Research Paper

Investigation of Effecting Factors on Flooding in Mahneshan-Angoran Watershed, Iran

Fereshteh Modaresi [1], Anis Hasani[2], Kumars Ebrahimi [3*]

[1] Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Email: FModaresi@um.ac.ir

[2] MSc in Water Resources Engineering, Department of Irrigation & Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: Anis.Hasani@ut.ac.ir

[3] Professor, Department of Renewable Energies and Environmental Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: EbrahimiK@ut.ac.ir

10.22125/IWE.2022.263490.1457

Received:
September 23, 2022
Accepted:
February 6, 2023
Available online:
October 3, 2023

Keywords:
Hierarchical Analysis method, flooding map, Zanjan Province, CN, AHP

Abstract

Understanding the flood phenomenon and estimating flood potential play an important role in flood management and forecasting in any region. Due to the flood events in Mahneshan-Angoran watershed, located in Zanjan province, Central Iran, in this study, the effective factors on flooding in this watershed were investigated. For this purpose, with respect to the importance of the curve number (CN) map and its non-existence, first the CV map of the study area was created by combining the maps of soil, land use, Digital Elevation Model (DEM) and look up table in GIS environment. Then, using AHP method and based on the combined effects approach, appropriate weights were assigned to each of the effective factors including slope, slope direction, land use, curve number, branch ratio, drainage density, precipitation, basin length and basin lithology. The flood risk map was prepared from the overlap of the weighted layers in the GIS environment. The results of AHP method showed that the highest weight among the effective factors is equal to 0.326, which belongs to the factor of the basin Curve Number. Other effective factors are: land use, slope, precipitation, drainage density, branching ratio, basin length, slope direction and lithological factor, which respectively have weights affecting flooding equal to 0.174, 0.142, 0.118, 0.090, 0.051, 0.042, 0.042 and 0.016. The obtained flood map reveals that the western parts of the study area have a higher risk of flooding than the other parts of the basin while comparing the flood map with the maps of precipitation and elevation of the watershed indicates that due to higher altitude and more rainfall in the western sections, the risk of flooding in this part is serious, and preventive measures should be taken there.

[*] **Corresponding Author:** Kumars Ebrahimi
Address: Department of Renewable Energies and Environmental Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.
Email: EbrahimiK@ut.ac.ir
Tel: 989122576657

1. Introduction

Flood is one of the natural disasters in the world that causes many human and financial losses every year. In Iran, the second destructive event after the earthquake is the flood. The area of flood prone areas in the country is estimated to be around 91 million hectares; In other words, 55% of our country's surface has a direct role in the production of runoff, of which about 42% has moderate to very high flood intensity. More information about this phenomenon from various viewpoints of hydrometeorology, such as the basin management system, analysis of rainfall-runoff models, and determining flood zones, will not only reduce damages, but also lead to the prediction of flood phenomena. Due to the occurrence of many floods in the Mahnshan-Angoran watershed during the past years and also the lack of a curve number map for this area to carry out hydrological studies, in the present study, by calculating and using the morphological characteristics of this study area, a curve number map was created for it, which can be used for other researchers. Also, the physical and climatic factors affecting the occurrence of floods in this watershed have been examined, and by using the method of hierarchical analysis AHP and combining the effects of these factors, a flood risk map of this watershed has been prepared and assessed.

2. Materials and Methods

The Mahnshan-Angoran watershed is located in the west of Zanjan province and is one of the sub-basins of Sefidroud River which is located within the Mazandaran Sea basin. The long-term average rainfall in this area is equal to 251 mm and the most important river in this watershed is Ghazal-Ozun. The area of this watershed is about 4838.74 square kilometers and its perimeter is 331.87 kilometers. The maximum and minimum height of this area is 3278.56 and 1105.92 meters from the sea level, respectively. In this research, eight physical factors affecting the flooding of a basin include: curve number, land use, slope, slop direction, drainage network, branching ratio, the highest river in the basin and the lithology of the basin, as well as the climatic factor of precipitation have been investigated and mapped in GIS environment. Then, each of factors was weighted by the use of AHP Hierarchical Analysis based on the opinion of the researchers having information about the study area. Finally, the map of flooding potential was prepared for Mahneshan-Angoran watershed by overlapping the weighted map of the nine factors.

3. Results

Results showed that the Curve Number map of the study area has seven classes while the most and least area belongs to the classes of CV= 84 and CV= 68, respectively. Also, the obtained map of flood potential indicates that the western parts of the watershed have the highest potential for flooding. Since this part of the study area have the most precipitation and highest altitude, the risk of flooding in this part is serious, and preventive measures should be taken there.

4. Discussion and Conclusion

With respect to the results of this study, it can be concluded that Factors affecting the flooding of each region should be determined and investigated according to the morphology of the basin; because the factors affecting flooding are different according to the natural conditions and complexities of each basin.

5. Six Important references

1) Efanidis, S. and Stathis, D. 2013. Assessment of food hazard based on natural and anthropogenic factors using analytic hierarchy process (AHP). Nat Hazards, 68: 569–585.
2) Huang, W., Cao, Z, Huang, M., Duan, W., Ni, Y., Yang, w. 2019. A New Flash Flood Warning Scheme Based on Hydrodynamic Modelling, Journal of Water. *no.6*, 1221. https://doi.org/10.3390/w11061221
3) Madrasi, F. Iraqi-Najad, sh. 2013. Applied training of hydrological modeling of watershed in HEC-HMS and HEC-GeoHMS. Navavar publication, second edition, p. 304.

4) Mukand, N. M. D., Huynh, S. B. and T. Luong. 2011. Evaluation of food risk parameters in the Day River Flood Diversion Area, Red River Delta, Vietnam. Nat Hazards, 56: 169–194.
5) Souissi. D., Zouhri, L., Hammami, S., Msaddek, M. H., Zghibi, A.,Dlala, M. 2020. GIS-based MCDM – AHP modelling for flood susceptibility mapping of arid areas, south-eastern Tunisia, Journal of Geocarto International. 35:9, 991-1017. DOI: 10.1080/10106049.2019.1566405
6) Yang, X.L., Ding, J.H. and Hou, H. 2013. Application of a triangular fuzzy AHP approach for food risk evaluation and response measures analysis.2013. Nat Hazards, 68: 657–674.

Conflict of Interest
Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to the University of Tehran, Water Resources Management Company, Water Research Institute of the Ministry of Energy, and the National Meteorological Organization for providing the necessary facilities and data to conduct this research and prepare relevant articles.

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال جهاردهم. شماره پنجاه و سه . پاییز ۱۴۰۲

بررسی عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی حوضه آبریز ماهنشان-انگوران

فرشته مدرسی[۱]، انیس حسنی[۲]، کیومرث ابراهیمی[۳*]

تاریخ ارسال:۱۴۰۱/۰۷/۰۱
تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۱۱/۱۷

مقاله پژوهشی

چکیده

شناخت پدیده سیل و برآورد پتانسیل سیل‌خیزی نقش مهمی در مدیریت و پیش‌بینی سیلاب هر منطقه دارد. با توجه به سیل‌خیزی حوضه آبریز ماهنشان-انگوران استان زنجان، در این تحقیق عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی این حوضه مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. بدین منظور با توجه به اهمیت نقشه شماره منحنی و موجود نبودن آن، ابتدا نقشه شماره منحنی حوضه با تلفیق نقشه‌های خاک، کاربری اراضی، نقشه رقومی ارتفاع و جدول Look up در محیط GIS بدست آمد. سپس با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی AHP و بر پایهٔ اثرات ترکیبی به هر یک از عوامل شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، شماره منحنی، نسبت انشعاب، تراکم زهکشی، بارش، طول حوضه و سنگ‌شناسی حوضه وزن مناسب اختصاص یافت و از هم‌پوشانی لایه‌های وزن‌دار شده نقشه خطر سیل‌خیزی تهیه شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین وزن از بین عوامل مؤثر متعلق به عامل شماره منحنی حوضه و برابر با ۰/۳۲۶ می‌باشد. سایر عوامل مؤثر به ترتیب عبارتند از: کاربری اراضی، شیب، بارش، تراکم زهکشی، نسبت انشعاب، طول حوضه، جهت شیب و عامل سنگ‌شناسی که به‌ترتیب دارای وزن‌های مؤثر بر سیل‌خیزی برابر با ۰/۱۷۴، ۰/۱۴۲، ۰/۱۱۸، ۰/۰۹۰، ۰/۰۵۱، ۰/۰۴۲، ۰/۰۴۲ و ۰/۰۱۶ می‌باشند. نقشه سیل‌خیزی بدست آمده از این حوضه نشان داد که قسمت‌های غربی حوضه دارای سیل‌خیزی بالاتری هستند که مقایسه این نقشه با نقشه پهنه‌بندی بارش و نیز نقشه ارتفاع حوضه نشان می‌دهد که به علت وجود بارش و ارتفاع بیشتر در این بخش، خطر وقوع سیلاب در این بخش جدی است و لازم است اقدامات پیشگیرانه برای آن صورت گیرد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل سلسله مراتبی، نقشه سیل‌خیزی، استان زنجان، CN، AHP.

[۱] استادیار، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی آب.
[۲] فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی.
[۳*] استاد، دانشگاه تهران، دانشکده علوم و فنون نوین، گروه مهندسی محیط زیست و انرژی‌های تجدید پذیر. (نویسنده مسئول: (Email: EbrahimiK@ut.ac.ir

مقدمه

سیل یک حادثه طبیعی است، که سبب سرریز شدن آب به زمین‌هایی که در شرایط عادی خشک هستند، می‌شود (هوانگ[1] و همکاران، ۲۰۱۹). سیل از جمله بلایای طبیعی در جهان است که هر ساله خسارات جانی و مالی بسیاری ایجاد می‌کند. در ایران نیز دومین حادثه مخرب پس از زلزله، سیل است. تا به امروز هیچ کشوری صرف نظر از ثروت ملّی و پیشرفت تکنولوژی نتوانسته است نواحی سیل‌خیز خود را کاملاً از خطر محفوظ کند (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۳). در هیدرولوژی اگر چه نمی‌توان زمان دقیق وقوع یک پدیده مانند سیلاب را تعیین کرد، ولی می‌توان نحوه وقوع حوادث قبلی را بررسی و احتمال وقوع متوسط آن‌ها را به دست آورد و برنامه‌های مدیریت محیطی مانند طراحی سازه‌های کنترل را اجرا کرد (امیری و سعادت‌فر،۱۳۹۰). سطح مناطق سیل‌خیز کشور حدود ۹۱ میلیون هکتار برآورد شده است؛ به عبارتی ۵۵ درصد از سطح کشور ما در تولید رواناب مستقیماً نقش داشته که حدود ۴۲ درصد آن دارای شدت سیل‌خیزی متوسط تا خیلی زیاد است (شعبانلو و همکاران، ۱۳۸۷). شناخت هر چه بیشتر این پدیده از نقطه نظرهای مختلف هیدرومتئولوژی نظیر سامانه حوضه‌های آبریز، تحلیل مدل‌های بارش-رواناب و تعیین پهنه‌های سیل‌گیر نه تنها موجب کاهش خسارت‌ها بلکه منجر به پیش‌بینی پدیده سیل می‌شود (حاجی بیگلو، ۱۳۹۴). اگر چه سیل یک پدیده طبیعی بوده و تغییر پارامترهای جوّی امکان‌پذیر نمی‌باشد، امّا بررسی شدت سیل‌خیزی زیرحوضه‌های یک حوضه آبریز و تعیین مناطق با پتانسیل بالاتر در تولید سیل و همچنین تعیین عوامل مؤثر و مهم در شدت سیل تولید شده راهکاری مناسب و مؤثر جهت کنترل حجم خسارت‌های وارده خواهد بود (کاراندیش و همکاران، ۱۳۹۱). یکی از مشکلات اساسی در زمینه پیش‌بینی سیلاب عدم وجود داده‌های هیدرولوژیکی و اقلیمی در اغلب حوضه‌های آبخیز کشور است (شفیعی، ۱۳۹۲). میزان نفوذپذیری حوضه از فاکتورهای تاثیرگذار بر مقدار رواناب یک حوضه است. نمایه مربوط به خصوصیات حوضه، شمارهٔ منحنی نام دارد (ثروتی و همکاران، ۱۳۹۲). بهترین شاخص معرف وضعیت سیل‌خیزی و تولید رواناب و سیلاب، ضریب رواناب می‌باشد. بنابراین تهیه یک نقشه مناسب که بیش‌ترین شباهت را به واقعیت داشته باشد می‌تواند راهگشا در مسائل مدیریت سیل باشد (بهره‌مند و حاتمی‌گل‌مکانی، ۱۳۹۹). موکند[2] و همکاران (۲۰۱۱)، با استفاده از روش AHP و کمّی‌سازی میزان تاثیر عوامل مؤثر در سیل‌خیزی، به شناسایی عوامل مؤثر در خطر سیل در حوضه‌ای از ویتنام پرداختند. استفانیدیس و استاتیس[3] (۲۰۱۳)، با استفاده از روش سلسله مراتبی AHP به بررسی تأثیر عوامل طبیعی و عوامل مخل انسانی بر خطر سیل‌خیزی حوضه‌ای در شمال یونان پرداختند. آنان با در نظر گرفتن هفت عامل کاربری اراضی، فرسایش پذیری، شیب حوضه، شیب آبراهه اصلی، نفوذپذیری خاک، شکل حوضه و تراکم زهکشی به تهیه نقشهٔ خطر سیل‌خیزی این حوضه پرداختند. ملکیان و همکاران (۱۳۹۱)، در حوضه اخترآباد در جنوب غرب استان البرز و شمال استان مرکزی، با استفاده از روش AHP و تلفیق لایه‌های وزن‌دار شده سنگ‌شناسی، نفوذپذیری، بارش، تراکم زهکشی، زمان تمرکز، فاصله از آبراهه، شیب، کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک به تهیه نقشه پتانسیل سیل‌خیزی در محیط GIS پرداختند. قاسمی و همکاران (۱۳۹۳)، در تحقیق خود با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های ایستگاه باران‌سنجی و تحلیل سلسله مراتبی روشی برای تهیه نقشه خطر سیل‌خیزی بر پایه تاثیرهای ترکیبی عوامل فیزیکی و اقلیمی پرداختند. سوئیسی[4] و همکاران (۲۰۲۰)، در مطالعه‌ای به تهیه نقشه حساسیت سیل پرداختند در این تحقیق از هشت عامل که شامل ارتفاع حوضه، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، سنگ شناسی، شدت بارش، تراکم زهکشی، شیب، فاصله از شبکه زهکشی و عمق آب زیرزمینی استفاده کردند و از روش تحلیل سلسه مراتبی

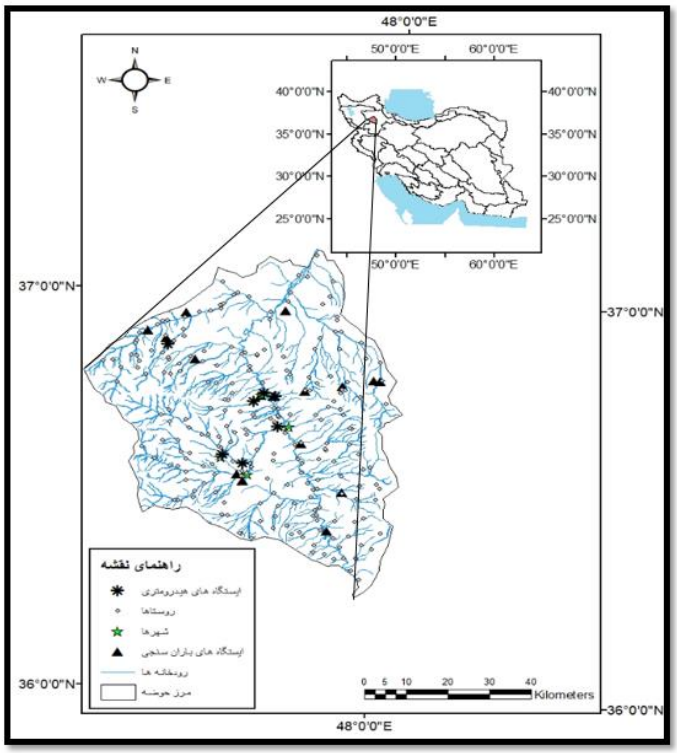
[1] Huang
[2] Mukand
[3] Stefandis and Stathis
[4] Souissi

نقشه سیل‌خیزی منطقه را ایجاد نمودند. نتایج مطالعه آنان نشان داد که مهم‌ترین عامل وقوع سیل در این منطقه ارتفاع حوضه از سطح دریاست. با توجه به تحقیقات صورت گرفته عوامل متعددی در بروز سیلاب نقش دارند، اما میزان اثرگذاری هر یک از این عوامل در حوضه‌های مختلف به دلیل وجود تفاوت در ساختار ژئومورفولوژی و اقلیم هر منطقه متفاوت است. با توجه به وقوع سیلاب‌های زیاد در حوضه آبریز ماهنشان-انگوران طی سالیان گذشته و نیز عدم وجود نقشه شماره منحنی برای این حوضه آبریز برای انجام مطالعات هیدرولوژیکی، در پژوهش حاضر با محاسبه و بکارگیری خصوصیات مورفولوژیکی این حوضه آبریز، نقشه شماره منحنی برای آن ایجاد شد که برای سایر محققین می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. همچنین عوامل فیزیکی و اقلیمی مؤثر در بروز سیلاب در این حوضه مورد بررسی قرار گرفته و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و تلفیق اثرات این عوامل، نقشه خطر سیل‌خیزی این حوضه آبریز تهیه و بررسی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز ماهنشان- انگوران در غرب استان زنجان قرار دارد و یکی از زیر حوضه‌های سفیدرود و در محدوده حوضه دریای مازندران واقع است. متوسط بارندگی بلند مدت در این منطقه معادل ۲۵۱ میلی‌متر و مهم‌ترین رودخانه‌ی این حوضه قزل‌اوزون است. وقوع مقادیر مناسب بارش در این حوضه آبریز سبب شده است که حوضه آبریز ماهنشان-انگوران از منابع غنی آب‌های سطحی و زیرزمینی برخوردار باشد. مساحت این حوضه در حدود ۴۸۳۸/۷۴ کیلومترمربع و محیط آن ۳۳۱/۸۷ کیلومتر است. حداکثر و حداقل ارتفاع حوضه به ترتیب برابر با ۳۲۷۸/۵۶ و ۱۱۰۵/۹۲ متر از سطح دریا می‌باشد. شکل ۱ موقعیت این حوضه را در نقشه کشوری نشان می‌دهد.



شکل (۱): موقعیت حوضهٔ آبریز ماهنشان-انگوران در نقشه کشوری

روش تحقیق:

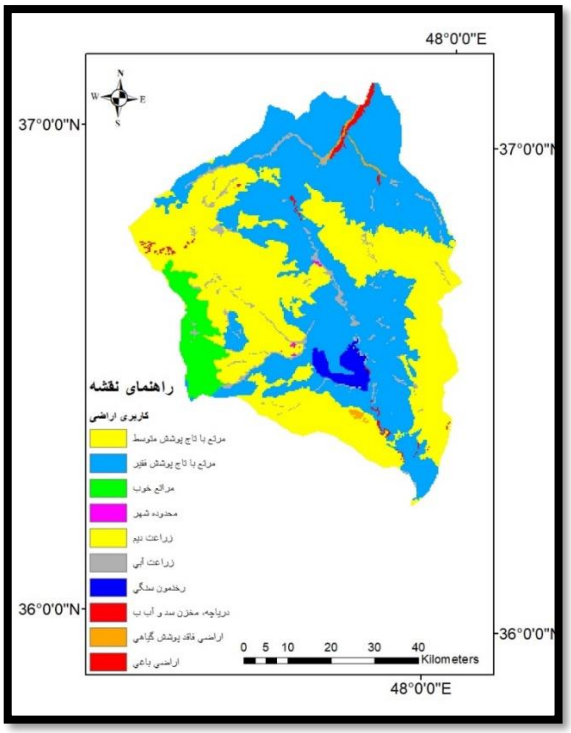
در این تحقیق ابتدا جهت تعیین لایه رقومی ارتفاع[1] (DEM)، مختصات منطقه در سامانه Google Earth وارد

[1] Digital Elevation Model

شد و پس از ساخت پلی‌گون مختصات آن با استفاده از سایت زمین‌شناسی آمریکا[1] (USGS) و مدل SRTM[2] لایه رقومی ارتفاع حوضه با مقیاس ۳۰ متری استخراج شد.

براساس نتایج حاصل از پژوهش‌های پیشین (سوئیسی و همکاران، ۲۰۲۰؛ استفانیدیس و استاتیس، ۲۰۱۳؛ قاسمی و همکاران، ۱۳۹۳؛ ملکیان و همکاران، ۱۳۹۱)، هشت عامل فیزیکی اثرگذار بر سیل‌خیزی یک حوضه آبریز شامل: شماره منحنی، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب، شبکه زهکشی، نسبت انشعاب، بلندترین آبراهه حوضه و سنگ-شناسی حوضه و نیز عامل اقلیمی بارش مورد بررسی قرار گرفته و نقشه‌های آن‌ها در محیط GIS تهیه شد.

عامل کاربری اراضی



شکل (۲): نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

عامل شماره منحنی

برای محاسبه مقدار بارش نفوذ کرده به خاک و برآورد مقدار رواناب ایجاد شده اقدام به برآورد شماره منحنی می‌شود. در این حالت شماره منحنی بالا به معنی رواناب بیش‌تر و نفوذپذیری کمتر است. در حالی که شماره منحنی پایین، نشان‌دهنده رواناب کمتر و نفوذپذیری بیشتر کاربری اراضی نحوه استفاده از زمین را نشان می‌دهد. در واقع، برنامه‌ریزی کاربری اراضی تعیین نوع فعالیت قابل استقرار روی زمین و چگونگی اجرای آن فعالیت را مشخص می‌کند. بی‌تردید وجود پوشش‌های گیاهی در سطح یک حوضه به‌دلیل اثراتی که در مؤلفه‌های سیکل هیدرولوژی در مقیاس حوضه دارد از عوامل کاهش دهنده سیل‌خیزی آن حوضه است. نقشه کاربری اراضی حوضه ماهنشان-انگوران در شکل ۲ ارائه شده است. برای تهیه نقشه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای جهت تشخیص صحیح‌تر کاربری‌ها و از تصاویر Google Earth به سبب قدرت تفکیک بالای تصاویر آن برای کنترل صحت تصاویر استفاده شد و تصاویر بدست آمده با استفاده از نرم‌افزار GIS طبقه‌بندی و اصلاح شدند.

می‌باشد. با توجه به عدم وجود نقشه شماره منحنی برای حوضه ماهنشان-انگوران، در تحقیق حاضر نقشه شماره منحنی حوضه با استفاده از نقشه لایه رقومی ارتفاع، نقشه کاربری اراضی، نقشه پوشش گیاهی، اطلاعات و نقشه مربوط به خاک منطقه، همچنین جدول Look up (جدول (۱)) تهیه شد. جدول Look up در محاسبات به‌عنوان مرجعی جهت فراخوانی مقادیر استاندارد شماره منحنی رواناب با توجه به گروه هیدرلوژیک خاک برای مقادیر مختلف کاربری اراضی و تنوع خاک مورد استفاده قرار گرفت. برای تهیه نقشه شماره منحنی، ابتدا براساس نقشه کاربری اراضی، کاربری‌های مختلف به چهار کلاس آب، کشاورزی، جنگلی و مناطق مسکونی دسته بندی شدند. همچنین برای تهیه این نقشه، نقشه رقومی ارتفاع مورد نیاز است که برای حداقل کردن خطا با استفاده از الحاقیه Arc Hydro در محیط GIS و از طریق منوی DEM Manipulation اصلاحات روی آن انجام گرفت (شکل۳). با این اصلاحات حفره‌هایی که در انجام عملیات اختلال ایجاد می‌کنند، اصلاح و پر شدند. پس از کلاس‌بندی نقشه کاربری اراضی و اصلاح لایه رقومی ارتفاع، طبقه‌بندی نقشه خاک منطقه مبنی بر جنس خاک و ذرات تشکیل دهنده آن با استفاده از اطلاعات و گزارشات موجود خاک منطقه اعمال شد. نهایتاً خاک‌های منطقه به سه کلاس هیدرولوژیکی B، C و D دسته بندی شدند. سپس، جدول

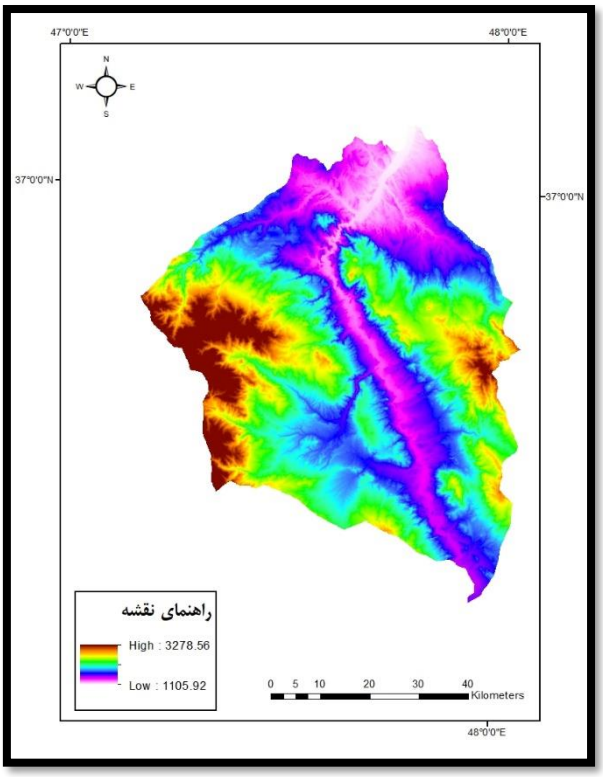
[1] The United States Geologic Survey

[2] Shuttle Radar Topography Mission

Look up برای وارد کردن اطلاعات نفوذپذیری در محیط GIS تشکیل شد. و پس از ادغام لایه‌های خاک، کاربری اراضی، نقشه اصلاح شده ارتفاع و جدول Look up نقشه شماره منحنی حوضه با استفاده از نرم‌افزار HEC-GeoHMS تهیه شد (مدرسی و عراقی‌نژاد، ۱۳۹۳). نرم‌افزار HEC-GeoHMS یک نرم افزار در محیط GIS است که خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه آبریز نظیر محدوده زیرحوضه‌ها، مسیر رودخانه اصلی، مرکز ثقل حوضه آبریز را تعیین کرده و با استفاده از آن و با در اختیار داشتن نقشه‌های فوق می‌توان نقشه شماره منحنی را برای حوضه‌های آبریز تهیه نمود (مدرسی و عراقی‌نژاد، ۱۳۹۳). در این مطالعه از نسخه HEC-GeoHMS۴.۰ استفاده شد. با توجه به اینکه شماره منحنی‌ای که از این روش محاسبه می‌شود برای مواقعی است که خاک از نظر وضعیت رطوبتی در شرایط نرمال قرار گرفته باشد، در صورتی که بارندگی زمانی اتفاق بیفتد که خاک از نظر رطوبتی خشک و یا از قبل مرطوب باشد، لازم است که عدد CN اصلاح شود. در تحقیق حاضر، برای اصلاح CN از روابط ارائه شده توسط هانگ و همکاران (۲۰۱۹) (جدول شماره (۲))، استفاده شد.

جدول (۱): جدول Look up

OBJECTID *	luvalue	description	A	B	C	D
1	1	WATER	100	100	100	100
2	2	URBAN	51	68	79	84
3	3	FOREST	49	69	79	84
4	4	AGRI	85	76	84	88



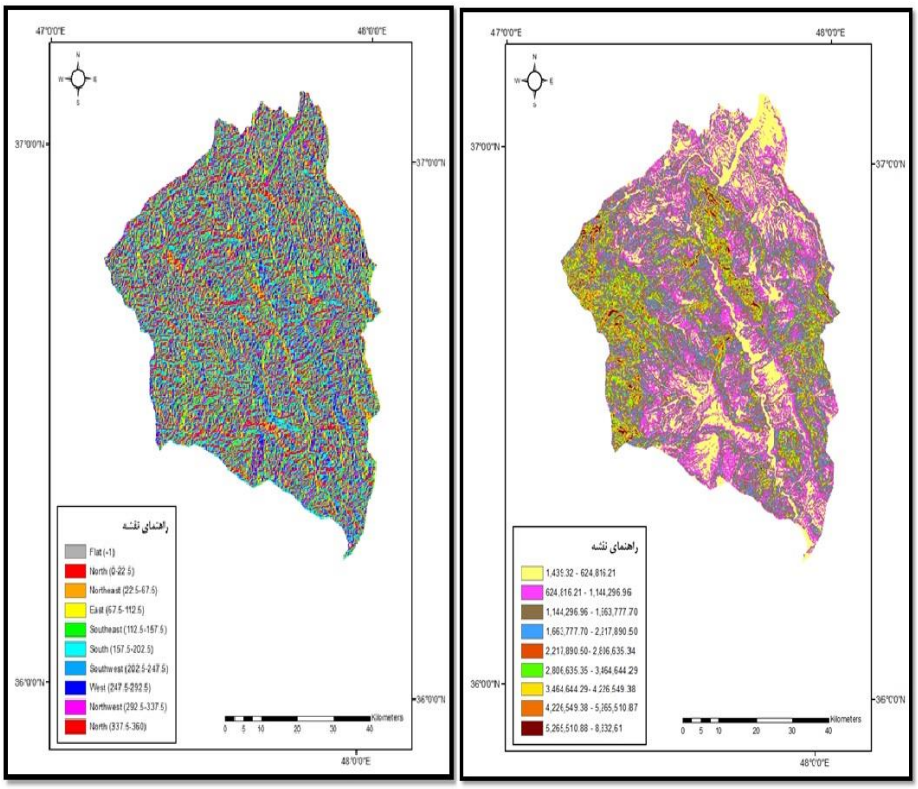
شکل (۳): نقشه اصلاح شده رقومی ارتفاع (ارتفاع بر حسب متر است)

جدول (۲): جدول شرایط رطوبتی پیشین(هانگ و همکاران، ۲۰۱۹)

شرایط رطوبت قبلی خاک	وضعیت خاک	تبدیل CN از حالت نرمال به حالت های (۱) و (۳)
۱	شرایط خشک	$CN(1)=\frac{4.2CN(2)}{10-0.0568CN(2)}$
۲	شرایط نرمال	CN محاسبه شده با توجه به شکل
۳	شرایط مرطوب	$CN(3)=\frac{23CN(2)}{10+0.13CN(2)}$

عامل شیب و جهت شیب

شیب هر حوضه می‌تواند اطلاعات مفیدی در مورد حوضه از جمله سرعت حرکت آب، قدرت فرسایشی رودخانه و زمان تمرکز را به دست دهد. در شرایط مساوی سرعت جریان در آبراهه‌ها، در حوضه‌های دارای شیب تند نسبت به حوضه‌های با شیب ملایم سریعتر است. بر پایه این رابطه هر چه شیب تندتر شود، سرعت آب بیشتر شده و سریعتر به انتهای حوضه رسیده و زودتر تجمع می‌یابد و دبی اوج هیدروگراف نیز تیزتز می‌شود. از طرفی چنانچه مقدار شیب فزونی یابد، نقش عوامل فزآینده نفوذ کاهش یافته و میزان رواناب به دلیل عدم تجمع آب در ناهمواری‌های سطحی افزایش می‌یابد. جهت تهیه نقشه شیب از مدل رقومی ارتفاعی منطقه مورد نظر در محیط GIS استفاده شد. جهت شیب سمتی است که اگر از بالای دامنه به پایین آن نگاه کنیم، سطح شیب به آن جهت متوجه است. مهمترین اثر جهت شیب در میزان نور خورشید و اثرات ناشی از آن و از جمله پیدایش اقلیم‌های محلی یا موضعی است. با توجه به اینکه دامنه‌های جنوبی نسبت به دامنه‌های شمالی آفتاب‌گیر ترند، بنابراین ذوب برف در دامنه‌های جنوبی به صورت ناگهانی رخ می‌دهد و نگه‌داشت رطوبت در این دامنه‌ها نسبت به دامنه‌های شمالی کمتر است. به همین دلیل دامنه‌های جنوبی میزان پوشش گیاهی کمتری دارند. در این پژوهش برای تهیه نقشه جهت شیب نیز از مدل رقومی ارتفاع (DEM) استفاده شد. نقشه شیب و جهت شیب منطقه در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده است.



شکل (۴): نقشه شیب منطقه مورد مطالعه

شکل (۵): نقشه جهت شیب منطقه مورد

مطالعه عامل تراکم زهکشی

تراکم زهکشی و یا تراکم شبکه رودخانه‌های حوضه عبارت است از نسبت طول کل آبراهه‌ها به مساحت حوضه آبریز (رابطه۱). هرچه تراکم زهکشی بیشتر باشد، نفوذپذیری کاهش و سرعت جریان‌های سطحی افزایش می‌یابد. برای محاسبه این عامل نیز از سامانه GIS استفاده شد (شکل۶).

$$\mu = \frac{\sum L_i}{A} \qquad (۱)$$

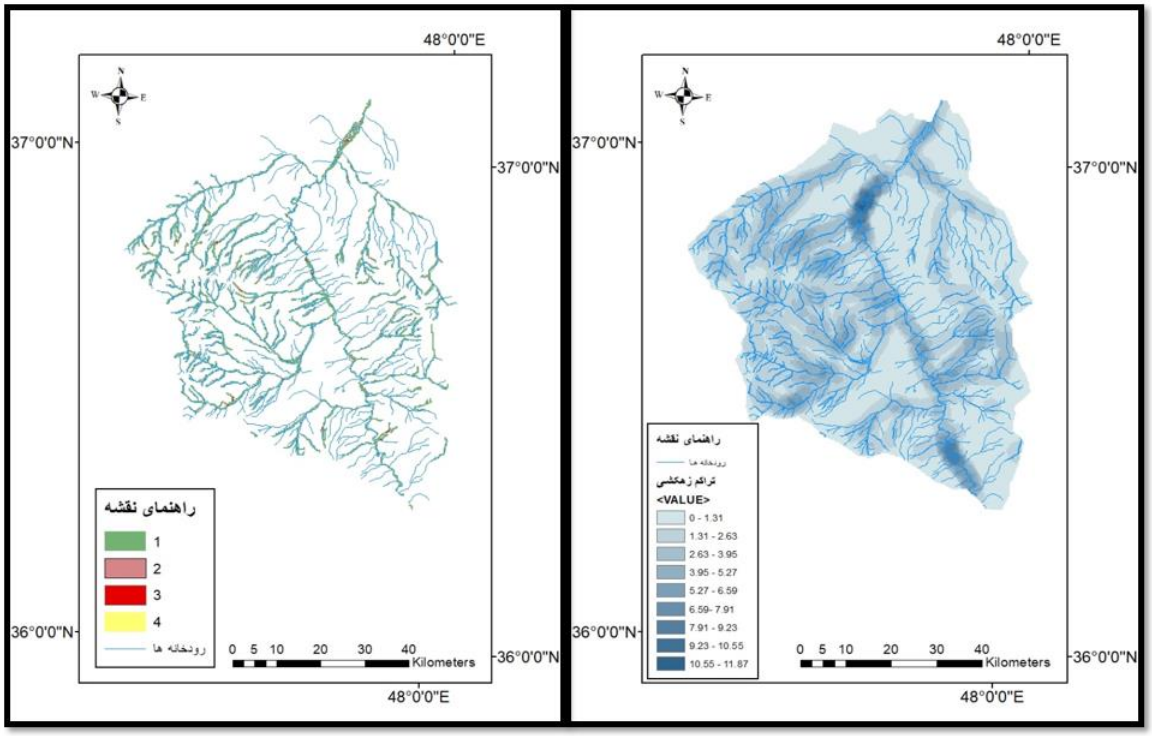
که در آن: μ : تراکم زهکشی بر حسب کیلومتر بر کیلومتر مربع، L_i : طول هر یک از آبراهه‌های حوضه، اعم از آبراهه‌های دائم یا خشک رودها، بر حسب کیلومتر و A: مساحت حوضه بر حسب کیلومتر مربع

عامل نسبت انشعاب

عبارت است از میانگین نسبت آبراهه‌های هر رده به تعداد آبراهه‌های رده بالاتر در حوضه. هر چه نسبت انشعاب کمتر باشد نمودار دبی پیک حوضه نوک تیزتر و در صورت نسبت انشعاب بیشتر دبی پیک حوضه کشیده‌تر خواهد بود. بعبارتی دیگر هرچه این نسبت کوچکتر باشد نشان دهنده آن است که منحنی تغییرات دبی سیلاب نسبت به زمان هیدروگراف دارای نقطه اوج تیزتری است. اگر در حوضه‌ای n_1 ، n_2 ، n_3 ، ... ، n_i به ترتیب تعداد رودخانه‌های با ردهٔ ۱، ۲، ۳، ....و i باشد، نسبت انشعاب رودخانه‌های این حوضه برابر است با:

$$BR = \left(\frac{n_1}{n_2} + \frac{n_2}{n_3} + \frac{n_3}{n_4} + \ldots + \frac{n_{i-1}}{n_i}\right)\frac{1}{i-1} \qquad (۲)$$

که در آن: i: شماره رده رودخانه اصلی حوضه است. نسبت انشعابات با استفاده از نرم‌افزار GIS به صورت شکل (۷) به‌دست آمده است.

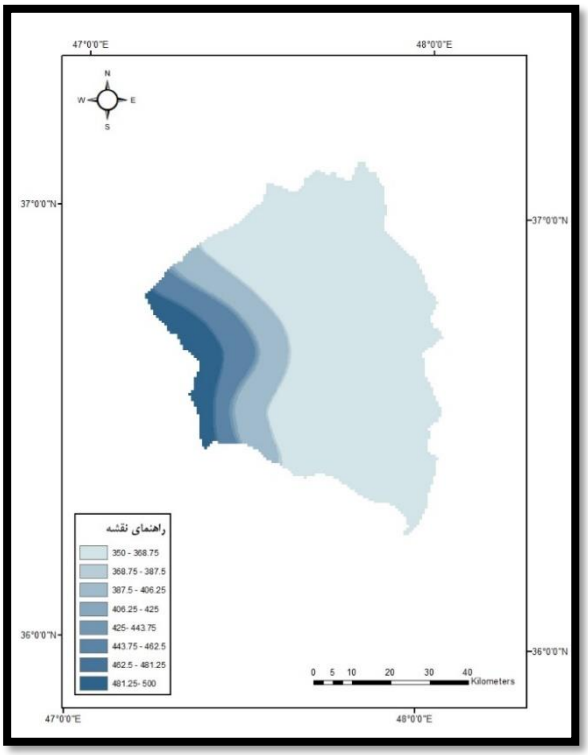


شکل (۶): نقشه تراکم زهکشی منطقه مورد مطالعه

شکل (۷): نقشه نسبت انشعاب منطقه مورد مطالعه

عامل بارش

از میان عوامل اقلیمی بارش بیشترین نقش را در بروز سیلاب‌ها برعهده دارد. بارش به صورت برف در یک حوضه نقش ذخیره‌ای داشته و در مواقع عادی تنها بخش کوچکی از آن ذوب و ایجاد جریان اندکی در رودخانه می‌کند ولی در مواقع ذوب سریع مقدار زیادی از جریان را به داخل رودخانه وارد و سیلاب ایجاد می‌کند. وقوع بارندگی بر پوشش برفی ممکن است سبب ذوب آن و ایجاد سیلاب شود ولی در بسیاری حالات باران توسط برف جذب شده و تا فرارسیدن شرایط ذوب برف ذخیره می‌شود. در تحقیق حاضر از آمار بارش ۲۰ ساله استفاده و بر اساس آن، نقشه پهنه‌بندی بارش متوسط سالانه در محیط GIS و با استفاده از روش درون یابی IDW به دست آمد (شکل ۸). همان‌طور که مشاهده می‌شود، در نقشه بارش به دست آمده، منطقه به هشت کلاس از نظر بارندگی تقسیم شده است که کمترین و بیش‌ترین مقدار بارش به ترتیب ۳۵۰ و ۵۰۰ میلی‌متر است.



شکل (۸): نقشه پهنه‌بندی بارش منطقه مورد مطالعه

عامل سنگ‌شناسی

نوع سنگ‌ها در یک حوضه تاثیر بسزایی بر شرایط هیدرولوژیکی آن دارد؛ زیرا این پارامتر از طریق تاثیر در نفوذپذیری، خاک‌زایی و توپوگرافی به شدت بر روی مقدار رواناب تولید شده در حوضه اثر می‌گذارد. در تحقیق حاضر برای شناسایی نوع سنگ‌ها از تلفیق نقشه‌های زمین‌شناسی و کاربری اراضی منطقه مطالعاتی استفاده شده است.

عامل بلندترین آبراهه حوضه

طول حوضه برابر است با طول مسیر آبراهه اصلی از نقطه خروجی تا دورترین قله روی خط تقسیم آب یا به عبارتی طول حوضه برابر است با طول آبراهه‌ای که در روی نقشه توپوگرافی بیش‌ترین طول را دارا باشد. آبراهه اصلی به رودخانه‌ای گفته می‌شود که در خطرالقعر حوضه جریان داشته باشد و رواناب حوضه‌های مختلف به آن بریزد. زمان تمرکز حوضه، زمانی که دبی سیلاب‌ها به نقطه اوج می‌رسد به طول آبراهه اصلی بستگی دارد. به‌طور کلی آبراهه اصلی طولانی‌ترین مسیر هیدرولیکی آب در سطح حوضه است. برای تعیین موقعیت آبراهه اصلی حوضه ماهنشان- انگوران از نقشه آبراهه‌های حوضه استفاده شده است که این نقشه از پردازش نقشه DEM منطقه در نرم افزار HEC-Geo HMS حاصل می‌شود. بر اساس محاسبات انجام شده، آبراهه اصلی این حوضه طولی معادل ۱۲۸/۵ کیلومتر را دارا است.

روش تحلیل سلسله مراتبی AHP

میزان اهمیت نقشه‌های معیار در رسیدن به خروجی یکسان نمی‌باشد. از این رو لازم است نقشه‌های معیارها، امتیازدهی و یا به عبارت دیگر وزن‌دهی شوند. وزن هر معیار نشان دهنده میزان اهمیت و ارزش آن نسبت به معیارهای دیگر است. با توجه به اینکه غالباً معیارهای پهنه‌بندی در هر پروژه زیاد و دارای ارزش یکسانی نمی‌باشند، لذا برای در نظر گرفتن اهمیت معیارها و لحاظ کردن مستقیم آن‌ها به منظور دقت کار، لازم است تا وزن متناسب با هر معیار در نظر گرفته شود. غالباً وزن‌دهی‌های انجام شده بر پایه قضاوت‌های کارشناسی و براساس تجربه متخصصین با در نظر گرفتن فاکتورهای مختلفی مانند محدوده مطالعاتی، پارامترهای مکان‌یابی، تاثیر هر یک از پارامترها و غیره

صورت می‌پذیرد. در پژوهش حاضر برای وزن‌دهی به عوامل ذکر شده از نرم‌افزار Expert Choice نسخه ۱۱ و از روش AHP استفاده شد. در وزن‌دهی به عوامل مختلف، با بهره‌گیری از نتایج مطالعات پیشین و اعمال تجربیات سایر محققان آشنا به منطقه مطالعاتی، وزن مناسب برای هر عامل در نظر گرفته شد.روش AHP توسط Saaty (۱۹۸۰) توسعه داده شد. در این روش برای وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارها از ماتریس جفتی به منزله ورودی به مدل استفاده می‌شود. این روش یک مقیاس اساسی را با مقادیری از ۱ تا ۹ برای تعیین میزان اولویت‌های نسبی دو معیار به کار می‌گیرد. این مقادیر بر اساس میزان اهمیت نسبی‌شان در جدول (۳) ارائه شده است. در تحلیل و مدل‌سازی نهایی برای تهیه نقشه سیل‌خیزی روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) استفاده شد که از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$A_i = \sum_{j=1}^{n} W_j \times X_{ij} \qquad (۳)$$

که در آن، X_{ij}: مقدار i امین گزینه در خصوص j امین معیار و W_j وزن استاندار شده است. به طوری که مجموع وزن‌ها برابر با یک است. ساعتی(۱۹۸۰) برای آزمون سازگاری برای ارزیابی جفتی دو شاخص، شاخص سازگاری (C.I.) و نرخ سازگاری (C.R.) را معرفی کرد. که از روابط زیر محاسبه می‌شوند.

$$C.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \qquad (۴)$$

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \qquad (۵)$$

در این روابط پارامترها عبارتند از: λ_{max}: حداکثر مقدار ویژه ماتریس، n: رتبه ماتریس و $R.I.$: شاخص سازگاری ماتریس تصادفی.

در صورتی که C.R کمتر و یا مساوی ۰/۱ باشد وزن‌های نهایی به دست آمده قابل قبول است. در این پژوهش پس از محاسبه وزن عوامل ذکر شده مقدار وزن هر عامل به لایه اطلاعاتی آن اضافه شد و با استفاده از کاربرد نرم‌افزار ArcGIS این لایه‌ها با یکدیگر تلفیق و همپوشانی شدند تا نقشه خطر سیل‌خیزی منطقه به دست آید.

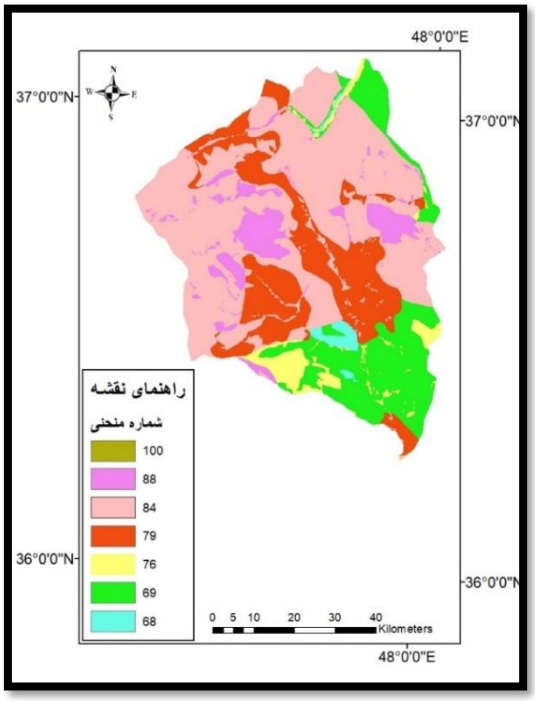
جدول (۳): مقایسه عوامل نسبت به یکدیگر(اصغرپور، ۱۳۸۷)

میزان اهمیت	تعریف
۱	اهمیت برابر
۲	اهمیت برابر تا متوسط
۳	اهمیت متوسط
۴	اهمیت متوسط تا قوی
۵	اهمیت قوی
۶	اهمیت قوی تا بسیار قوی
۷	اهمیت بسیار قوی
۸	اهمیت بسیار قوی تا اهمیت مطلق
۹	اهمیت مطلق

نتایج و بحث

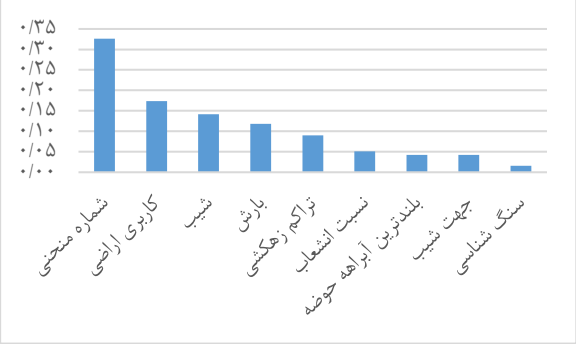
برای تهیه نقشه سیل‌خیزی منطقه، نقشه شماره منحنی برای حوضه آبریز ماهنشان-انگوران بر اساس نقشه‌های لایه رقومی ارتفاع، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، اطلاعات و نقشه مربوط به خاک منطقه و همچنین جدول Look up تهیه شد که نتیجه در شکل (۹) ارائه شده است. طبق نقشه تهیه شده شماره منحنی با استفاده از نرم افزار-HEC GeoHMSدر محیط GIS، حوضه ماهنشان‌انگوران دارای شماره منحنی‌های ۶۸ تا ۱۰۰ است. بیشینه مقدار شماره منحنی در این حوضه ۱۰۰ می‌باشد که مرتبط به مخازن و استخرهای آبی است و کمینه آن ۶۸ می‌باشد. طبق شکل شماره (۹) بیش‌ترین مساحت مربوط به شماره منحنی های

۸۴، ۶۹ و ۷۹ است. با توجه به نتایج به دست آمده، مقادیر بالای شماره منحنی‌های حوضه نشان دهنده نفوذپذیری کم حوضه به دلیل شور و قلیایی بودن خاک حوضه است و در نتیجه احتمال جاری شدن آب مازاد از بارش و بروز سیل در این منطقه بالا می‌باشد.



شکل (۹): نقشه شماره منحنی حوضه مطالعاتی

بر اساس روش AHP، وزن هر یک از عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی در این حوضه محاسبه شد که در شکل (۱۰) ارائه شده است. مقدار نرخ سازگاری یا همان ضریب C.R حاصل از وزن‌ها برابر با ۰/۰۹ به دست آمد که قابل قبول بودن وزن‌های به دست آمده را مورد تایید قرار می‌دهد. با توجه به شکل (۱۰) مشاهده می‌شود که در این حوضه عوامل تاثیرگذار بر سیل‌خیزی به‌ترتیب عبارتند از: شماره منحنی، کاربری اراضی، شیب، بارش، شبکه زهکشی، نسبت انشعاب، بلندترین آبراهه، جهت شیب و در آخر سنگ‌شناسی. پس از تعیین وزن هر یک از عوامل موثر، وزن هر یک از لایه‌ها در محیط Arc GIS به لایه‌ی اطلاعاتی آن عامل اضافه شد.

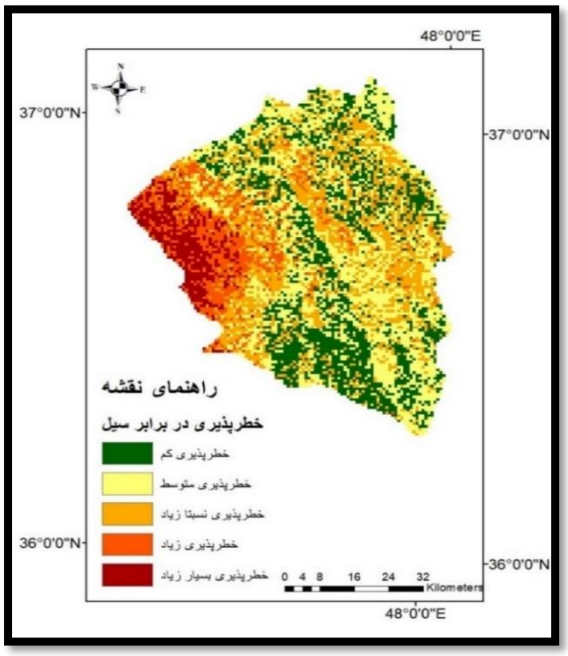


شکل (۱۰): نمایش وزن هر یک از عوامل موثر به روش WLC در محیط نرم‌افزاری Expert Choice

سرانجام از تلفیق ۹ عامل ذکر شده نقشه خطر سیل‌خیزی حوضه آبریز ماهنشان-انگوران تهیه شد که در شکل ۱۱ ارائه شده است. با توجه به نقشه سیل‌خیزی این حوضه مشاهده می‌شود که قسمت‌های غربی حوضه خطرپذیری بالاتری برای وقوع سیل را دارند که از ارتفاع بالایی برخوردارند، همچنین با توجه به نقشه بارش، بارش در قسمت‌های غربی حداکثر است و شیب این مناطق تند است. با توجه به نقشه شماره منحنی مشاهده شد که در مناطق غربی شماره منحنی بالا است، تراکم زهکشی کم است که منجر به تخلیه ضعیف رواناب در این قسمت از حوضه می‌شود، نسبت انشعاب پایین است که سبب تخلیه ناگهانی جریان خواهد بود، این عوامل منجر به تشدید سیل‌خیزی مناطق غربی نسبت به نواحی دیگر در این حوضه می‌باشد. در پژوهش‌های مشابه، مانند استفانیدیس و استاتیس (۲۰۱۳) از عوامل کاربری اراضی، فرسایش پذیری، شیب حوضه، شیب آبراهه اصلی، نفوذپذیری خاک، شکل حوضه و تراکم زهکشی، در پژوهش ملکیان و همکاران (۱۳۹۱) از عوامل سنگ‌شناسی، نفوذپذیری، بارش، تراکم زهکشی، زمان تمرکز، فاصله از آبراهه، شیب، کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک، و در تحقیق سوئیسی و همکاران (۲۰۲۰)، از هشت عامل که شامل ارتفاع حوضه، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، سنگ شناسی، شدت بارش، تراکم زهکشی، شیب، فاصله از شبکه زهکشی و عمق آب زیرزمینی استفاده شده است. با توجه به نتایج تحقیقات دیگر محققان می‌توان نتیجه گرفت که عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی هر منطقه باید با توجه به مورفولوژی حوضه مورد نظر تعیین و بررسی شود؛ زیرا عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی با توجه به شرایط و پیچیدگی های طبیعی هر حوضه متفاوت می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر برای تعیین پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز ماهنشان-انگوران که از جمله حوضه‌های سیل‌خیز کشور است، از هشت عامل فیزیکی و مورفولوژیکی حوضه آبریز شامل: شماره منحنی، کاربری اراضی، شیب، بارش، تراکم زهکشی، نسبت انشعاب، بلندترین آبراهه حوضه، جهت شیب و سنگ‌شناسی استفاده شد. به علت



شکل (۱۱): نقشه خطر سیل‌خیزی حوضه مطالعاتی

عدم وجود نقشه شماره منحنی برای این حوضه آبریز، در تحقیق حاضر این نقشه با استفاده از نرم‌افزار GIS و بهره‌گیری از الحاقیه HEC-GeoHMS برای حوضه آبریز ماهنشان- انگوران تهیه شد. با توجه به آمار و اطلاعات موجود و در دسترس این حوضه و همچنین اصلاح لایه رقومی ارتفاع که منجر به بالا رفتن دقت و کاهش خطا شد، شماره منحنی به هفت کلاس تقسیم شد. به منظور تعیین میزان اثرگذاری عوامل مؤثر بر سیل خیزی حوضه از روش تحلیل سلسله مراتبی AHP و تعیین وزن هر عامل استفاده شد. نتایج حاصل از روش AHP نشان داد که بیش‌ترین وزن محاسبه شده برای عامل شماره منحنی است که برابر با ۰/۳۲۶ می‌باشد. و سایر عوامل شامل: کاربری اراضی، شیب، بارش، تراکم زهکشی، نسبت انشعاب، بلندترین آبراهه حوضه، جهت شیب و سنگ‌شناسی، با توجه به ترتیب دارای وزن‌های ۰/۱۷۴، ۰/۱۴۲، ۰/۱۱۸، ۰/۰۹۰، ۰/۰۵۱، ۰/۰۴۲، ۰/۰۴۲ و ۰/۰۱۶ می‌باشند. با توجه به نقشه سیل‌خیزی مشاهده شد که مناطق غربی حوضه خطرپذیری بالایی دارند. در این پژوهش تلاش شد تا با توجه به داده‌های موجود، مجموعه‌ای نسبتا کامل از عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی که عبارتند از: شماره منحنی، کاربری اراضی، شیب، بارش، تراکم زهکشی، نسبت انشعاب،

بلندترین آبراهه حوضه، جهت شیب، سنگ‌شناسی در
مقایسه با پژوهش‌های دیگر مورد بررسی قرار گیرد

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از دانشگاه تهران، شرکت مدیریت منابع آب، مؤسسه تحقیقات آب وزارت نیرو و سازمان هواشناسی کشور به دلیل تأمین امکانات و داده‌های لازم جهت انجام این تحقیق و تهیه مقالات مربوطه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

اصغرپور، م.، ج. ۱۳۹۷. تصمیم‌گیری‌های چند معیاره. نشر دانشگاه تهران، ص ۱۷۲.

امیری، ف. سعادفر، ا. ۱۳۹۰. کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در انتخاب مناسب‌ترین توزیع فراوانی برای پیش-بینی دبی حداکثر لحظه‌ای سیلاب. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، شماره۴، دوره۱، ص ۵۹-۴۶.

بهره‌مند، ع و حاتمی گل مکانی، پ. ۱۳۹۹. ارزیابی سیل‌خیزی بالقوه حوزه آبخیز زیارت با روش مبتنی بر CN و مدل هیدرولوژیکی WetSpa. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، شماره ۱، دوره ۱۱، ص ۵۱-۳۸.

ثروتی، م. احمدی، م. نصرتی، ک. مزبانی، م. ۱۳۹۲. پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه آبخیز سراب دره‌شهر. فصلنامه علمی-پژوهشی انجمن جغرافیایی ایران، سال یازدهم، شماره ۳۶، ص ۷۷-۵۵.

حاجی بیگلو، م. رشیدی، م. سربازی، م. ۱۳۹۴. ایجاد سیستم هشدار سیل با رویکرد تحلیل خسارت در امر مدیریت بحران. مجله علمی کشاورزی، دوره۳۸، شماره۳، ص ۱۰۳-۸۹.

شعبانلو، س. صدقی، خ. ثقفیان، ب. موسوی جهرمی، ح. ۱۳۸۷. پهنه‌بندی سیلاب در شبکه رودخانه‌های استان گلستان با استفاده از GIS. مجله پژوهش آب ایران، سال دوم، شماره سوم، ص ۲۲-۱۱.

شفیعی، ف. ۱۳۹۲. بررسی عوامل هیدروژئومورفولوژی مؤثر بر سیلاب در حوضه‌های آبخیز. دومین کنفرانس بین‌المللی مخاطرات طبیعی.

قاسمی، ع. سلاجقه، ع. ملکیان، آ. اسمعلی‌عوری، ا. ۱۳۹۳. بررسی سیل‌خیزی و تعیین عوامل مؤثر در آن در حوضهٔ رودخانهٔ بالقلی‌چای با استفاده از تکنینک GIS، RS و AHP. محیط شناسی، دوره ۴۰، شماره ۲، ص ۴۰۰-۳۸۹.

کاراندیش، ف. ابراهیمی، ک. روشناس، ن. ۱۳۹۱. بررسی شدت سیل‌خیزی حوضه‌های کارون و عوامل فیزیکی مؤثر بر شدت سیل. نهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.

مدرسی، ف. عراقی‌نژاد، ش. ۱۳۹۳. آموزش کاربردی مدل سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز در HEC-HMS و HEC-GeoHMS. نشر نوآور، چاپ دوم، ص ۳۰۴.

ملکیان، آ. افتادگان خوزانی، ا. و عشور نژاد، غ. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه‌ی آبخیز اخترآباد با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی. پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، سال ۴۴، شماره ۴، ص۱۵۲-۱۳۱.

Efanidis, S. and Stathis, D. 2013. Assessment of food hazard based on natural and anthropogenic factors using analytic hierarchy process (AHP). Nat Hazards, 68: 569–585.

Huang, W., Cao, Z, Huang, M., Duan, W., Ni, Y., Yang, w. 2019. A New Flash Flood Warning Scheme Based on Hydrodynamic Modelling, Journal of Water. no.6, 1221. https://doi.org/10.3390/w11061221

Mukand, N. M. D., Huynh, S. B. and T. Luong. 2011. Evaluation of food risk parameters in the Day River Flood Diversion Area, Red River Delta, Vietnam. Nat Hazards, 56: 169–194.

Souissi. D., Zouhri, L., Hammami, S., Msaddek, M. H., Zghibi, A.,Dlala, M. 2020. GIS-based MCDM – AHP modelling for flood susceptibility mapping of arid areas, south-eastern Tunisia, Journal of Geocarto International. 35:9, 991-1017. DOI: 10.1080/10106049.2019.1566405

Yang, X.L., Ding, J.H. and Hou, H. 2013. Application of a triangular fuzzy AHP approach for food risk evaluation and response measures analysis.2013. Nat Hazards, 68: 657–67