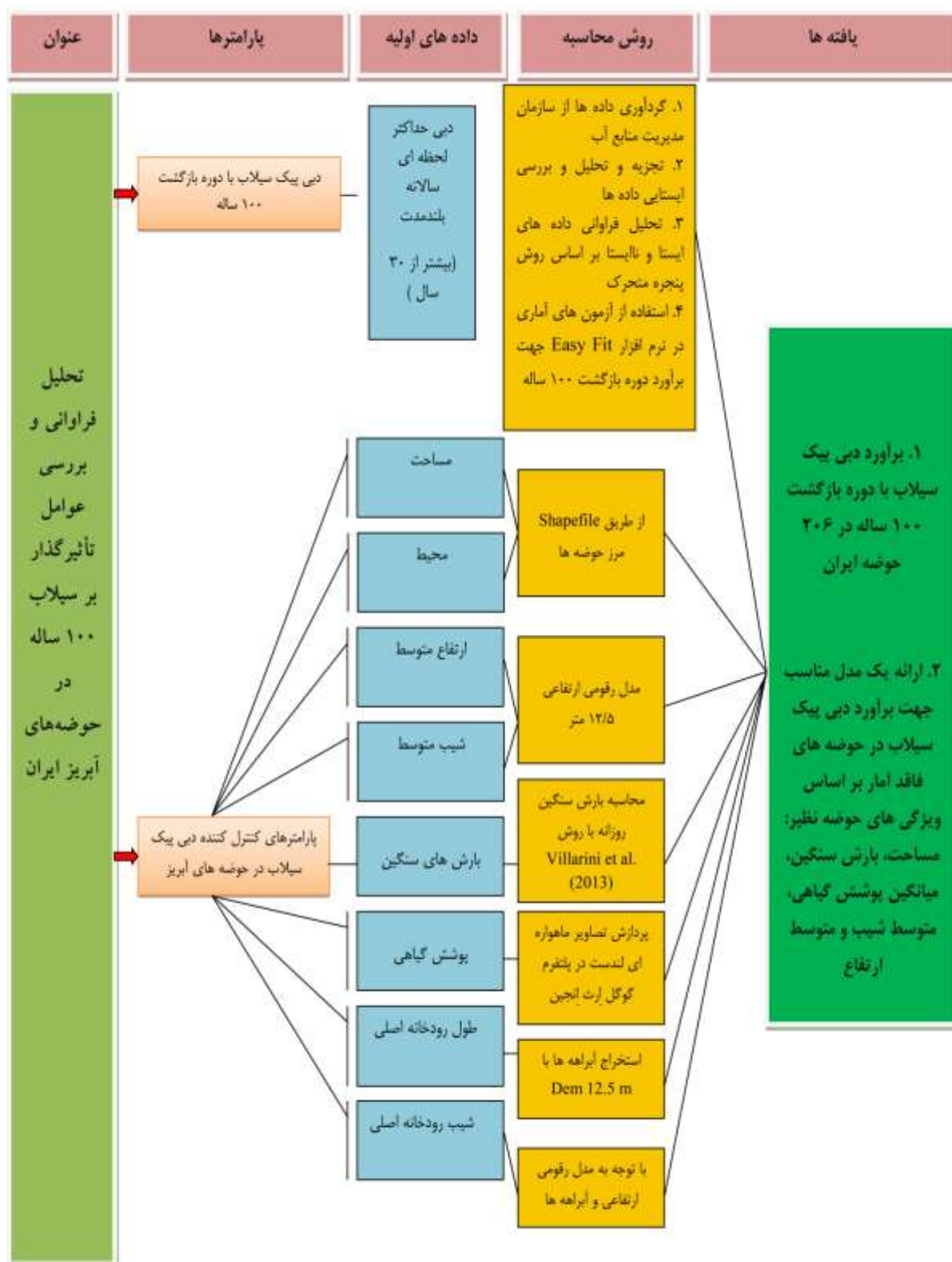
ابزارهای فیزیکی پژوهش شامل تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ با رزولوشن ۳۰ متر و فاصله زمانی ۱۶ روزه برای استخراج سری زمانی شاخص NDVI و میانگین آن از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ برای هر حوضه و مدل رقومی ارتفاعی ۱۲/۵ متر برای استخراج پارامترهای ژئومورفیک مناطق مطالعاتی است. ابزارهای مفهومی را عمدتاً نرم‌افزارهای ArcGIS، Surfer، Global Mapper و Google Earth شامل می‌شوند. از این نرم‌افزارها برای آنالیزهای مکانی و تهیه نقشه‌های منطقه مطالعه شده استفاده شد. از نرم‌افزار Easy Fit برای تحلیل فراوانی و بازسازی دوره بازگشت ۱۰۰ساله سیلاب و از پلتفرم Google Earth Engine برای استخراج شاخص NDVI استفاده شد؛ علاوه بر این نرم‌افزار SPSS برای تحلیل رگرسیون و مدل‌سازی دبی پیک سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ساله به کار گرفته شد.

روش‌ها

در نخستین گام، ایستگاههای هیدرومتری کشور که داده‌های حداکثر دبی لحظه‌ای سالانه بلندمدت (دست‌کم ۳۰ سال) داشتند، از شرکت مدیریت منابع آب و شرکت آب منطقه‌ای استان‌های کشور گردآوری شدند. در مرحله بعد، تحلیل فراوانی سیلاب براساس برآزش توزیع‌های پیوسته مرسوم در هیدرولوژی و آزمون‌های آماری نکویی برآزش انجام شد. در این زمینه نخست ایستایی داده‌های حداکثر دبی لحظه‌ای سیلاب در هر ایستگاه در طول زمان کنترل شد. برای این منظور از آزمون‌های آماری مناسب برای کنترل ایستایی داده‌ها استفاده شد. برای آن دسته از ایستگاههایی که داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای سیلاب شرایط ایستایی در طول زمان را نشان دادند، با برآزش توزیع‌های احتمالاتی پیوسته مناسب، بهترین توزیع در سطح اعتماد مناسب (۹۵٪) و به‌کارگیری آزمون‌های نکویی انتخاب شد و دبی متناظر با دوره بازگشت ۱۰۰ساله با استفاده از نرم‌افزار Easy Fit (معادل احتمال وقوع ۰/۱٪ تا ۰/۵٪) برآورد شد. برای

ایستگاههایی که دبی حداکثر لحظه‌ای نایستایی (دارای روند صعودی یا نزولی) در زمان مطالعه شده نشان دادند (۶۵) ایستگاه مطالعه شده)، از تکنیک‌های پنجره‌های متحرک زمانی برای تحلیل فراوانی سیلاب استفاده شد. در این زمینه، داده‌های موجود به یک سری پنجره (بازه زمانی مشخص) تقسیم شدند؛ به طوری که در هر پنجره داده‌های دبی پیک سیلاب ایستا بودند؛ سپس برای پنجره تحلیل فراوانی ایستایی انجام شد. نتایج تحلیل فراوانی آخرین پنجره ایستا برای تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی در این پژوهش به کار رفت. پس از انجام تحلیل فراوانی سیلاب و برآورد دبی پیک برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، اقدام به تعیین حدود حوضه‌های بالادست ایستگاههای هیدرومتری شد. در این زمینه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی ۱۲/۵ متر و نرم‌افزارهای ArcGIS، Global Mapper و Surfer مرز حوضه‌های مدنظر استخراج شد. سپس با استفاده از مرز حوضه آبریز و مدل رقومی ارتفاعی، پارامترهای ژئومورفیک حوضه مانند محیط، مساحت، میانگین شیب، میانگین ارتفاع، طول رودخانه اصلی و شیب رودخانه اصلی محاسبه شد. در مرحله بعد، داده‌های درازمدت بارش روزانه ایستگاههای سینوپتیک از سازمان هواشناسی گردآوری و پس از محاسبه صدک ۹۵ (بدون در نظر گرفتن روزهایی که بارندگی رخ نداده است) به مثابه مرز بارش‌های سنگین (Gu et al, 2017: 2)، با استفاده از روش^۱ IDW، مقدار درازمدت بارش سنگین برای هر حوضه در نرم‌افزار GIS تعیین شد. برای تعیین متوسط سالانه پوشش گیاهی از شاخص NDVI استفاده شد. در این راستا، سری زمانی پوشش گیاهی برای هر حوضه با استفاده از تصاویر لندست از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ با رزولوشن ۳۰ متر و فاصله زمانی ۱۶ روزه در پلتفرم گوگل ارث انجین استخراج شد. پس از محاسبه دوره بازگشت ۱۰۰ ساله و استخراج مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار سیلاب در حوضه‌های مطالعاتی براساس پژوهش‌های پیشین، با بهره‌گیری از تحلیل دومتغیره^۲ پیرسون^۳ و مدل رگرسیون گام‌به‌گام^۳، مناسب‌ترین مدل‌ها برای تخمین دبی پیک سیلاب تعیین شد (شکل ۲).

1. Inverse distance weighted
 2. Pearson bivariate analysis
 3. Stepwise regression model



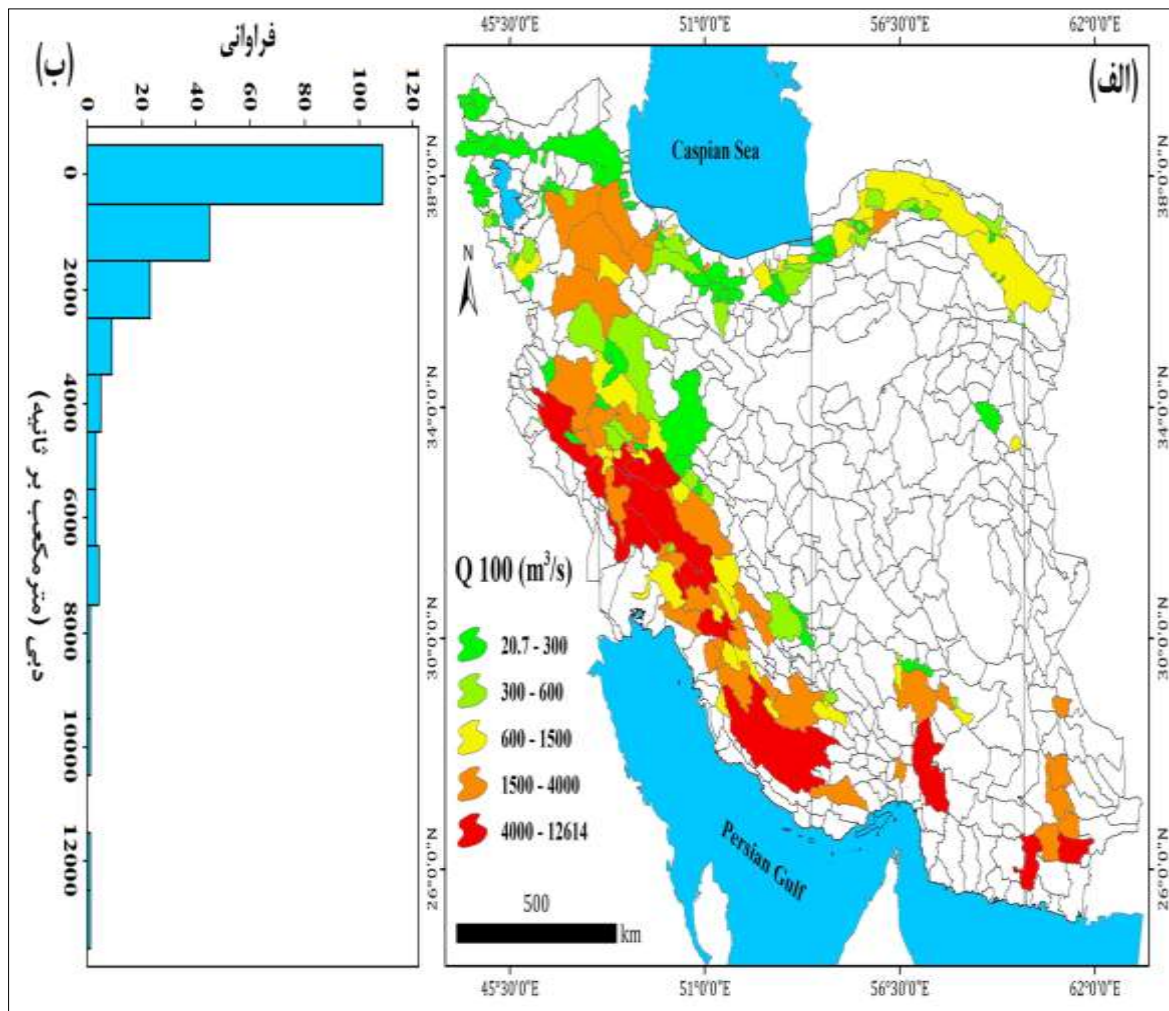
شکل ۲. فلوچارت روش پژوهش (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Figure 2. Flowchart of research methodology (Authors, 2021)

نتایج

دبی پیک ۱۰۰ ساله

توضیح فضایی و هیستوگرام دبی پیک سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در ۲۰۶ حوضه آبریز مطالعاتی به شرح شکل ۳ است. یافته‌ها مؤید آن است که حوضه‌های جنوب غربی، جنوبی و جنوب شرقی ایران با دبی پیک بیش از ۴۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه، بیشترین دبی پیک را در بین حوضه‌های مطالعاتی دارند. در این میان، حوضه میناب که به خلیج فارس منتهی می‌شود، با دبی پیک ۱۲۶۱۴ مترمکعب بر ثانیه ماکزیمم دبی پیک ۱۰۰ ساله دارد. از سوی دیگر، حوضه‌های شمال غربی و شمالی ایران با دبی پیک کمتر از ۳۰۰ مترمکعب بر ثانیه، کمترین دبی پیک را دارند که حداقل آن با دبی ۲۰/۷ مترمکعب بر ثانیه به حوضه سولان در استان همدان مربوط است. آمار توصیفی داده‌های دبی پیک ۱۰۰ ساله نیز نشان می‌دهد میانگین و میانه داده‌ها به ترتیب ۱۲۶۶ و ۴۶۷ مترمکعب بر ثانیه است.



شکل ۳. توزیع فضایی (الف) و هیستوگرام (ب) مقدار دبی پیک سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در حوضه‌های مطالعاتی

(نویسندگان، ۱۴۰۰)

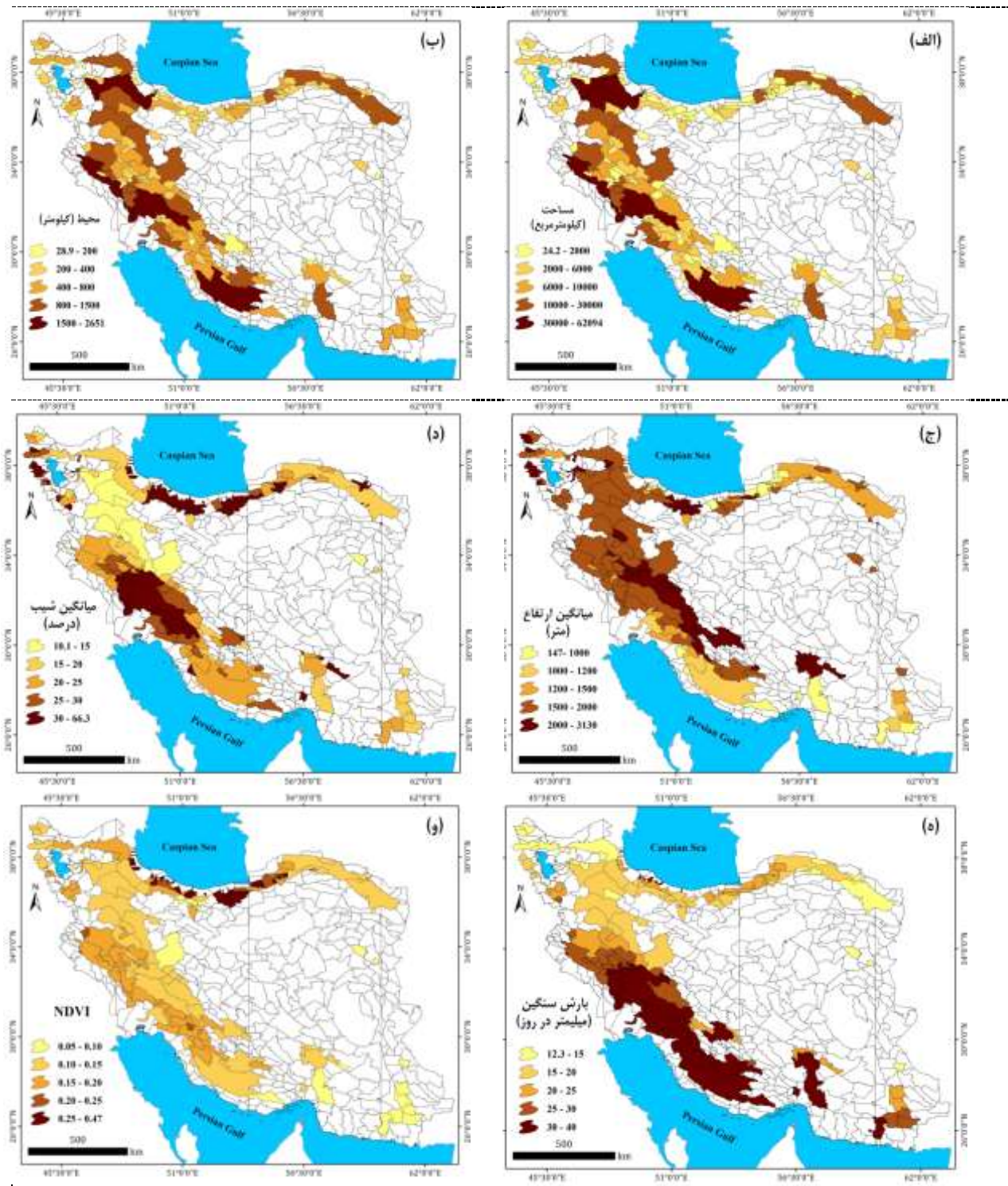
Figure 3. Spatial distribution (a) and histogram (b) of flood peak discharge with a return period of 100 years in the study watershed (Authors, 2021)

عوامل تأثیرگذار بر سیلاب

عوامل تأثیرگذار احتمالی دبی پیک سیلاب براساس مطالعات داخلی و خارجی پیشین و دسترسی داده‌ها، انتخاب و محاسبه شدند:

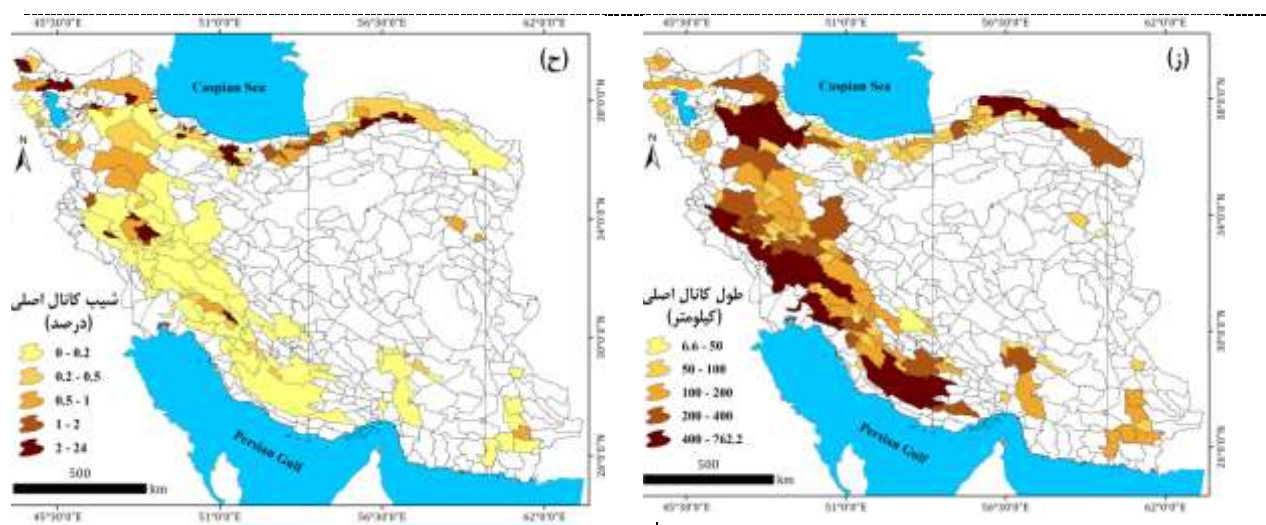
نتایج مساحت حوضه‌های بالادست ایستگاههای هیدرومتری مطالعه‌شده به شرح شکل ۴- الف است. یافته‌ها نشان می‌دهد مساحت حوضه‌ها طیف گسترده‌ای از ۲۴/۲ تا ۶۲۰۹۴ کیلومترمربع با میانگین ۵۱۸۰ کیلومترمربع دارد. بزرگ‌ترین مساحت‌ها به حوضه‌های شمال غربی، غربی و جنوب غربی با مساحتی بیش از ۳۰۰۰۰ کیلومترمربع مربوط است. در این زمینه، کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین مساحت حوضه بالادست ایستگاههای هیدرومتری به ایستگاههای درکه و اهواز مربوط است. یافته‌های محیط حوضه‌های بالادست ایستگاههای هیدرومتری مطالعه‌شده به شرح شکل ۴- ب است. نتایج حاکی از آن است که محیط حوضه‌ها از ۲۸/۹ تا ۲۶۵۱ کیلومتر متغیر است. میانگین و میانۀ محیط حوضه‌ها به ترتیب ۴۴۵ و ۲۶۱ کیلومتر است و مانند پارامتر مساحت حوضه، حوضه‌های جنوب غربی ماکزیمم مقدار محیط را دارند.

میانگین ارتفاع حوضه با تأثیر بر دمای هوا و نوع بارش (برف یا باران) تأثیر مهمی بر شدت سیلاب دارد (Wang et al., 2017: 1). نتایج میانگین ارتفاع حوضه‌ها مؤید آن است که این پارامتر در محدوده ۱۴۷ تا ۳۱۳۰ متر نسبت به سطح دریای آزاد تغییر می‌کند (شکل ۴- ج). حوضه‌های با حداکثر ارتفاع اکثراً در شمال، شمال غرب، غرب و جنوب غرب واقع شده‌اند. از سوی دیگر، حوضه‌های با حداقل ارتفاع عموماً در جنوب کشور قرار گرفته‌اند. میانگین و میانۀ این پارامتر به ترتیب ۱۸۰۳ و ۱۸۵۱ متر است و حوضه جیرفت در استان کرمان ماکزیمم ارتفاع را در بین حوضه‌های مطالعاتی دارد. شیب حوضه با تأثیری که بر سرعت جریان و مقدار نفوذ آب سطحی می‌گذارد، می‌تواند یکی از پارامترهای مؤثر بر دبی پیک سیلاب در نظر گرفته شود (El-Hames, 2012: 2). در این زمینه، نتایج میانگین شیب حوضه‌های مطالعاتی به شرح شکل ۴- د است. این یافته‌ها نشان می‌دهد حوضه سلامت‌آباد در استان کردستان با میانگین شیب ۱۰/۱ درصد و حوضه دره تخت در استان لرستان با میانگین شیب ۶۶/۳ درصد حداقل و حداکثر شیب را در بین حوضه‌های مطالعه‌شده دارند. از سوی دیگر، حوضه‌هایی با شیب بیش از ۳۰ درصد اکثراً در شمال و جنوب غرب ایران منطبق بر دو رشته‌کوه زاگرس و البرز واقع شده‌اند.



شکل ۴. توزیع فضایی عوامل تأثیرگذار انتخاب شده بر دبی پیک سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در حوضه‌های مطالعاتی (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Figure 4. Spatial distribution of the adopted factors affecting the flood peak discharge with a return period of 100 years in the study watersheds (Authors, 2021)



شکل ۴. ادامه (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Figure 4. Continued (Authors, 2021)

بارش سنگین یکی از مهم‌ترین پارامترهای دبی پیک و سیلاب‌های مخرب در مطالعات پیشین در نظر گرفته شده است (برای نمونه در پژوهش Tang et al., 2021: 1). این مؤلفه براساس صدک ۹۵ بارش روزانه (بدون در نظر گرفتن روزهایی که بارندگی رخ نداده است) محاسبه می‌شود (Gu et al., 2017: 2). نتایج توضیح فضایی بارش سنگین در شکل ۴-ه نشان داده شده است. یافته‌ها حاکی است که بارش سنگین بین ۱۲/۳ تا ۴۰ میلی‌متر در روز متغیر است و حوضه‌های جنوب غربی و جنوبی ایران با بارش سنگین بیش از ۳۰ میلی‌متر در روز از ماکزیمم مقدار برخوردارند. این پارامتر با حرکت به سمت مناطق شمالی و شمال غربی کاهش می‌یابد؛ به طوری که حداقل آن در شمال آذربایجان غربی رخ می‌دهد. نقش پوشش گیاهی مناسب یک حوضه در کاهش سیلاب در مطالعات متعددی اثبات شده است (برای نمونه در Machado et al., 2019: 3). در این پژوهش برای محاسبه تراکم درازمدت پوشش گیاهی از شاخص NDVI استفاده و نتایج آن گزارش شد (شکل ۴-و). یافته‌ها نشان می‌دهد میانگین درازمدت سالانه NDVI بین ۰/۰۵ تا ۰/۴۷ تغییر می‌کند و حوضه‌های شمالی ایران که منطبق بر رشته‌کوه البرز هستند، با مقدار NDVI بیش از ۰/۲۵ ماکزیمم پوشش گیاهی را در بین حوضه‌های مطالعه‌شده دارند. حداقل پوشش گیاهی نیز به استان سیستان و بلوچستان مربوط است که علت اصلی آن بارش ناکافی در این منطقه است.

نتایج طول رودخانه اصلی در حوضه‌های مطالعه‌شده به شرح شکل ۴-ز است. این نتایج مؤید آن است که رودخانه اصلی حوضه سفیدرود که به دریای خزر منتهی می‌شود، با طول ۷۶۲/۲ کیلومتر حداکثر طول را در بین مناطق مطالعه‌شده دارد؛ علاوه بر این حوضه‌های جنوب غربی کشور که به خلیج فارس منتهی می‌شود، با طول رودخانه اصلی بیش از ۴۰۰ کیلومتر، جزو حوضه‌هایی با طول زیاد رودخانه اصلی محسوب می‌شوند. نتایج همچنین نشان می‌دهد میانگین و میانه این پارامتر به ترتیب ۱۲۱ و ۶۵ کیلومتر است. شیب رودخانه اصلی نیز به مثابه آخرین پارامتر احتمالی تأثیرگذار بر دبی پیک سیلاب در نظر گرفته شد. نتایج توزیع فضایی این پارامتر به شرح شکل ۴-ح است. نتایج نشان می‌دهد بیش از نیمی از حوضه‌ها شیب کانال اصلی کمتر از ۰/۲ درصد دارند. حوضه‌های با شیب رودخانه اصلی بیش از

۲ درصد اکثراً منطبق بر رشته‌کوه البرز هستند و ماکزیمم مقدار آن با ارزش ۲۴/۵ درصد به حوضه‌های باش‌محل در استان گیلان مربوط است. همان‌طور که در بالا نشان داده شد، این مطالعه از حوضه‌های متعددی با طیف گسترده‌ای از آب‌وهوا، پوشش گیاهی و ویژگی‌های ژئومورفیک استفاده کرده است؛ بنابراین نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، مدل‌هایی مطمئن و پرکاربرد به‌منظور مدل‌سازی دبی پیک سیلاب برای حوضه‌های فاقد آمار ارائه می‌کند.

تحلیل همبستگی دومتغیره

نتایج تحلیل دومتغیره پیرسون براساس داده‌های اولیه به شرح جدول ۱ است. یافته‌ها حاکی است که دبی پیک ۱۰۰ساله سیلاب ماکزیمم ارتباط را با مساحت (۰/۵۸۸) دارد که توسط طول رودخانه اصلی (۰/۵۴۰) و محیط (۰/۴۸۰) دنبال می‌شود. نتایج ارائه‌شده در جدول ۱ همچنین نشان می‌دهد بارش سنگین با مقدار ۰/۴۵۰، رابطه‌ای قوی و مستقیم با دبی پیک سیلاب دارد. از سوی دیگر پوشش گیاهی با مقدار ۰/۱۸۷- و ارتفاع با مقدار ۰/۲۵۰-، رابطه‌ای معکوس با دبی پیک سیلاب دارند.

جدول ۱. ماتریس همبستگی دومتغیره پیرسون بین متغیرهای مطالعه‌شده (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Table 1. Pearson bivariate correlation matrix between the studied variables (Authors, 2021)

S_R	L_R	NDVI	P_{95}	S	EL	P	A	Q_{100}	متغیر	
								1.00	Q_{100}	
							1.00	0.558**	A	
						1.00	0.954**	0.480**	P	
					1.00	-0.152*	-0.100	-0.250**	EL	
				1.00	0.207**	0.318**	0.234**	0.130	S	
			1.00	0.105	-0.252**	0.173*	0.083	0.450**	P_{95}	
		1.00	0.112	-	-0.517**	-0.162*	-0.123	-0.187**	NDVI	
	1.00	0.141*	0.180**	0.277**	-0.163*	0.970**	0.936**	0.540**	L_R	
1.00	-0.230**	0.245**	-0.046	-	-0.234**	-0.146*	-0.234	-0.165	-0.185**	S_R

Q_{100} = دبی پیک ۱۰۰ساله سیلاب، A = مساحت حوضه، P = محیط حوضه، EL = میانگین ارتفاع حوضه، S =

میانگین شیب حوضه، P_{95} = بارش سنگین حوضه، NDVI = تراکم پوشش گیاهی، L_R = طول رودخانه اصلی، S_R =

شیب رودخانه اصلی، * = معناداری در سطح ۹۵ درصد و ** = معناداری در سطح ۹۹ درصد

تحلیل رگرسیون گام‌به‌گام

در این مطالعه برای انتخاب بهترین مدل‌های تخمین دبی پیک سیلاب از روش گام‌به‌گام استفاده شد. برای دستیابی به نتایج مطلوب و انتخاب مدل بهینه، چهار معیار ارزیابی ضریب تعیین تعدیل‌شده (R^2)، خطای برآورد استاندارد (SE)، معیار اطلاعات آکائیک (AIC) و فاکتور تورم واریانس (VIF) ارزیابی شد. از سوی دیگر، با توجه به اینکه دبی پیک سیلاب در حالت غیرخطی ارتباط بهتری با عوامل کنترل‌کننده داشت، پیش از مدل‌سازی گام‌به‌گام، لگاریتم متغیرهای وابسته و مستقل گرفته شد تا به حالت غیرخطی تبدیل شوند. معادلات و معیارهای ارزیابی برای ۵

مدل گام‌به‌گام در جدول ۲ نشان داده شده است. این معادلات به‌طور آماری و برپایهٔ آزمون‌های T و F در سطح ۹۹ درصد معنادارند. یافته‌های ارائه‌شده در جدول ۲ نشان می‌دهد مدل ۵ که شامل ۵ عامل مساحت حوضه، بارش سنگین، ارتفاع، پوشش گیاهی و شیب حوضه با ضریب تعدیل تعیین‌شدهٔ ۰/۷۲ است، بهترین عملکرد را در تخمین دبی پیک سیلاب دارد؛ علاوه بر این نتایج نشان می‌دهد سه عامل مساحت حوضه، بارش سنگین و شیب با دبی پیک رابطهٔ مستقیم، ولی ارتفاع و پوشش گیاهی رابطهٔ معکوس دارند. از آنجا که مدل گام‌به‌گام از آزمون تشخیص هم‌خطی چندگانه استفاده می‌کند، متغیرهای محیط حوضه و طول رودخانهٔ اصلی از مدل حذف شدند؛ به دلیل آنکه این دو پارامتر همبستگی زیادی با پارامتر مساحت حوضه دارند.

وجود ارتباط معکوس بین ارتفاع و دبی پیک سیلاب مؤید آن است که افزایش یا کاهش ارتفاع یک حوضه با کاهش یا افزایش دادن دمای حوضه، نقشی معکوس در رخداد سیلاب دارند؛ به بیان دیگر در حوضه‌هایی که ارتفاع بیشتری دارند، دمای هوا کاهش می‌یابد و بارش اکثراً به شکل برف رخ می‌دهد و از آنجایی که برف به‌صورت تدریجی ذوب می‌شود، دبی پیک سیلاب کاهش می‌یابد. پوشش گیاهی نیز مانند ارتفاع ارتباطی معکوس را با دبی پیک سیلاب در مدل‌های ارائه‌شده نشان می‌دهد. در واقع با افزایش پوشش گیاهی حوضه، میزان نفوذ آب‌های سطحی افزایش و دبی پیک سیلاب کاهش می‌یابد؛ برای نمونه در حوضه‌های شمال و شمال غربی ایران که پوشش گیاهی به دلیل بارش مناسب و کافی زیاد است، دبی پیک سیلاب کاهش می‌یابد، ولی در حوضه‌های جنوب و جنوب شرقی ایران که میزان بارش کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر در سال است، پوشش گیاهی به کمترین میزان ممکن می‌رسد.

جدول ۲. نتایج تحلیل رگرسیون گام‌به‌گام و معیارهای ارزیابی برای تخمین دبی اوج سیلاب با دورهٔ بازگشت ۱۰۰ ساله در ۲۰۶

حوضهٔ آبریز ایران (همهٔ متغیرها در سطح ۹۹ درصد معنادار هستند) (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Table 2. Results of stepwise regression analysis and evaluation criteria for estimating the flood peak discharge with a return period of 100 years in 206 Iran's catchments (all variables are significant at 99% level) (Authors, 2021)

معیارهای ارزیابی مدل				معادلهٔ مدل	مدل
SE	VIF	AIC	Adjusted R^2		
0.40	1.00	218.04	0.56	$Q_{100} = 6.918 \times A^{0.59}$	۱
0.34	1.05	145.83	0.69	$Q_{100} = 0.085 \times A^{0.53} \times P_{95}^{1.57}$	۲
0.33	1.10	140.88	0.70	$Q_{100} = 1.364 \times A^{0.53} \times P_{95}^{1.47} \times EL^{-0.33}$	۳
0.32	1.46	135.04	0.71	$Q_{100} = 9.183 \times A^{0.50} \times P_{95}^{1.51} \times EL^{-0.53} \times NDVI^{-0.91}$	۴
0.32	1.62	132.74	0.72	$Q_{100} = 7.798 \times A^{0.53} \times P_{95}^{1.40} \times EL^{-0.63} \times NDVI^{-1.14} \times S_B^{0.35}$	۵

Q_{100} = دبی پیک ۱۰۰ سالهٔ سیلاب، A = مساحت حوضه، P_{95} = بارش سنگین حوضه، EL = میانگین ارتفاع

حوضه، $NDVI$ = تراکم پوشش گیاهی و S = میانگین شیب حوضه، R^2 = ضریب تعدیل شده، SE = خطای برآورد

استاندارد، AIC = معیار اطلاعات آکائیک و VIF = فاکتور تورم واریانس

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که مساحت حوضه با دبی پیک سیلاب رابطه‌ای مستقیم دارد. این حقیقت را پژوهشگران مختلفی ثابت کرده‌اند؛ برای نمونه Fu et al. (2008) رابطه‌ای مستقیم بین دبی پیک سیلاب و مساحت حوضه در ۲۰ حوضه چین براساس یک رابطه تجربی به دست آوردند. (Jahangir et al. (2019 بیان کردند که مساحت حوضه در بیشتر حوضه‌های ایران، یکی از عوامل ایجادکننده سیلاب است. همچنین این یافته که بارش سنگین ارتباطی مستقیم در تولید سیلاب دارد، با مطالعات پیشین سازگار است. (Liu et al. (2017 عوامل مؤثر بر دبی پیک سیلاب را در جنوب غربی چین بررسی و چنین استنباط کردند که در بین عوامل بررسی شده (ارتفاع، شیب، نوع خاک، بارش سنگین و فعالیت‌های انسانی)، بارش‌های سنگین مهم‌ترین عامل است. در مطالعه دیگری، (Tang et al. (2021 نشان دادند که بارش سنگین روزانه یکی از ۵ عامل اصلی تأثیرگذار بر سیلاب است. در ایران نیز، (Ghavidel and Hombari (2019 استنباط کردند که بارش‌های سنگین در مناطق جنوب غربی ایران سبب ایجاد سیلاب‌های مخرب در سال ۲۰۱۹ شده است. همچنین (Lashkari et al. (2020 منبع رطوبت بارش‌های سنگین را در جنوب ایران بررسی کردند و گزارش دادند که در جنوب ایران، سیلاب‌های شدید توسط بارش سنگین رخ می‌دهد.

نتایج این پژوهش نشان داد که دبی پیک سیلاب با تراکم پوشش گیاهی رابطه‌ای معکوس دارد. این نوع رابطه را (Machado et al. (2019 نیز بیان کرده‌اند. جایی که آنها نقش پوشش گیاهی را در کنترل سیلاب در سالوادور بررسی کردند و گزارش دادند که از بین ۲۳۸۶ سیلی که بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۳ در سالوادور رخ داده است، ۹۹/۳ درصد آنها در مناطقی بودند که زمین فاقد پوشش گیاهی بوده است. در واقع فقط ۱۷ سیل از بین ۲۳۸۶ سیل رخ داده به مناطقی مربوط بوده که زمین پوشش گیاهی کافی داشته است. در پژوهشی دیگر، (Khosravi et al. (2016 از تکنیک ^۱AHP استفاده کردند و گزارش دادند که پوشش گیاهی یکی از عوامل مؤثر بر سیلاب در حوضه هراز در شمال ایران است.

این حقیقت که رابطه‌ای مستقیم بین میانگین شیب حوضه و دبی پیک سیلاب وجود دارد، در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است؛ برای نمونه (EL-Hames (2012 رابطه‌ای تجربی به‌منظور تخمین دبی پیک سیلاب برای ۷۶ رویداد سیلاب در چهار حوضه خشک و مدیترانه‌ای در عربستان سعودی، آمریکا، عمان و اسرائیل به دست آورد. نتایج نشان داد که دبی پیک سیلاب در این مناطق ارتباطی مستقیم با شیب و مساحت حوضه دارد. از سوی دیگر، (Shahabi et al. (2021 در پژوهشی چنین بیان کردند که زاویه شیب اثری مستقیم بر رویدادهای سیلاب ایران دارد. همچنین تأثیر معکوس ارتفاع و دبی پیک سیلاب در مطالعات متعددی اثبات شده است؛ برای نمونه (Wang et al. (2017 با بررسی عوامل مؤثر بر سیلاب شهری به این نتیجه رسیدند که شدت سیلاب رابطه‌ای معکوس با ارتفاع دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج برآورد دبی پیک سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ساله در ۲۰۶ حوضه دارای داده‌های حداکثر دبی لحظه‌ای سالانه بلندمدت (بیش از ۳۰ سال) نشان داد که حوضه‌های جنوب غربی، جنوبی و جنوب شرقی به دلایلی نظیر وسعت زیاد، بارش سنگین، پوشش گیاهی ناکافی، شیب تند و ارتفاع کم نسبت به سایر حوضه‌های مطالعاتی قادرند دبی پیک سیلاب با حجم زیاد تولید کنند؛ بنابراین این حوضه‌ها بیشترین آسیب‌پذیری را در بین حوضه‌های مطالعاتی دارند که خسارات جانی و مالی در آنها بیش از حوضه‌های دیگر است. از سوی دیگر، با توجه به سناریوهای افزایش سیلاب‌های مخرب تحت تأثیر تغییرات آب‌وهوایی، انتظار می‌رود روند افزایش سیلاب‌های ویرانگر به‌ویژه در حوضه‌های جنوبی و جنوب غربی که بیشترین بارش سنگین را تحمل می‌کنند، نسبت به مناطق دیگر چشمگیر باشد. به دلیل آنکه بعضی از حوضه‌های مستعد سیلاب در ایران فاقد داده‌های حداکثر دبی لحظه‌ای سالانه هستند و از سوی دیگر، مدل ارائه‌شده در این پژوهش توانست با دقت تقریباً مناسب دبی پیک سیلاب را برای ۲۰۶ حوضه تخمین بزند، این مدل می‌تواند نقطه عطفی در مدل‌سازی دبی پیک سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ساله در نظر گرفته شود. با توجه به این مدل، پژوهشگران می‌توانند براساس ۵ عامل اصلی حوضه یعنی مساحت، بارش سنگین، پوشش گیاهی، متوسط ارتفاع و متوسط شیب، مقدار دبی پیک سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ساله را برای حوضه‌های فاقد آمار با دقت تقریباً قابل قبول برآورد کنند. گفتنی است که محاسبه دبی پیک سیلاب برای حوضه‌های فاقد آمار به‌منظور انجام فرایندها و اقدامات بعدی مانند شبیه‌سازی پهنا، سرعت و عمق جریان با مدل‌های هیدرولیکی ۱ و ۲ بُعدی ضروری است. این حقیقت که پوشش گیاهی نقش زیادی در کاهش دبی پیک سیلاب در حوضه‌های ایران دارد، می‌تواند راهنمای مدیران حوضه آبریز باشد؛ به بیان دیگر مسئولان باید در کنار توجه به سازه‌ها و مهندسی رودخانه، پوشش گیاهی را به‌مثابه یکی از اصول اساسی در عملیات آب‌خیزداری برای مدیریت سیلاب در حوضه‌های ایران تقویت کنند.

انجام پژوهش‌های مشابه به‌منظور تحلیل عوامل مؤثر بر وقوع دبی اوج سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف و ارائه رابطه رگرسیونی ساده به‌منظور تخمین سیلاب در سطح کلان می‌تواند برای تخمین اولیه دبی به‌ویژه در حوضه‌های آبریز فاقد داده‌های هیدرولوژیکی ثبت‌شده، ابزار کارآمدی باشد؛ علاوه بر اینکه نقشه راهی برای مدیران حوضه‌های آبریز در مدیریت بهتر عوامل مؤثر بر وقوع سیلاب‌ها در سطح حوضه است.

تشکر و قدردانی

این پژوهش بخشی از پروژه «تحلیل فراوانی و مدل‌سازی دبی‌های پیک سیلاب در حوضه‌های آبریز کشور» تحت حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور با شماره ۹۸۰۲۷۲۱۸ است. نویسندگان لازم می‌دانند از زحمات دکتر ایمان افتخاری، رئیس محترم صندوق، و کارکنان صندوق قدردانی کنند؛ همچنین از سازمان مدیریت منابع آب و سازمان هواشناسی به دلیل در اختیار گذاشتن داده‌های حداکثر دبی لحظه‌ای سالانه و بارش روزانه، و از داوران محترم که با نظرات ارزشمندشان سبب بهبود کیفیت مقاله شدند.

منابع

- حسینی، سید موسی، جعفریگللو، منصور، گراوند، فاطمه، (۱۳۹۴). تعیین پهنه‌های سیل‌گیر رود کشکان با استفاده از مدل هیدرولیکی به‌منظور کاهش مخاطرات سیل، مجله مخاطرات محیطی، دوره ۲، شماره ۳، صص ۳۵۵-۳۶۹. Doi: 10.22059/jhsci.2015.58102
- گراوند، فاطمه، (۱۳۹۴). تحلیل هیدرولوژیکی رودخانه کشکان‌رود در زیرحوضه شیراوند و تعیین مرز سیلاب‌دشت، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: حسینی، موسی، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا.

References:

- Adhikari, P., Hong, Y., Douglas, K. R., Kirschbaum, D. B., Gourley, J., Adler, R., & Brakenridge, G. R. (2010). A digitized global flood inventory (1998–2008): Compilation and preliminary results. *Journal of Natural Hazards*, 55(2), 405-422. Doi: 10.1007/s11069-010-9537-2
- Ahern, M., Kovats, R. S., Wilkinson, P., Few, R., & Matthies, F. (2005). Global health impacts of floods: Epidemiologic evidence. *Journal of Epidemiologic Reviews*, 27(1), 36-46. Doi: 10.1093/epirev/mxi004
- Bennett, B., Leonard, M., Deng, Y., & Westra, S. (2018). An empirical investigation into the effect of antecedent precipitation on flood volume. *Journal of Hydrology*, 567, 435-445. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2018.10.025
- Chang, H. S., & Chen, T. L. (2016). Spatial heterogeneity of local flood vulnerability indicators within flood-prone areas in Taiwan. *Environmental Earth Sciences*, 75(23), 1-14. Doi: 10.1007/s12665-016-6294-x
- Chau, K. W. (2017). *Use of meta-heuristic techniques in rainfall-runoff modelling*. Basel, Switzerland: Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Chuntian, C., & Chau, K. W. (2002). Three-person multi-objective conflict decision in reservoir flood control. *European Journal of Operational Research*, 142(3), 625-631. Doi: 10.1016/S0377-2217(01)00319-8
- Croke, J., Thompson, C., & Fryirs, K. (2017). Prioritising the placement of riparian vegetation to reduce flood risk and end-of-catchment sediment yields: Important considerations in hydrologically-variable regions. *Journal of Environmental Management*, 190, 9-19. Doi: 10.1016/j.jenvman.2016.12.046
- Doocy, S., Daniels, A., Packer, C., Dick, A., & Kirsch, T. D. (2013). The human impact of earthquakes: A historical review of events 1980-2009 and systematic literature review. *Journal of Plos Currents*, 5. Doi: 10.1371/currents.dis.67bd14fe457f1db0b5433a8ee20fb833
- El-Hames, A. S. (2012). An empirical method for peak discharge prediction in ungauged arid and semi-arid region catchments based on morphological parameters and SCS curve number. *Journal of Hydrology*, 456, 94-100. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.06.016
- Ezemonye, M. N., & Emeribe, C. N. (2011). Flood characteristics and management adaptations in parts of the Imo river system. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*, 4(3), 56-64. Doi: 10.4314/ejesm.v4i3.8
- Falah, F., Rahmati, O., Rostami, M., Ahmadisharaf, E., Daliakopoulos, I. N., & Pourghasemi, H. R., (2019). Artificial neural networks for flood susceptibility mapping in data-scarce urban areas, In *Spatial modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences* (pp. 323-336). Elsevier.

- Feng, L. H., & Lu, J. (2010). The practical research on flood forecasting based on artificial neural networks. *Journal of Expert Systems with Applications*, 37(4), 2974-2977. Doi: 10.1016/j.eswa.2009.09.037
- FitzGerald, G., Du, W., Jamal, A., Clark, M., & Hou, X. (2010). Flood fatalities in contemporary Australia (1997–2008). *Journal of Emergency Medicine Australasia*, 22(2), 180-186. Doi: 10.1111/j.1742-6723.2010.01284.x
- Fu, S., Wei, X., & Zhang, G. (2008). Estimation of peak flows from small watersheds on the Loess Plateau of China. *Hydrological Processes*, 22(21), 4233-4238. doi: 10.1002/hyp.7030
- Ghavidel, Y., & Hombari, F. J. (2020). Synoptic analysis of unexampled super-heavy rainfall on April 1, 2019, in west of Iran. *Journal of Natural Hazards*, 104(2), 1567-1580. Doi: 10.1007/s11069-020-04232-0
- Gu, X., Zhang, Q., Singh, V. P., & Shi, P. (2017). Changes in magnitude and frequency of heavy precipitation across China and its potential links to summer temperature. *Journal of Hydrology*, 547, 718-731. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2017.02.041
- Haghizadeh, A., Siahkamari, S., Haghiabi, A. H., & Rahmati, O. (2017). Forecasting flood-prone areas using Shannon's entropy model. *Journal of Earth System Science*, 126(3), 1-11. Doi: 10.1007/s12040-017-0819-x
- Haynes, K., Coates, L., van den Honert, R., Gissing, A., Bird, D., de Oliveira, F. D., ... & Radford, D. (2017). Exploring the circumstances surrounding flood fatalities in Australia—1900–2015 and the implications for policy and practice. *Journal of Environmental Science & Policy*, 76, 165-176. Doi: 10.1016/j.envsci.2017.07.003
- Herget, J., Roggenkamp, T., & Krell, M. (2014). Estimation of peak discharges of historical floods. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(10), 4029-4037. Doi: 10.5194/hess-18-4029-2014
- Jahangir, M. H., Reineh, S. M. M., & Abolghasemi, M. (2019). Spatial predication of flood zonation mapping in Kan River Watershed, Iran, using artificial neural network algorithm. *Journal of Weather and Climate Extremes*, 25, 100215. Doi: 10.1016/j.wace.2019.100215
- Khosravi, K., Panahi, M., Golkarian, A., Keesstra, S. D., Saco, P. M., Bui, D. T., & Lee, S. (2020). Convolutional neural network approach for spatial prediction of flood hazard at national scale of Iran. *Journal of Hydrology*, 591, 125552. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.125552
- Khosravi, K., Pourghasemi, H. R., Chapi, K., & Bahri, M. (2016). Flash flood susceptibility analysis and its mapping using different bivariate models in Iran: A comparison between Shannon's entropy, statistical index, and weighting factor models. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 188(12), 1-21. Doi: 10.1007/s10661-016-5665-9
- Kirch, W., Menne, B., & Bertollini, R. (Eds.) (2005). *Extreme weather events and public health responses*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Lashkari, H., Mohammadi, Z., & Jafari, M. (2020). Investigation on dynamical structure and moisture sources of heavy precipitation in south and south-west of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(21), 1-15. Doi: 10.1007/s12517-020-06097-w
- Lee, S., & Vink, K. (2015). Assessing the vulnerability of different age groups regarding flood fatalities: Case study in the Philippines. *Journal of Water Policy*, 17(6), 1045-1061. Doi: 10.2166/wp.2015.089
- Liu, D., Fan, Z., Fu, Q., Li, M., Faiz, M. A., Ali, S., ... & Khan, M. I. (2020). Random forest regression evaluation model of regional flood disaster resilience based on the whale optimization algorithm.

- Journal of Cleaner Production*, 250, 119468. Doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119468
- Liu, Y., Yuan, X., Guo, L., Huang, Y., & Zhang, X. (2017). Driving force analysis of the temporal and spatial distribution of flash floods in Sichuan Province. *Journal of Sustainability*, 9(9), 1527. Doi: 10.3390/su9091527
- Machado, R. A. S., Oliveira, A. G., & Lois-González, R. C. (2019). Urban ecological infrastructure: The importance of vegetation cover in the control of floods and landslides in Salvador/Bahia. Brazil. *Journal of Land Use Policy*, 89, 104180. Doi: 10.1016/j.landusepol.2019.104180
- Mallakpour, I., Villarini, G., Jones, M. P., & Smith, J. A. (2017). On the use of Cox regression to examine the temporal clustering of flooding and heavy precipitation across the central United States. *Journal of Global and Planetary Change*, 155, 98-108. Doi: 10.1016/j.gloplacha.2017.07.001
- Miceli, R., Sotgiu, I., & Settanni, M. (2008). Disaster preparedness and perception of flood risk: A study in an alpine valley in Italy. *Journal of Environmental Psychology*, 28(2), 164-173. Doi: 10.1016/j.jenvp.2007.10.006
- Norouzi, G., & Taslimi, M. (2012). The impact of flood damages on production of Iran's agricultural sector. *Middle East Journal of Scientific Research*, 12(7), 921-926. Doi: 10.5829/idosi.mejsr.2012.12.7.1783
- Ogato, G. S., Bantider, A., Abebe, K., & Geneletti, D. (2020). Geographic information system (GIS)-Based multicriteria analysis of flooding hazard and risk in Ambo Town and its watershed, West shoa zone, oromia regional State, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 27, 100659. Doi: 10.1016/j.ejrh.2019.100659
- Sadeghi-Pouya, A., Nouri, J., Mansouri, N., & Kia-Lashaki, A. (2017). An indexing approach to assess flood vulnerability in the western coastal cities of Mazandaran, Iran. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 22, 304-316. Doi: 10.1016/j.ijdr.2017.02.013
- Saksena, S., & Merwade, V. (2015). Incorporating the effect of DEM resolution and accuracy for improved flood inundation mapping. *Journal of Hydrology*, 530, 180-194. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2015.09.069
- Salvati, P., Petrucci, O., Rossi, M., Bianchi, C., Pasqua, A. A., & Guzzetti, F. (2018). Gender, age and circumstances analysis of flood and landslide fatalities in Italy. *Science of the Total Environment*, 610, 867-879. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.064
- Seckin, N., & Guven, A. (2012). Estimation of peak flood discharges at ungauged sites across Turkey. *Journal of Water Resources Management*, 26(9), 2569-2581. Doi: 10.1007/s11269-012-0033-1
- Shabanikiya, H., Seyedin, H., Haghani, H., & Ebrahimian, A. (2014). Behavior of crossing flood on foot, associated risk factors and estimating a predictive model. *Journal of Natural Hazards*, 73(2), 1119-1126. Doi: 10.1007/s11069-014-1124-5
- Shahabi, H., Shirzadi, A., Ronoud, S., Asadi, S., Pham, B. T., Mansouripour, F., ... & Bui, D. T. (2021). Flash flood susceptibility mapping using a novel deep learning model based on deep belief network, back propagation and genetic algorithm. *Journal of Geoscience Frontiers*, 12(3), 101100. Doi: 10.1016/j.gsf.2020.10.007
- Smith, K. (2013). *Environmental hazards: Assessing risk and reducing disaster*. Routledge.
- Tang, J., Li, Y., Cui, S., Xu, L., Hu, Y., Ding, S., & Nitivattananon, V. (2021). Analyzing the spatiotemporal dynamics of flood risk and its driving factors in a coastal watershed of southeastern

- China. *Journal of Ecological Indicators*, 121, 107134. Doi: 10.1016/j.ecolind.2020.107134
- Turgut, A., & Tevfik, T. (2012). Floods and drowning incidents by floods. *World Applied Sciences Journal*, 16(8), 1158-1162.
- Wang, C., Du, S., Wen, J., Zhang, M., Gu, H., Shi, Y., & Xu, H. (2017). Analyzing explanatory factors of urban pluvial floods in Shanghai using geographically weighted regression. *Journal of Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 31(7), 1777-1790. Doi: 10.1007/s00477-016-1242-6
- Yari, A., Ardalan, A., Ostadtaghizadeh, A., Zarezadeh, Y., Boubakran, M. S., Bidarpoor, F., & Rahimiforoushani, A. (2019). Underlying factors affecting death due to flood in Iran: A qualitative content analysis. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 40, 101258. Doi: 10.1016/j.ijdr.2019.101258
- Zorn, C. R., & Shamseldin, A. Y. (2015). Peak flood estimation using gene expression programming. *Journal of Hydrology*, 531, 1122-1128. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2015.11.018