

Temporal and Spatial Zoning of Flood Risk in Karganrood Catchment using AWBM Model and Fuzzy-ANP Method

Seyyed Asadullah Hejazi ¹✉, Kosar Loghmannia ²

1. (Corresponding Author) *Department of Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran*

Email: S.hejazi@tabrizu.ac.ir

2. *Department of Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran*

Email: Kosar.loghmannia@gmail.com

Article Info

Article type:

Review Article

Article History:

Received:

24 May 2023

Received in revised form:

29 August 2023

Accepted:

30 September 2023

Available online:

3 November 2023

Keywords:

Temporal and Spatial

Zoning,

Flooding,

AWBM Model,

Fuzzy-ANP Method.

ABSTRACT

Evaluating the flood potential of different watersheds is one of the important measures in the field of reducing damages caused by floods. As one of the flood-prone basins of Gilan province, the River catchment has always caused a lot of damage to the residents of the region in recent years. Therefore, due to the lack of studies in this basin, the current research has attempted to zonate the risk of flooding, and for this purpose, the AWBM model and the Fuzzy-ANP method have been used. , 2014, 2017 and the end of 2018 are estimated to increase and equal to the floods of 1990, 1993, 199, and 1997. In the spatial zoning of flood risk, 10 effective factors including precipitation, temperature, distance from the river, slope, slope direction, height, land use, vegetation, geology and soil were used. In the analysis of the results, it is estimated that the highest risk of flooding is in the southern areas and the outlet of the basin to the Caspian Sea, and the settlement in the river, lack of attention to watershed management, destruction of forests and pastures, and land use change are among the most important factors affecting this issue. In total, 90.3% of the area of the basin has the highest risk of flooding from a geographical point of view.

Cite this article: Hejazi, S. A., & Loghmannia, K. (2023). Temporal and Spatial Zoning of Flood Risk in Karganrood Catchment using AWBM Model and Fuzzy-ANP Method. *Physical Geography Research Quarterly*, 55 (3), 71-88.

<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2023.361608.1007778>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

Extended Abstract

Introduction

Each of the effective factors in causing floods has a different contribution to the risk of its occurrence at the level of catchment basins so that each can be prioritized according to its importance in the region. Reclamation of watersheds for flood control in one project is impractical due to its large size, expansion of impervious areas, and economic and operational issues that can increase flooding. The temporal or spatial zoning of flood risk in this area has not been done with any of the selected models, and the relevant authorities rarely take measures to reduce flood damage. More research is needed in this field to study the basin properly. This study was conducted with the aim of flood risk zoning using two AWBM and Fuzzy-ANP models.

Methodology

Monthly evapotranspiration, river flow, and precipitation data from 2006 to 2018 were used to simulate the runoff volume of Kerganrood Talesh River using the AWBM model for time zoning. The research used data from synoptic and hydrometric stations in Hashtpar, Lisar, Mashinkhaneh, Sheikh Darun Shandol, Kishli, Khan Balaghi, Piseson, and Davor Ardabil, prepared by the synoptic and Hydrometrical stations of Gilan and Ardabil Provinces. The required data is first arranged in Excel, in the format of RRL software, then it is defined for the model, and based on 9 parameters determined by the software itself, the simulation has been done to estimate the runoff and flood of this basin. This method evaluates the model's accuracy in simulating the observational data using the Nash-Sutcliffe coefficient index (EN2) as the objective function and the explanation coefficient (R2). Additionally, the sensitivity level of the parameters used in the model is investigated in the studied area.

In order to conduct spatial zoning, Cochran's formula was used to calculate the statistical sample size. Then, 30 questionnaires were distributed among experts in the field based on the research objective. The purpose, criteria, and sub-

criteria of the Super Decision software were determined, and 10 indicators were selected, which are factors such as geology, slope, land use, digital elevation model (DEM), precipitation, temperature, vegetation, soil, and distance from the river impact flood occurrences. This article will discuss the effect of each factor and how to map them.

Results and Discussion

According to the values estimated by the model and the graphs drawn in Excel, it can be concluded that the AWBM model has a relative ability to estimate the runoff trend in the Kerganrood watershed. The model attempts to replicate the highest river discharge points during the designated time series. Although it follows a uniform mode in simulation, it can compute the runoff flow process similar to reality. Therefore, the use of this model has been evaluated with average accuracy in monthly simulation and has obtained the required efficiency satisfactorily. In this model, the runoff graph shows an increasing trend over time in 2011, 2014, 2017 and 2018, which indicates the risk of flooding in the study area based on the floods recorded by the Water and Regional Organization of Gilan Province. This increasing trend and the peak of the river flow correspond to the floods of September and October 2011, 2014, 2017 and October 5, 2018, which caused significant damage to the area's residents.

In the spatial zoning of flood risk, the average data of Talesh synoptic station and 9 hydrometric stations recorded by the hydrometeorological and hydrological organization of Gilan province and Ardabil province were used to draw the map of the distribution of precipitation and temperature in the Kerganrood watershed. In the next step, the slope, slope direction, and topographic map were drawn using the digital elevation model (DEM) in the GIS software environment with a spatial resolution of 12.5 meters. Then, the waterways of the Karganrood basin have been classified after estimation by calculating the Euclidean distance from the river. In drawing the geological map, the 1:100,000 geological map of Talesh city

was used, and for drawing the soil map, the soil map of the whole of Iran was used. Finally, to draw land use and vegetation maps, Landsat satellite images have been used as inputs for spatial zoning of flood risk.

First, experts' opinions are used to weight indicators through network analysis in Super Decisions software. Then, layers are classified using GIS software, and a flood risk zoning map is created through the Weighted Overlay and Raster Calculate tools. In the end, an output map was extracted as a spatial flood zoning map of the Kerganrood Talesh basin with very low, low, medium, high, and very high-risk points, and the area of each floor was calculated.

Conclusion

The spatial zoning of flood risk in the Kerganrood Talesh watershed was done using AWBM and Fuzzy-ANP models. The Nash-Sutcliffe coefficient was 0.553 and 0.507 in the calibration and validation stages, respectively, based on the AWBM outputs. The estimated results have been evaluated as acceptable and show that in terms of time zoning, the trend of runoff in the years 2011, 2014, 2017 and 2018 is increasing and is in accordance with the floods that occurred in reality in the mentioned years. In the spatial zoning of flood risk using the fuzzy-ANP method, precipitation factors with 0.299856 and distance from the river with 0.150357 have the most significant impact compared to other factors about flood risk. However, the temperature factor with 0.0265413 has also obtained the least importance in causing floods in the studied basin. In the upper regions of the basin, the risk of flooding decreases as the height increases due to dense vegetation and resistant soil. 31.63% of the basin has very low flood risk, while 90.3% has a very high risk based on classification criteria. According to the results, it can be said that by taking appropriate measures and planning, the damage caused by floods in the studied area can be reduced as much as possible.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

پهنه‌بندی زمانی و مکانی خطر سیل خیزی در حوضه آبریز گرگان رود با استفاده از مدل AWBM و روش Fuzzy-ANP

سید اسدالله حجازی^۱، کوثر لقمان‌نیا^۲

۱- نویسنده مسئول، گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: S.hejazi@tabrizu.ac.ir
۲- گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: Kosar.loghmannia@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

ارزیابی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز مختلف از اقدامات مهم در زمینه کاهش خسارت‌های ناشی از سیل بشمار می‌رود. حوضه آبریز گرگان رود به‌عنوان یکی از حوضه‌های سیل‌خیز استان گیلان، در سال‌های اخیر همواره خسارت‌های فراوانی را به ساکنین منطقه تحمیل کرده است. از همین رو تحقیق جاری به دلیل خلاء مطالعاتی در این حوضه، اقدام به پهنه‌بندی خطر وقوع سیل نموده و به همین منظور از مدل AWBM و روش Fuzzy-ANP استفاده شده است که مقادیر به‌دست‌آمده از مدل‌سازی AWBM، روند رواناب را از لحاظ زمانی در سال‌های ۲۰۱۱، ۲۰۱۴، ۲۰۱۷ و اواخر ۲۰۱۸ صعودی برآورد نموده و با سیل‌های سال ۹۰، ۹۳، ۹۶ و ۹۷ برابری می‌کند. در پهنه‌بندی مکانی خطر وقوع سیل از ۱۰ فاکتور موثر شامل: بارش، دما، فاصله از رودخانه، شیب، جهت شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، زمین‌شناسی و خاک استفاده شد. در تحلیل نتایج بیش‌ترین خطر سیل‌خیزی در نواحی جنوبی و خروجی حوضه به دریای خزر برآورد شده که سکونت در حریم رودخانه، عدم توجه به آبخیزداری، تخریب جنگل و مراتع و تغییر کاربری اراضی از جمله مهم‌ترین عوامل موثر در این مسئله به‌شمار می‌آیند. در مجموع ۳/۹۰ درصد از مساحت حوضه دارای بیش‌ترین خطر وقوع سیل از نظر مکانی محاسبه شده است.

نوع مقاله:

مقاله مروری

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۳/۰۳

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۲/۰۶/۰۷

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۰۷/۰۸

تاریخ چاپ:

۱۴۰۲/۰۸/۱۲

واژگان کلیدی:

پهنه‌بندی زمانی و مکانی، روش Fuzzy-ANP، سیل‌خیزی، مدل AWBM

استناد: حجازی، سید اسدالله و لقمان‌نیا، کوثر. (۱۴۰۲). پهنه‌بندی زمانی و مکانی خطر سیل‌خیزی در حوضه آبریز گرگان رود با استفاده از مدل AWBM و روش Fuzzy-ANP. *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۵ (۳)، ۷۱-۸۸.

<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2023.361608.1007778>

مقدمه

فراوانی آب، وجود شاخه‌های متعدد رودخانه‌ای، اقلیم معتدل، آب‌های زیرزمینی کم‌عمق، زمین‌های پست و هموار، خاک‌های حاصلخیز با ظرفیت بالای نگهداری آب در آن‌ها از جمله ویژگی‌های مربوط به مناطق جلگه‌ای می‌باشد. این مناطق علاوه برداشتن چنین مزایایی همواره در معرض خطر اشباع زمین‌ها و سیل‌خیزی توسط رودخانه‌ها یا دریاها، خطر نفوذ آب‌شور و رسوب‌گذاری بالا هستند که از این‌رو خطر وقوع سیل یکی از تهدیدات جدی در این مناطق بشمار می‌آید (یوسف گمرکچی و همکاران، ۱۳۸۸: ۱). به دلیل وسعت زیاد حوضه‌های آبریز، گسترش حوضه‌های غیر قابل‌نفوذ و تنگناهای اقتصادی و اجرایی، احیای حوضه‌های آبریز از منظر کنترل سیل در یک پروژه واحد به‌تنهایی عملی نبوده و می‌تواند تأثیر معکوسی را برجای گذاشته و باعث افزایش وقوع سیل و تأثیرات آن شود (امیدوار و امیری، ۱۳۹۸: ۶۶). هر یک از عوامل موثر در ایجاد سیل، سهم متفاوتی در میزان خطر وقوع آن در سطح حوضه‌های آبریز دارند، به‌گونه‌ای که می‌توان هر یک را با توجه به میزان اهمیت آن در منطقه، اولویت‌بندی کرد. پژوهش‌های متعددی در این زمینه با روش‌های گوناگونی انجام‌گرفته است که از آن جمله می‌توان به برخی از آن‌ها اشاره نمود.

خیری‌زاده آروق و همکاران (۱۳۹۱) در حوضه آبریز مردق‌چای و عابدینی و بهشتی جاوید (۱۳۹۵) در حوضه آبخیز ليقوان‌چای خطر وقوع سیل را با استفاده از مدل ANP^۱ و سیستم اطلاعات جغرافیایی پهنه‌بندی نمودند و با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، منطقه مورد مطالعه‌شان را از نظر استعداد خطرپذیری، از خیلی کم تا خیلی زیاد طبقه‌بندی کردند. نیسانی و کریمی (۱۳۹۷) نیز ریسک‌پذیری سیل با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره را مبتنی بر استدلال شهودی دمپستر-شافر در حوضه آبخیز نکارود پهنه‌بندی نمودند. در مطالعه‌ای دیگر خدمت‌زاده و حسنی (۱۳۹۹) پهنه‌بندی سیلاب را برای حوضه آبریز شهرچای ارومیه با استفاده از مدل Fuzzy-ANP انجام دادند. نتایج حاصل از مطالعه آن‌ها نشان می‌دهد که بخش‌های جنوب شرقی حوضه با پتانسیل زیاد و خیلی زیاد، به‌عنوان سیل‌خیزترین بخش حوضه تعیین شده‌اند.

دستجردی و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیق خود کارایی دو مدل هیدرولوژیکی AWBM^۲ و SYMHYD^۳ و شبکه عصبی مصنوعی (MLP^۴ و RBF^۵) را برای شبیه‌سازی بارش-رواناب در حوضه باراریه نیشابور مقایسه کرده و نتایج حاصل نشان می‌دهد که تطابق زیادی بین مقادیر اوج بارندگی با اوج رواناب شبیه‌سازی‌شده توسط مدل‌ها و رواناب حداکثر خروجی از حوضه، وجود دارد.

محمدی‌وند و همکاران (۱۳۹۸) عملکرد مدل‌های Sacramento، AWBM و SIMHYD در شبیه‌سازی رواناب حوضه امامه را با استفاده از بهینه‌ساز واسنجی خودکار الگوریتم ژنتیک ارزیابی کردند. در این مطالعه نتایج نشان داد مدل SIMHYD نسبت به دو مدل دیگر عملکرد بهتری در شبیه‌سازی رواناب داشته است. قدیمی و همکاران (۱۴۰۱) پتانسیل سنجی سیل‌خیزی حوضه آبریز کن را با استفاده از پارامترهای مورفومتریکی انجام دادند. آنان برای این کار از دو روش AHP^۶ و ANP استفاده نمودند که نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان داد این مدل‌ها دارای دقت بالایی بوده و مورفومتریکی زیر حوضه‌ها تأثیر بسیاری در سیل‌خیزی دارند.

1. Analytical Network Process
2. Australian Water Balance Model
3. Simple Hydrology
4. Multilayer Perceptron
5. Radial Basis Function
6. Analytical Hierarchy process

جاسوال^۱ و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی به ارزیابی مقایسه‌ای مدل‌های مفهومی و فیزیکی بارش-رواناب پرداخته و نتایج به دست آمده از آن نشان می‌دهد که در بین تمامی مدل‌های تجزیه و تحلیل ارائه شده مدل TANK از مدل AWBM عملکرد بهتری را دارا می‌باشد. تربویدی^۲ و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای توسعه مدل AWBM و بررسی عملکرد، کارایی و تناسب آن در حوضه رودخانه شیپرا را مورد بررسی قرار داده‌اند، نتایج نشان می‌دهد که مدل اجرایی می‌تواند ویژگی‌های هیدروگرافی مانند منحنی مدت جریان را به طور موثر تخمین بزند.

در پژوهشی دیگر یانیک لی^۳ (۲۰۲۱) به ارزیابی عملکرد TANK و AWBM، مدل‌های بارش-رواناب پرداخته و نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که مدل AWBM نسبت به مدل TANK می‌تواند تخمین کافی از رواناب سالانه در حوضه‌های مورد مطالعه ارائه دهد.

اوهیمبو^۴ و همکاران (۲۰۲۲)، پتانسیل برداشت آب باران از حوضه فرعی راجونیو شمالی در کنیا را با استفاده از مدل تعادل آب استرالیا (AWBM) ارزیابی نمودند.

Nagireddy Masthan و همکاران (۲۰۲۲) به شبیه‌سازی جریان با استفاده از مدل‌های مفهومی و شبکه عصبی در زیر حوضه هماواتی هند پرداختند. نتایج آنان نیز نشان می‌دهد که مدل FFBNP^۵ در مقایسه با مدل‌های Sacramento و AWBM عملکرد بهتری را از خود نشان داده است.

هوا^۶ و همکاران (۲۰۲۳) با به کارگیری مدل جامع فازی DEMATEL-ANP به ارزیابی رویدادهای افکار عمومی پرداختند و نتایج حاصل از آن‌ها نشان داد که سیستم شاخص ساخته شده دقیق‌تر بوده و همچنین وابستگی متقابل شاخص‌ها به طور کامل در نظر گرفته می‌شود.

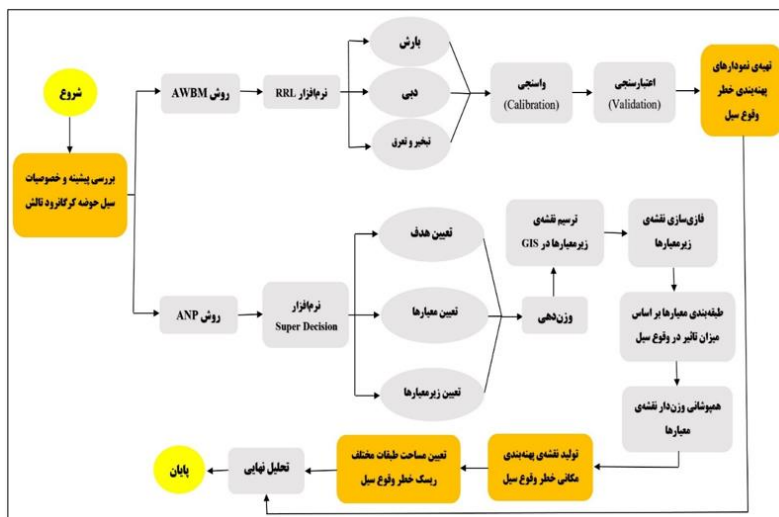
در نهایت ژیهوا^۷ و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی به یک مدل ارزیابی فازی ANP از کیفیت و نظارت بر ایمنی غذا بر اساس داده‌های چین پرداختند و نتایج مهمی در زمینه ایمنی و نظارت مواد غذایی توسط دولت به دست آوردند.

با توجه به بررسی پیشینه حوضه مورد مطالعه، پهنه‌بندی زمانی یا مکانی خطر وقوع سیل با هیچ کدام از مدل‌های انتخابی، در این منطقه صورت نگرفته و اقدامات لازم در زمینه کاهش خسارت‌های ناشی از سیل توسط مسئولین ذی‌ربط به ندرت قابل مشاهده است. از این رو خلاء مطالعاتی زمینه را برای تحقیق و بررسی بیشتر این حوضه آبریز فراهم کرده است. بدین جهت هدف از این پژوهش پهنه‌بندی زمانی و مکانی خطر سیل با استفاده از دو مدل Fuzzy- و AWBM می‌باشد.

روش پژوهش

با توجه به شکل ۲ یکی از مراحل مهم در پهنه‌بندی زمانی و مکانی خطر سیل خیزی، شناسایی عوامل تأثیرگذار در میزان خطرپذیری حوضه آبریز کرگان رود تالش در برابر سیل است که روش‌های بکار گرفته شده به طور مجزا شرح داده شده‌اند.

1. Jaiswal
2. Trivedi
3. Yining Li
4. Odhiambo
4. Feed forward back propagation neural network
6. Hua
7. Xiuhua



شکل ۱. روند کلی اجرای پژوهش

مدل AWBM

مدل‌های هیدرولوژیکی سبب شده‌اند تا جریان رواناب در حوضه‌هایی که قابلیت اندازه‌گیری ندارند را بتوان شبیه‌سازی کرد و به‌صورت شماتیک نمایش داد و با کم‌ترین هزینه و زمان از خروجی آن برای مسائل مدیریتی بهره برد. نرم‌افزار RRL^۱ با استفاده از داده‌های مشاهداتی بارش، تبخیر و تعرق و دبی مشاهداتی برای شبیه‌سازی یک مدل بارش-رواناب تهیه و تدوین شده است. این نرم‌افزار به دو صورت ماهانه یا روزانه در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۴ برای تحلیل حوضه‌های هیدرولوژیکی در استرالیا توسط موسسه CRCCH طراحی شده است. اکثر فعالیت‌های این موسسه در رابطه با مسائل هیدرولوژی حوضه‌های آبریز می‌باشد. این نرم‌افزار حاوی پنج مدل بارش-رواناب توده‌ای عادی، روش‌های بهینه‌سازی سازهای واسنجی و ابزاری برای سهولت در واسنجی مدل است که این مدل‌ها عبارت‌اند از: AWBM، SIMHYD، TANK، SMAR و SACRAMENTA (Boughton, 2004: 944). ورودی‌های این نرم‌افزار در Excel دسته‌بندی شده و سپس به‌صورت فرمت Text وارد نرم‌افزار می‌شود. در محیط RRL با انتخاب هر کدام از مدل‌ها بر حسب موضوع مورد مطالعه، امکان دسترسی به مواردی همچون واسنجی، اعتبارسنجی، شبیه‌سازی و در آخر آنالیز حساسیت فراهم شده است.

از ویژگی‌های مهم این نرم‌افزار می‌توان به توانایی اجرای واسنجی به شکل قابل مشاهده‌ای اشاره کرد. بدین معنا که روند فرآیند واسنجی، در واقع مقدار تابع هدف منتخب، به‌صورت گرافیکی قابل‌شناسایی و مشاهده است. مدل AWBM^۲ یک مدل رایانه‌ای بیلان آبی است که برای شبیه‌سازی بارش-رواناب در حوضه‌های آبریز طراحی شده است. این مدل اولین بار توسط هیدرولوژیستی بنام Boughton ارائه گردید. مدل AWBM توانایی برآورد رواناب در سری زمانی ماهانه، روزانه یا ساعتی را دارا می‌باشد. از جمله مزیت‌های این مدل که باعث برتری نسبت به سایر مدل‌های بارش-رواناب در این نرم‌افزار می‌باشد، می‌توان به ساختار تقریباً ساده آن اشاره کرد. همچنین ورودی‌های مورد نیاز برای پردازش مدل علاوه بر تنوع کم پارامترها، به راحتی قابل دسترس می‌باشند. از دیگر ویژگی این مدل سه پارامتره بودن آن است و در زمانی که رودخانه‌های فصلی، جریان پایه ندارند، می‌تواند یک پارامتره شود. به همین دلیل یکی از بهترین مدل‌ها برای پیش‌بینی رواناب در مناطق خشک و گرمسیری نیز محسوب می‌شود (زرین و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۹۸).

1. Rainfall Runoff Library
2. Australian Water Balance Model

این مدل رواناب را علاوه بر زمان‌های مختلف در مکان‌های متفاوتی نیز اندازه‌گیری می‌کند. در واقع برای برآورد مکان‌های جزئی رواناب از سه مخزن سطحی (Storel 1, Storel 2, Storel 3) با وسعت‌های (A1- A2- A3) بهره می‌جوید. به طوری که بیلان آبی در هر مخزن سطحی جدایی از مخازن سطحی دیگر در نظر گرفته می‌شود. در هنگام بارندگی میزان بارش به هر سه مخزن رطوبتی اضافه شده و مقدار تبخیر و تعرق از آن کاهش می‌یابد در واقع معادله تعادل آب در این مدل از این رابطه تبعیت می‌کند:

$$N = (1,2,3) \text{ Store } n+1 = \text{Store } n + \text{Rain} - \text{Evap} \quad (\text{رابطه ۱})$$

بر اساس این رابطه اگر رطوبت نفوذ یافته و ذخیره شده در ذخایر سطحی منفی شود، مقدار آن صفر در نظر گرفته می‌شود اما اگر آب ذخیره شده در مخزن بیشتر از ظرفیت آن باشند، در آن صورت رواناب مازاد شکل گرفته و آب ذخیره شده معادل گنجایش مخزن باقی می‌ماند.

پارامترهای اصلی این مدل عبارت‌اند از:

۱- شاخص رواناب پایه (BFI)

۲- ثابت خشکیدگی روزانه جریان (K)

۳- آستانه ذخایر سطحی (C_1, C_2, C_3) و مساحت‌های ناظر بر این گنجایش‌ها (A_1, A_2, A_3).

هنگامی که بارش رخ می‌دهد، ابتدا ظرفیت اول این ذخایر (C_1) سپس به ترتیب ظرفیت دوم (C_2) و سوم (C_3) ذخایر سطحی پر می‌شود. بنابراین اولین گنجایش از نظر ذخیره آب‌های سطحی، کم‌ترین گنجایش را در قسمتی از حوضه آبریز دارا می‌باشد که مربوط به مساحت ناظر بر آن (A_1) است. بخش‌های دیگر نیز هر کدام ناظر بر ظرفیت‌های دوم و سوم می‌باشد. بر اساس این موضوع، بخش A_1 که متناظر بر اولین ظرفیت ذخایر سطحی است دارای کم‌ترین نفوذپذیری به خاک و بخش دوم (A_2) دارای نفوذپذیری متوسط و در نهایت بخش سوم (A_3) بیش‌ترین نفوذپذیری با ظرفیت بالا و کم‌ترین میزان گنجایش ذخیره رواناب سطحی را داراست. علاوه بر این‌ها یک پتانسیل ذخیره متوسطی (C_{ave}) نیز وجود دارد که از روابط زیر پیروی می‌کند:

$$C_1 = 0.01(C_{ave} / A_1) \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$C_2 = 0.33(C_{ave} / A_2) \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$C_3 = 0.66(C_{ave} / A_3) \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$A_1 = 0.133 \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$A_2 = 0.433 \quad (\text{رابطه ۶})$$

$$A_3 = 0.433 \quad (\text{رابطه ۷})$$

برای اجرای فرآیند واسنجی در مدل AWBM در ابتدا مدل، یک ظرفیت ذخیره متوسطی (C_{ave}) را در نظر می‌گیرد و با استفاده از شاخص رواناب پایه (BFI) و ثابت خشکیدگی روزانه جریان به دست آمده توسط برنامه NBFLOW با پیروی از معادله دوم و سوم، مقادیر C_1, C_2 و C_3 را با مساحت‌های فرض شده متناظر با آن‌ها یعنی $A_1 = 0.133$ ، $A_2 = 0.433$ و $A_3 = 0.433$ محاسبه کرده و به دست می‌آورد. در پایان با استفاده از مقادیر به دست آمده این سطوح فرضی را اصلاح می‌کند.

در این مدل مقدار شاخص ظرفیت ذخیره متوسط (C_{ave}) از میان اعداد فرضی ۵، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ که به صورت پیش فرض در مدل مشخص شده است، به شکلی تعیین می‌شود که کم‌ترین اختلاف میان رواناب مشاهداتی با رواناب

شبیه‌سازی شده وجود داشته باشد. این فرآیند نیز از رابطه زیر پیروی می‌کند:

$$\text{Act} = e_1A_1 + e_2A_2 + e_3A_3 \quad (\text{رابطه ۸})$$

در این رابطه Act: مقدار رواناب مشاهداتی روزانه

e_n : رواناب شبیه‌سازی شده روزانه در هر یک از مساحت‌ها

A_n : مساحت هر ظرفیت ذخیره، می‌باشد (Boughton, 2002: 948)

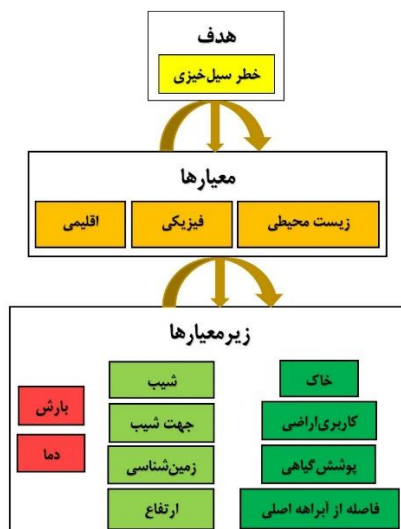
از دیگر توانایی‌های این مدل امکان محاسبه جریان پایه است. به‌گونه‌ای که وقتی در اثر اشباع هریک از سطح ذخیره‌ای که رواناب ایجاد شود، در صورت وجود جریان پایه در آن بخش، قسمتی از رواناب به جریان پایه می‌پیوندد. این محاسبه در مدل از طریق معادله زیر اجرا می‌گردد:

$$\text{Base flow} = \text{BFI} * \text{Runoff} \quad (\text{رابطه ۹})$$

ارزیابی پارامترهای مدل AWBM را می‌توان به چند روش انجام داد. این روش‌ها عبارت‌اند از: آنالیز وقایع، روش رگرسیون چندمتغیره گام‌به‌گام و روش رگرسیون چندمتغیره اتوماتیک که داده‌های خام ورودی مدل در فرمت‌های خاصی تهیه و مرتب‌شده، سپس برای پردازش در مدل تعریف شده است.

مدل Fuzzy-ANP

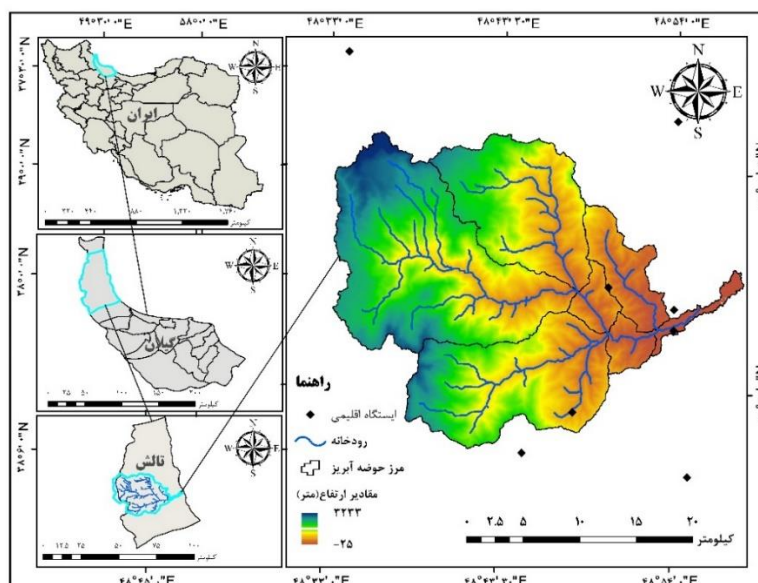
فرآیند تحلیل شبکه‌ای یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که توسط توماس ال ساعتی در سال ۱۹۸۰ بهبود یافته است. برای حل یک مسئله به این روش، ابتدا باید شبکه‌ای از هدف، معیارها و زیرمعیارها، گزینه‌ها و روابط میان آن‌ها شناسایی و تعریف شود و در مرحله بعد مقایسه‌های زوجی انجام گیرد. معیاری که مقایسه‌های زوجی نسبت به آن یا با توجه به آن انجام می‌شود، معیار کنترلی نامیده می‌شود. وزن معیارها و وزن گزینه‌ها در سوپر ماتریسی که سطرها به مقدار ثابتی میل کنند، به دست می‌آیند (مؤمنی و شریفی سلیم، ۱۳۹۰). در حقیقت مدل ANP روابط متقابل بین مؤلفه‌ها را نیز نشان می‌دهد (Saaty & Vargas, 2006: 48). در ANP اندازه‌گیری مقادیر اهمیت نسبی، با مقایسه‌های زوجی و به کمک طیف ۱ تا ۹ انجام می‌شود. عدد ۱ نشان‌دهنده اهمیت برابر بین دو عامل و عدد ۹ نشان‌دهنده اهمیت زیاد یک عامل نسبت به عامل دیگر است. لازمه استفاده از این روش، شناخت کامل از هدف تصمیم‌گیری، محیط تصمیم و تمامی عناصر تصمیم‌گیری به‌وسیله تصمیم‌گیرنده است. این شناخت به این دلیل نیاز است که تصمیم‌گیرنده بتواند همه معیارهای مؤثر در تصمیم را تعیین و تأثیر آن‌ها بر یکدیگر را معین کرده و بتواند واقعی‌ترین حالت از شبکه را ترسیم کند (خدمت‌زاده و حسنی، ۱۳۹۹: ۷۳). برای تهیه این ساختار شبکه‌ای از روش‌های مختلفی به‌مانند توفان فکری، گروه اسمی و یا روش‌های ریاضی مانند DEMATEL استفاده می‌کنند. در این شبکه وابستگی‌های خارجی به‌صورت پیکان و وابستگی‌های داخلی به‌صورت کمان نشان داده می‌شود (زبردست، ۱۳۸۹: ۸۱).



شکل ۲. وزن دهی به روش ANP

محدوده مورد مطالعه

حوضه آبریز کرگان رود با مساحتی بالغ بر ۵۸۱/۱۴ کیلومترمربع و با محیطی حدود ۱۲۷ کیلومتر از رودخانه‌های شهرستان تالش و همین‌طور از مهم‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه‌های استان گیلان می‌باشد. این رودخانه در شمال غرب این استان واقع شده و از ارتفاعات ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متری تالش با مختصات جغرافیایی ۲۴° ۴۱' ۳۷" تا ۳۷° ۵۸' ۳۷" عرض شمالی و ۴۸° ۳۱' ۴۸" تا ۴۸° ۵۸' ۴۸" طول شرقی سرچشمه گرفته است. از منظر تقسیمات سیاسی، از شمال به حوضه هره‌دشت لیسار، از جنوب به حوضه ناورود اسالم، از غرب به استان اردبیل حوضه آبریز آرپاچای و هروآباد و از شرق به دریای خزر محدود می‌شود. طول آبراهه اصلی آن نیز ۵۵ کیلومتر است و شامل سه‌شاخه اصلی آق اولر، ویزنه سر و رزه می‌باشد که از به هم پیوستن آن‌ها در روستاهای ماشین‌خانه و کیش‌دیبی جریان یافته و زهکشی می‌شود. شکل حوضه نشانگر حوضه‌ای نسبتاً کشیده است. حداکثر ارتفاع آن از سطح دریا ۳۲۰۰ متر در خط‌الرأس شمال غربی و حداقل ارتفاع سطح حوضه ۲۰- متر در قسمت خروجی آبریز است. همچنین ارتفاع متوسط حوضه ۱۳۸۲/۴۹ متر می‌باشد.



شکل ۳. نقشه موقعیت جغرافیایی رودخانه کرگان رود تالش

یافته‌ها

نتایج حاصل از مدل AWBM

برای پهنه‌بندی زمانی با استفاده از مدل AWBM از سه نوع داده تبخیر و تعرق، دبی مشاهداتی و بارش به صورت ماهانه مربوط به سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ برای شبیه‌سازی حجم رواناب رودخانه کرگان رود تالش بهره گرفته شده است. داده‌های مورد استفاده در تحقیق مربوط به ایستگاه سینوپتیک تالش و هیدرومتری هشتپر، لیسار، ماشین‌خانه، شیخ دارون شاندرول، کیشلی، خان بلاغی، پیسه‌سون و داوور اردبیل است که توسط سازمان آب‌وهوا شناسی و آب منطقه‌ای استان گیلان و اردبیل تهیه شده است. داده‌های مورد نیاز ابتدا در نرم‌افزار Excel به فرمت خاص نرم‌افزار RRL درآمده، سپس برای مدل تعریف شده است و بر اساس ۹ پارامتر تعیین شده توسط خود نرم‌افزار برای برآورد رواناب و سیل این حوضه شبیه‌سازی صورت گرفته است.

در این روش، شاخص ضریب نش-ساتکلیف (E_{N2}) به عنوان تابع هدف، که بیانگر اختلاف میان داده‌های مشاهداتی با مقادیر شبیه‌سازی شده است و ضریب تبیین (R^2) جهت سنجش دقت مدل در شبیه‌سازی، در نظر گرفته شده و پارامترهای استفاده شده در این مدل با میزان حساسیت آن‌ها در منطقه مورد مطالعه، مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۱. حساسیت پارامترهای مورد استفاده در مدل AWBM

نام پارامتر	توضیحات پارامتر	حداکثر	حداقل	مقادیر بهینه
A1	وسعت ذخیره سطحی اول	۱	۰	۰/۱۳۴
A2	وسعت ذخیره سطحی دوم	۱	۰	۰/۴۳۳
BFI	شاخص رواناب پایه	۱	۰	۰/۶۷۸
C1	آستانه ذخیره سطحی اول	۵۰	۰	۰/۳۹۲
C2	آستانه ذخیره سطحی دوم	۲۰۰	۰	۰/۷۸۴
C3	آستانه ذخیره سطحی سوم	۵۰۰	۰	۳۸۶/۲۷
KBase	ثابت خشکیدگی جریان پایه	۱	۰	۰/۹۸۸
KSurf	ثابت خشکیدگی رواناب سطحی	۱	۰	۰/۳۸۸

منبع: (Boughton, 2004: 943-956)

با توجه به مقادیر پهنه به دست آمده توسط مدل، از مقدار A2، این موضوع استنباط می‌شود که حوضه آبریز مورد مطالعه از سطوحی با نفوذپذیری متوسط برخوردار بوده و با نگاهی اجمالی به مقدار ثابت خشکیدگی رواناب می‌توان دریافت که تبخیر و تعرق ماهانه در این منطقه بسیار زیاد است. اگرچه اقلیم مرطوب حاکم در محدوده، بارش فراوان و همچنین دبی بالای جریان از عوامل تأثیرگذار در تشکیل رواناب و روند سیل‌آسای آن در پایین دست حوضه کرگان رود بشمار می‌آید ولی، به سبب جنس و بافت خاک تشکیل دهنده حوضه و همچنین جنگلی بودن پوشش گیاهی حاکم در بالادست، سطح زمین نسبتاً مقاوم بوده و از نفوذپذیری ضعیفی برخوردار است. بنابراین خروجی‌های به دست آمده با واقعیت مطابقت می‌کند و از آنالیز حساسیت مدل AWBM این نتیجه حاصل می‌شود که مدل نسبت به تمامی پارامترها حساس بوده اما این حساسیت در برخی کم‌تر و در برخی بیش‌تر است. به گونه‌ای که A1 دارای کم‌ترین تأثیر و C3 دارای بیش‌ترین تأثیر در مدل‌سازی صورت گرفته است. برای مرحله واسنجی مدل از داده‌های مشاهداتی مربوط به سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵ استفاده شده و برای مرحله اعتبارسنجی نیز سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ به صورت ماهانه انجام گرفته است. مقادیر نتایج شاخص‌های آماری تعیین شده برای مدل در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

جدول ۲. مقادیر به دست آمده در فرآیند واسنجی و اعتبارسنجی مدل AWBM

دوره زمانی	ضریب نش-ساتکلیف (E_{N2})	ضریب تبیین (R^2)
واسنجی (۲۰۰۶-۲۰۱۵)	۰/۵۵۳	۰/۷۹۷
اعتبارسنجی (۲۰۱۶-۲۰۱۸)	۰/۵۰۷	۰/۹۰

جدول ۳. مقادیر به دست آمده از ریشه میانگین مربعات خطا در مرحله واسنجی AWBM

مقادیر پارامترها	پارامترهای ریشه میانگین مربعات خطا
n	۱۲۰
MAD	۲/۰۲۳
MSE	۸/۸۴۹
RMSE	۲/۹۷۵
MAPE	۳۰/۸۹۰
R(XY)	۰/۸۹

جدول ۴. مقادیر به دست آمده از ریشه میانگین مربعات خطا در مرحله اعتبارسنجی AWBM

مقادیر پارامترها	پارامترهای ریشه میانگین مربعات خطا
n	۱۲۰
MAD	۲/۰۲۳
MSE	۸/۸۴۹
RMSE	۲/۹۷۵
MAPE	۳۰/۸۹۰
R(XY)	۰/۸۹

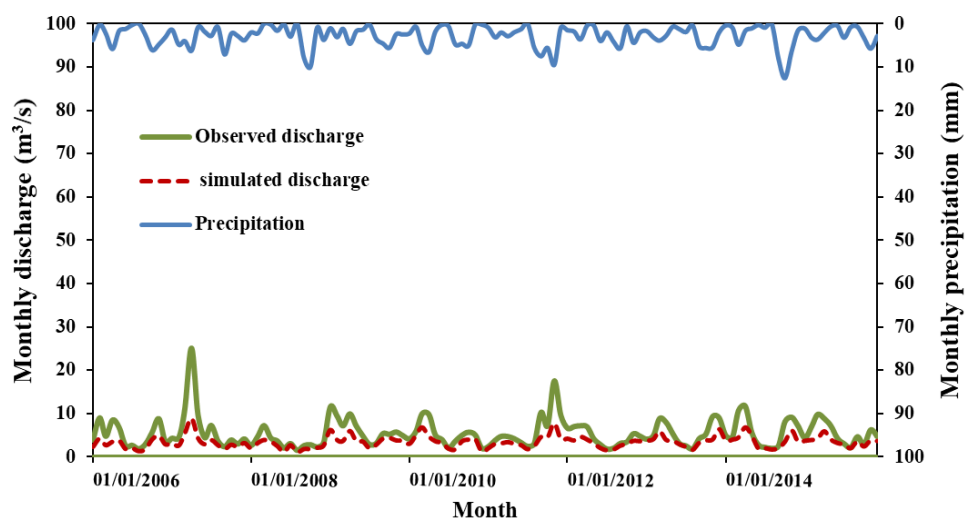
جدول ۵. محدوده عملکرد و ارزیابی شاخص‌های R2 و ENS

شاخص	مقادیر	طبقات
R^2	۰/۵	ناکارآمد
	۰/۵ - ۰/۶	رضایت‌بخش
	۰/۶ - ۰/۷	خوب
	۰/۷ - ۱	خیلی خوب

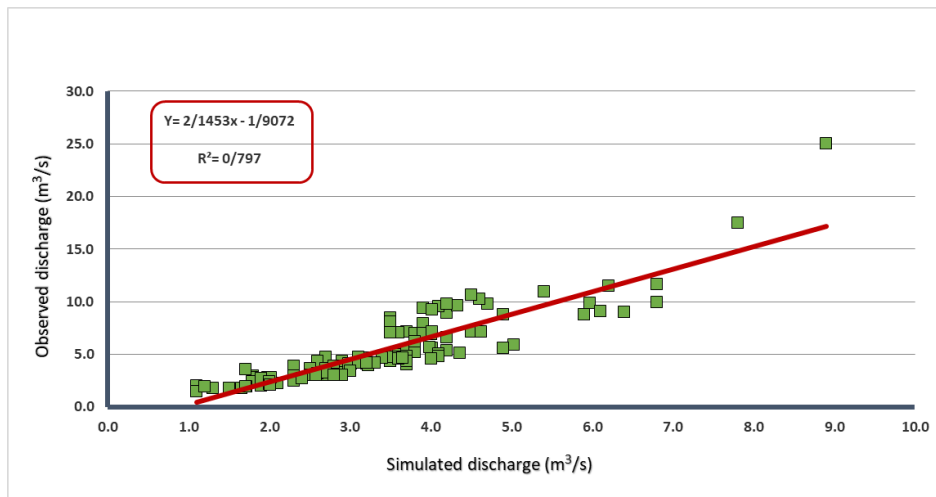
ناکارآمد	< ۰/۴	E _{NS}
قابل قبول	۰/۴ - ۰/۵	
رضایت بخش	۰/۵ - ۰/۶۵	
خوب	۰/۶۵ - ۰/۷۵	
خیلی خوب	۰/۷۵ - ۱	

منبع: (Moriasi et al, 2007: 885-900 & Kult et al, 2014: 30-38)

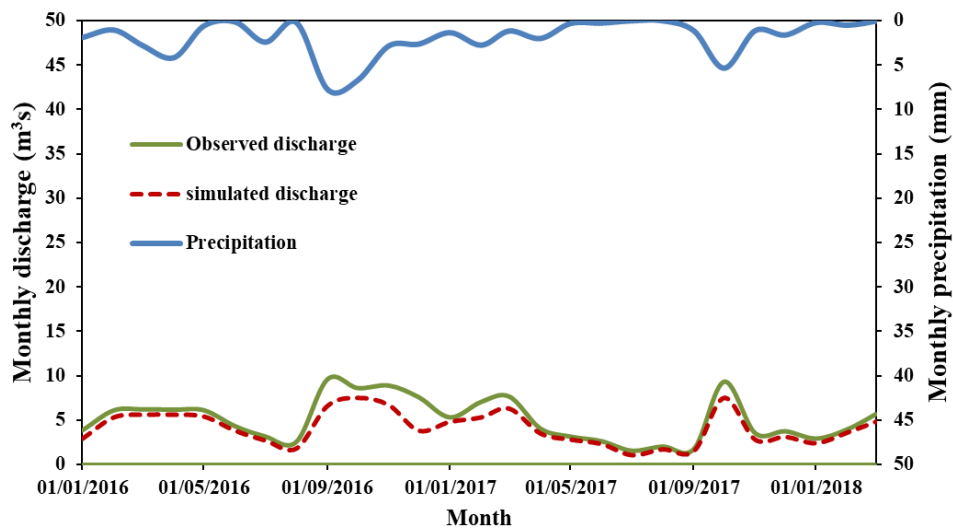
با توجه به مقادیر برآورد شده توسط مدل و نمودارهای ترسیم شده در Excel می‌توان به این نتیجه دست یافت که مدل AWBM از توانایی نسبی در برآورد روند رواناب در حوضه آبریز کرگان رود برخوردار است. مدل سعی در شبیه‌سازی نقاط پیک دبی را در سری زمانی تعیین شده دارد، ولی از حالت یکنواخت و کم برآوردی در شبیه‌سازی پیروی می‌کند. باین وجود توانسته است تا روند جریان رواناب را مشابه با واقعیت محاسبه کند. بنابراین استفاده از این مدل با دقت متوسط در شبیه‌سازی ماهانه ارزیابی شده و کارایی موردنیاز را به‌طور رضایت‌بخشی به دست آورده است. در نمودارهای به‌دست‌آمده از این مدل، رواناب از نظر زمانی در سال‌های ۲۰۱۱، ۲۰۱۴، ۲۰۱۷ و اواخر ۲۰۱۸ روندی افزایشی داشته و نشان‌دهنده احتمال وقوع سیلاب در منطقه مورد مطالعه است که با توجه به سیل‌های ثبت شده توسط سازمان آب و منطقه‌ای استان گیلان دریافت شد که این روند افزایشی و پیک رواناب رودخانه با سیل‌های شهریور و مهرماه سال ۹۰، ۹۳، ۹۶ و ۵ مهرماه سال ۹۷ مطابقت دارد و خسارت‌های جانی و مالی فراوانی برای ساکنین این منطقه به همراه داشته است. به‌گونه‌ای که مطابق با گزارش مدیریت بحران استان گیلان، در اثر تغییرات اقلیمی، حجم بارندگی‌ها افزایش یافته و به دلیل عبور رودخانه کرگانرود از وسط شهرستان تالش و توسعه شهری در امتداد آن سبب تجاوز به حریم رودخانه و ساخت‌وساز در بستر آبراهه‌ها و به دنبال آن افزایش سیل در این رودخانه شده است. با توجه به نقشه خاک این منطقه، به علت وجود خاک نسبتاً مقاوم و پوشش گیاهی انبوه در بالادست حوضه، زمان تمرکز آب کاهش یافته و رواناب مازاد بر نفوذ با سرعت بیشتری به سمت خروجی حوضه جریان می‌یابد که تغییرات شیب، تخریب جنگل و تغییر کاربری اراضی در پایین دست نیز به‌عنوان عواملی تشدیدکننده در سرعت حرکت جریان بشمار رفته و در نهایت پدیده سیل را در حوضه کرگان رود به بار می‌آورد. از همین رو ایجاد زیرساخت‌های لازم به‌منظور کاهش خسارت‌های ناشی از حوادثی چون سیل و ممانعت از وقوع چنین بحران‌هایی نیازمند توجه و عزم جدی مسئولان متولی امر است.



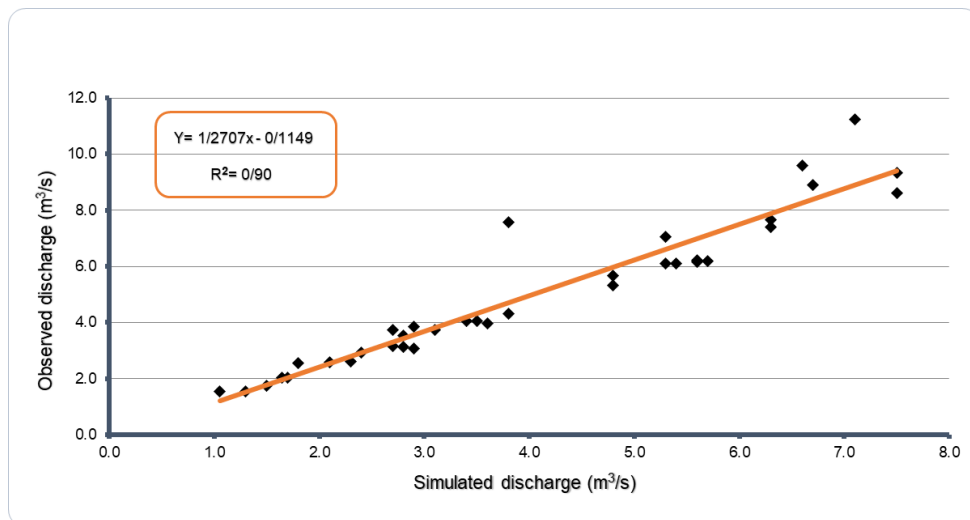
شکل ۴. مقادیر ماهانه دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی مدل AWBM



شکل ۵. نمودار رگرسیون خطی میان دبی‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده - واسنجی مدل AWBM



شکل ۶. مقادیر ماهانه دبی‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده در مرحله اعتبارسنجی مدل AWBM



شکل ۷. نمودار رگرسیون خطی بین دبی‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده - اعتبارسنجی مدل AWBM

نتایج حاصل از مدل Fuzzy-ANP

برای انجام پهنه‌بندی مکانی، حجم نمونه آماری بر اساس فرمول کوکران محاسبه و تعداد ۳۰ پرسشنامه مطابق با هدف پژوهش بین کارشناسان خبره در این حوزه توزیع گردید. سپس هدف، معیارها و زیرمعیارها مشخص گردیده و برای نرم‌افزار Super Decision تعریف شدند. ۱۰ شاخصی که برگزیده شدند عبارت‌اند از: عوامل زمین‌شناسی، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، مدل رقومی ارتفاع (DEM)، بارش، دما، پوشش گیاهی، خاک و فاصله از رودخانه که در ادامه به تأثیر هر کدام بر وقوع سیل و چگونگی ترسیم نقشه هر یک از این عوامل پرداخته می‌شود.

در بررسی توزیع مکانی بارش و رابطه آن با ارتفاع در رشته‌کوه‌های البرز این نتایج حاصل شده است که میزان بارش در البرز رابطه معکوسی با ارتفاع داشته و با افزایش فاصله از سواحل دریای خزر به سمت بالادست، از مقدار بارش‌های جوی کاسته می‌شود (علیچانی، ۱۳۷۴: ۴۵). این در حالی است که در دامنه‌های غربی زاگرس حالتی معکوس حاکم بوده و رابطه قوی و مستقیم میان بارش و ارتفاع وجود دارد (مسعودیان، ۱۳۷۷: ۵۳). خصوصاً در فصل پاییز این اختلاف میان بارش و ارتفاع در ارتفاعات تالش افزایش یافته و در فصل بهار به دلیل اینکه آب دریای خزر خنک بوده اما میزان تابش خورشید نسبتاً عمودی است، هوا در خشکی و ارتفاعات بالاتر گرم‌تر شده و شروع به صعود می‌کند. در اثر اشباع این هوای صعود کرده، بارش در ارتفاعات بالاتر رخ می‌دهد. بدین جهت است که فقط در فصل بهار بارش در ارتفاعات حوضه مورد مطالعه بیشتر خواهد بود (علیچانی، ۱۳۷۶: ۱۰۶) ولی در حالت کلی بارندگی‌های صورت گرفته در سواحل دریای خزر نسبت به ارتفاعات بیشتر است که در سیل‌خیزی منطقه نقش مهمی ایفا می‌کند. به گونه‌ای که با تغییرات فصلی دما و به دنبال آن حجم بارندگی‌ها، سبب افزایش دبی رودخانه شده و رواناب مازاد بر نفوذ را تشکیل می‌دهد. این رواناب مازاد بر نفوذ توسط عوامل دیگر تقویت شده و پدیده سیلاب را به وجود می‌آورد.

برای ترسیم نقشه توزیع بارش و دمای حوضه آبریز کرگان رود از میانگین داده‌های مربوط به ایستگاه سینوپتیک تالش و ایستگاه هیدرومتری هشتپر، لیسار، ماشین‌خانه، شیخ دارون شان‌دول، کیشلی، خان بلاغی، پیسه‌سون و داوور اردبیل استفاده شده است که از سازمان آب‌وهوا شناسی و آب منطقه‌ای استان گیلان و استان اردبیل اخذ گردید. سپس در نرم‌افزار GIS با دستور IDW درون‌یابی نقاط میانگین بارشی و دما انجام گرفت.

از طرفی دیگر با افزایش شیب عمومی سطح حوضه، شرایط لازم برای نفوذ رطوبت کاهش یافته و می‌توان گفت با افزایش شیب حوضه، زمان تمرکز کاهش می‌یابد (نجمایی، ۱۳۶۸: ۱۱۵). شیب‌های زیاد سبب ایجاد پیک‌های بالا در هیدروگراف رودخانه می‌شوند (زاهدی و بیاتی خطیبی، ۱۳۸۷: ۶۸). فاکتور جهات شیب نیز، به‌عنوان عامل تأثیرگذار بر برخی فرآیندهای هیدرولوژیکی به‌مانند ذوب برف و تنوع پوشش گیاهی در حوضه‌های آبریز، سبب شده تا رواناب با شدت بیشتری حرکت کرده و سیل را به ارمغان بیاورد. ترسیم نقشه شیب و جهت شیب با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM)، با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر، در محیط نرم‌افزار GIS ترسیم گردیده است.

آبراهه‌ها محل عبور آب رودخانه بوده و مسلماً به‌عنوان محلی برای تجمع آب و تشکیل سیل مطرح می‌شوند. نواحی‌ای از شهر یا حومه یک شهر که در مجاورت با این آبراهه‌ها قرار دارند، از خطر خسارت و تخریب بیشتری در مقابل سیلاب‌ها برخوردارند. با توجه به وضعیت توپوگرافی حوضه آبریز کرگان رود، قرارگیری و امتداد یافتن نواحی بالادست این رودخانه در ارتفاع ۲۵۰۰ متری از سطح دریا، به‌عنوان عامل دیگری در ایجاد سیل منطقه محسوب می‌شوند. با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) و با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر تصاویر مربوط به ماهواره PALSAR، آبراهه‌های حوضه کرگان رود در محیط GIS برآورد شده، سپس بعد از محاسبه فاصله اقلیدسی از رودخانه، کلاس‌بندی

شده است.

در بررسی سایر عوامل، نوع سازند و پوشش خاک، ظرفیت نفوذ را تحت تأثیر قرار می‌دهد. خاک یا سنگ قابل نفوذ، شرایط نفوذ آب به داخل زمین را فراهم می‌کند و تخلیه آن را به داخل رودخانه اصلی به تأخیر می‌اندازد. از این رو رواناب سطحی نیز کاهش می‌یابد. در مقابل حوضه‌هایی با سنگ بستر یا خاک به نسبت غیر قابل نفوذ، حجم بالایی از رواناب سطحی را به وجود می‌آورد (Garde, 2006: 85).

برای ترسیم نقشه زمین‌شناسی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ شهرستان تالش و برای ترسیم نقشه خاک، از نقشه خاک کلی ایران استفاده شده است.

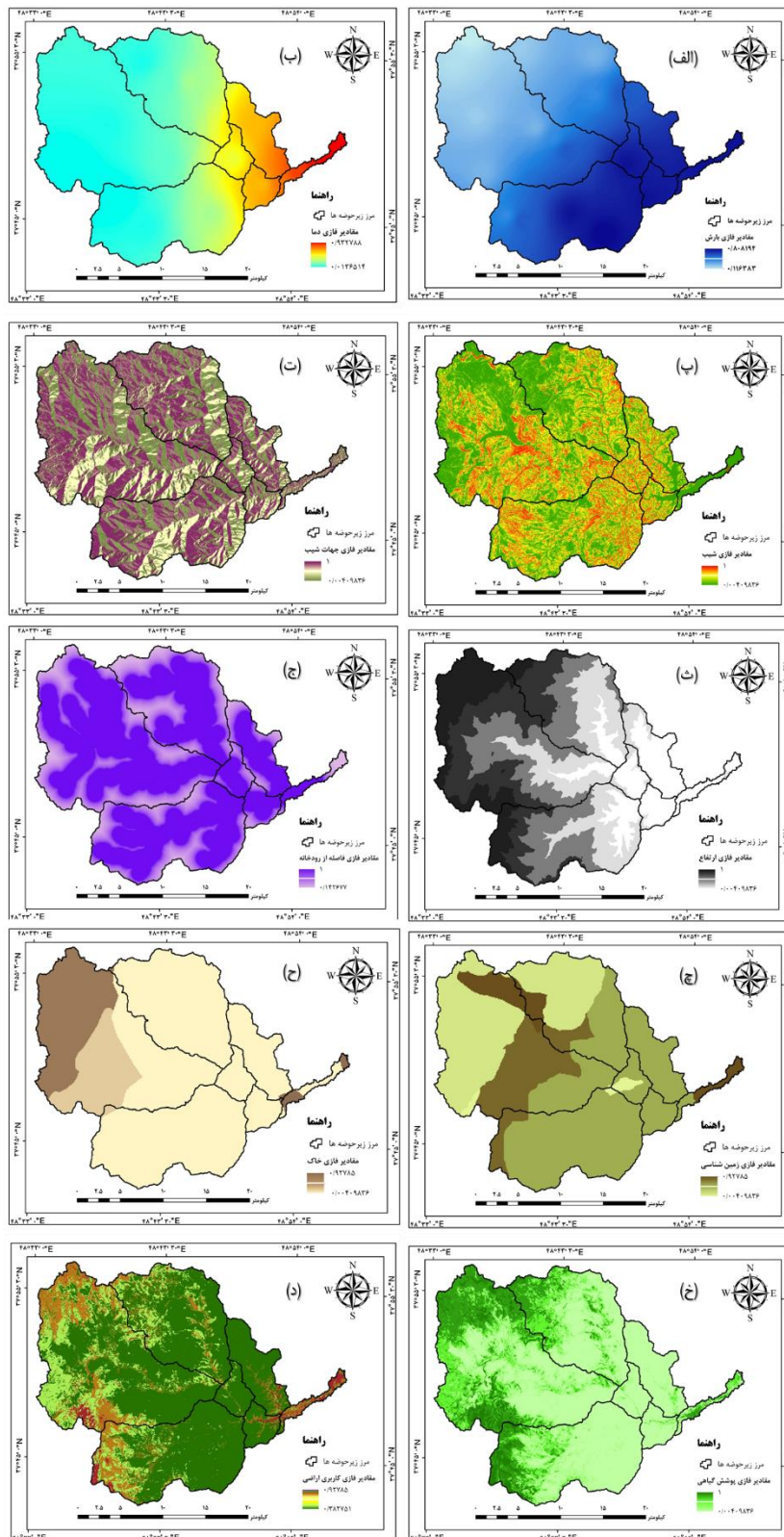
در نهایت تغییرات کاربری اراضی نیز تأثیر زیادی بر رفتار هیدرولوژیکی حوضه، مانند کاهش نفوذ عمقی، ایجاد رواناب سطحی و افزایش فرسایش آبی یا حتی بادی دارد. از طرفی دیگر مطالعات پژوهشگران نشان می‌دهد که مقدار آب و بار رسوب، بیک‌های سیلاب و زمان وقوع آن‌ها و همچنین سرعت انتقال پیک رواناب به شدت، به ماهیت و گسترش پوشش گیاهی وابسته است (Garde, 2006:76). از این رو برای ترسیم نقشه کاربری اراضی از تصاویر سنجنده چند طیفی OLI ماهواره لندست ۸ و برای ترسیم تراکم پوشش گیاهی از تصاویر ماهواره لندست مربوط به سال ۲۰۲۲ استفاده شده است. در نهایت با استفاده از روش تحلیل شبکه در نرم‌افزار Super Decisions و با بهره‌گیری از نظرات کارشناسان، وزن دهی به شاخص‌های مورد استفاده انجام و با استفاده از نرم‌افزار GIS کلاس‌بندی لایه‌ها صورت گرفته سپس با استفاده از ابزارهای Weighted Overlay و Raster Calculate به تهیه نقشه خروجی پهنه‌بندی خطر سیلاب اقدام گردید. در نهایت یک نقشه خروجی به‌عنوان نقشه پهنه‌بندی مکانی سیل‌خیزی حوضه کرگان رود تالش با نقاط خطرپذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد استخراج و مساحت هر طبقه محاسبه شده است.

جدول ۶. وزن نهایی معیارها به روش ANP

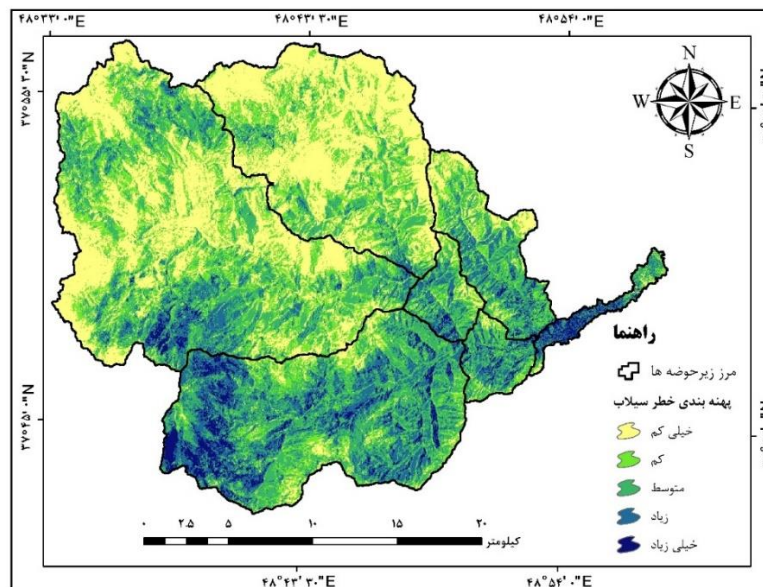
ردیف	معیار	وزن نهایی
۱	بارش	۰/۲۹۹۸۵۶
۲	فاصله از رودخانه	۰/۱۵۰۳۵۷
۳	شیب	۰/۱۱۴۳۳۷
۴	جهت شیب	۰/۰۹۱۳۹۵
۵	کاربری اراضی	۰/۰۸۶۳۴۱
۶	ارتفاع	۰/۰۸۰۸۵۲۹
۷	پوشش گیاهی	۰/۰۶۱۲۶۵
۸	زمین‌شناسی	۰/۰۵۳۰۱۸
۹	خاک	۰/۰۳۶۰۳۶۸
۱۰	دما	۰/۰۲۶۵۴۱۳

جدول ۷. درصد مساحت پهنه‌های مستعد سیل‌خیزی

طبقه	مساحت به کیلومتر مربع	درصد مساحت
خیلی کم	۱۸۳/۸۲	۳۱/۶۳
کم	۱۲۳/۷۳	۲۱/۲۹
متوسط	۱۶۸/۵۴	۲۹/۰۰
زیاد	۸۲/۳۵	۱۷/۱۴
خیلی زیاد	۲۲/۷۰	۳/۹۰



شکل ۸. پهنه‌بندی خطر سیل خیزی بر اساس معیارهای فازی تعیین شده



شکل ۹. پهنه‌بندی مکانی سیل‌خیزی حوضه کرگان رود تالش

نتیجه‌گیری

در پهنه‌بندی زمانی و مکانی خطر وقوع سیل حوضه آبریز کرگان رود تالش از دو مدل Fuzzy-ANP و AWBM استفاده شد که با توجه به خروجی‌های به‌دست‌آمده از مدل‌سازی AWBM، ضریب نش-ساتکلیف به‌عنوان تابع هدف در مرحله واسنجی به‌صورت ماهانه برابر با ۰/۵۵۳ و در مرحله اعتبارسنجی برابر با ۰/۵۰۷ به دست آمد. نتایج برآورد شده قابل‌قبول ارزیابی شده و نشان می‌دهد که از نظر پهنه‌بندی زمانی، روند رواناب در سال‌های ۲۰۱۱، ۲۰۱۴، ۲۰۱۷ و اواخر ۲۰۱۸ افزایشی بوده و با توجه به سیلاب‌های رخ داده در این منطقه، با سیل‌های شهریور و مهرماه سال ۹۰، ۹۳، ۹۶ و ۹۷ مطابقت دارد. بر اساس مطالعات پیشین صورت گرفته از جمله کیکرز و یو (۱۹۹۸) و وانگ و همکاران (۲۰۰۷) شبیه‌سازی مدل در طول مرحله واسنجی نسبت به مرحله اعتبارسنجی از دقت بیشتری در برآورد دبی برخوردار است. در پهنه‌بندی مکانی خطر وقوع سیل نیز با استفاده از روش Fuzzy-ANP با توجه به جدول ۶ عوامل بارش با ۰/۲۹۹۸۵۶ و فاصله از رودخانه با ۰/۱۵۰۳۵۷ بیشترین تأثیر را نسبت به عوامل دیگر در رابطه با خطر وقوع سیل برخوردار هستند. اما عامل دما با ۰/۲۶۵۴۱۳ نیز کمترین اهمیت را در ایجاد سیل حوضه مورد مطالعه به دست آورده است. از این رو می‌توان گفت باوجود اینکه کنترل عوامل اقلیمی منطقه همانند شدت و مدت بارش امکان‌پذیر نیست، ولی با انجام اقدامات مدیریتی در محدوده حوضه آبریز به‌ویژه در پهنه‌هایی با استعداد خطرپذیری بالا، مانند عدم ساخت‌وساز در حریم رودخانه، ساماندهی بستر آبراهه اصلی و مانند آن می‌توان خسارت‌های ناشی از وقوع سیلاب را به حداقل رساند. چرا که به دلیل حاکمیت اقلیم معتدل و مرطوب در منطقه، هم‌جواری با دریای خزر و تشکیل جلگه رسوبی حاصلخیز، دارای بارندگی‌هایی با حجم بالا بوده و گسترش نقاط سکونتگاهی زیاد در مجاورت رودخانه اصلی و همچنین توسعه شهرستان تالش در امتداد رودخانه کرگان رود را سبب شده است.

در نواحی بالادست حوضه به دلیل وجود پوشش گیاهی متراکم و خاک مقاوم به‌مراتب هر چه ارتفاع در حوضه افزایش می‌یابد، خطر سیل‌خیزی نیز کاهش یافته است. به‌گونه‌ای که با توجه به کلاس‌بندی صورت گرفته بر اساس معیارها، ۳۱/۶۳ درصد از مساحت کل حوضه با استعداد خطرپذیری خیلی کم و ۳/۹۰ درصد از مساحت حوضه مستعد خطر خیلی

زیاد وقوع سیل می‌باشد. آرسیچ و همکاران (۲۰۱۷) و بیکر و همکاران (۲۰۱۷) نیز مطالعاتی با روش ANP انجام دادند و نتایج رضایت‌بخشی در تحقیق خود با استفاده از این روش به دست آوردند. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت با انجام اقدامات و برنامه‌ریزی‌های مناسب، تا حد امکان می‌توان خسارت‌های ناشی از سیل را در منطقه مورد مطالعه کاهش داد.

حامی مالی

این اثر حامی مالی نداشته است.

سهم نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمام مراحل و بخش‌های انجام پژوهش سهم برابر داشتند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

در پایان لازم میدانم از دکتر محمدحسین رضایی‌مقدم و دکتر عبدالله بهبودی به خاطر راهنمایی‌های بی‌دریغشان کمال تشکر را داشته باشم.

منابع

- امیدوار، حسن و امیری، ابراهیم. (۱۳۹۸). کاربرد مدل HEC-HMS برای شبیه‌سازی رواناب در حوضه آبریز توتکابن، گیلان. *پژوهش‌های کاربردی در فنی و مهندسی*، ۲ (۱۴)، ۶۵-۷۶.
- خیری‌زاده، منصور؛ ملکی، جبرئیل و عمونیا، حمید. (۱۳۹۱). پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز مردق چای با استفاده از مدل ANP. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۳، ۳۹-۵۶. <https://doi.org/20.1001.1.22519424.1391.1.3.4.0>
- خدمت‌زاده، علی؛ و حسینی، مهدی. (۱۳۹۹). پهنه‌بندی سیلاب حوضه آبریز شهرچای ارومیه با استفاده از مدل Fuzzy-ANP. *مهندسی جغرافیایی سرزمین*، ۴ (۷)، ۷۰-۸۳. <https://doi.org/20.1001.1.25381490.1399.4.7.6.1>
- زاهدی، مجید و بیاتی خطیبی، مریم. (۱۳۸۷). *هیدرولوژی*. چاپ اول، تهران: انتشارات سمت.
- زبردست، اسفندیار. (۱۳۸۹). کاربرد فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای. *هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی*، ۲ (۴۱)، ۷۹-۹۰. <https://doi.org/20.1001.1.22286020.1389.2.41.7.4>
- زرین، هدایت‌الله؛ مقدم‌نیا، علیرضا؛ نام‌درست، جواد و مساعدی، ابوالفضل. (۱۳۹۲). شبیه‌سازی رواناب خروجی در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار با استفاده از مدل بارش- رواناب AWBM (مطالعه موردی: استان سیستان و بلوچستان). *پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک*، ۲۰ (۲)، ۱۹۵-۲۰۸. <https://doi.org/20.1001.1.23222069.1392.20.2.11.1>
- علیجانی، بهلول و کاویانی، محمدرضا. (۱۳۷۴). نقش کوه‌های البرز در توزیع ارتفاعی بارش. *تحقیقات جغرافیایی*، ۱۰ (۳۸)، ۱-۱۲.
- علیجانی، بهلول. (۱۳۷۶). *آب‌وهوای ایران*. چاپ هشتم. تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور.
- عابدینی، موسی و بهشتی، ابراهیم. (۱۳۹۵). پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب حوضه آبخیز ليقوان چای با استفاده از مدل فرآیند تحلیل شبکه و سیستم اطلاعات جغرافیایی. *نشریه فضای جغرافیایی*، ۱۶ (۵۵)، ۲۹۳-۳۱۲.
- قدیمی، مهرنوش؛ حاجی‌حسینی، نادیا؛ ملکیان، آرش و مقیمی، ابراهیم. (۱۴۰۱). پتانسیل سنجی سیل‌خیزی حوزه آبخیز کن با

- استفاده از پارامترهای مورفومتریک. مرتع و آبخیزداری، ۷۵ (۴)، ۵۵۱-۵۳۹. <http://doi.org/10.22059/jrwm.2021.311132.1537>
- مسعودیان، ابوالفضل. (۱۳۷۷). بررسی نظام تغییرات زمانی و مکانی بارش در ایران زمین. رساله دکتری، استاد راهنما: حسنعلی غیور، رشته جغرافیای طبیعی-اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان.
- مؤمنی، منصور و شریفی سلیم، علیرضا. (۱۳۹۰). مدل‌ها و نرم‌افزارهای تصمیم‌گیری چند شاخصه. چاپ اول. تهران: نشر مؤلفین.
- محمدی‌وند، محمدرضا؛ عراقی‌نژاد، شهاب؛ ابراهیمی، کیومرث و مدرسی، فرشته. (۱۳۹۸). ارزیابی عملکرد مدل‌های AWBM، Sacramento و SIMHYD در شبیه‌سازی رواناب حوضه امامه با استفاده از پهنه‌ساز واسنجی خودکار الگوریتم ژنتیک. تحقیقات آب‌و‌خاک، ۵۰ (۷)، ۱۷۶۹-۱۷۵۹. <http://doi.org/10.22059/ijswr.2019.258701.667923>
- نجمایی، محمد. (۱۳۶۸). هیدرولوژی مهندسی. جلد دوم، تهران: انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.
- نیسانی سامانی، نجمه و کریمی فیروزجانی، محمد. (۱۳۹۷). پهنه‌بندی ریسک‌پذیری سیل با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر استدلال شهودی دمپستر- شافر (مطالعه موردی: حوضه آبخیز نکارود). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۰ (۱)، ۱۹۴-۱۷۷. <http://doi.org/10.22059/jphgr.2018.229904.1007026>
- یوسف گمرکچی، افشین؛ طاهری، مژگان و خواجه‌گیلی، محمد. (۱۳۸۸). روندیابی جریان در زهکش‌های منطقه پست دلتایی دشت گیلان با استفاده از مدل HEC-RAS. پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی انجمن آبخیزداری ایران، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

References

- Arsić, S., Nikolić, D., & Živković, Z. (2017). Hybrid SWOT-ANP-FANP model for prioritization strategies of sustainable development of ecotourism in National Park Djerdap. Serbia. *Forest Policy and Economics*, 12, 11-26. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.02.003>.
- Abedini, M., & Beheshti Javid, E. (2016). potential flooding, ANP, fuzzy logic, zoning, Lighvan river. *Geographic Space*, 16 (55), 293-312. [In Persian].
- Alijani, B. (1997). *Iran's Weather, Iran*. Tehran: Payame Noor University Publications. [In Persian].
- Alijani, B., & Kaviani, M. (1995). The role of Alborz mountains in the altitudinal distribution of precipitation. *Geographical Research Quarterly*, 10(38), 1-12. [In Persian].
- Becker, J., Becker, A., & Sařabun, W. (2017). Construction and Use of the ANP Decision Model Taking into Account the Experts' Competence. *International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems*, 112, 2269-2279. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.08.145>
- Boughton, W. (2004). The Australian water balance model. *Environmental Modelling and Software*, 19, 943-956. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2003.10.007>.
- Boughton, W. (2002). AWBM Catchment Water Balance Model. Calibration and Operation Manual, 30p. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.10.012>.
- Cakurs, U., & Yu, B. (1998). Using a water balance model AWBM to assess likely hydrological response to a significant decrease of rainfall in south-west Western Australia. *Aust. J. Water Resources*, 2(2), 67-75.
- Garde, R.J. (2006) *River Morphology*. New Age International (P) Ltd, 388.
- Ghadimi, M., Hajihasani, N., Malekian, A., & Moghimi, E. (2022). Flood potential assessment of the Kan basin using morphometric parameters. *Pasture And Watershed Scientific-Research Journal*, 4, 539-551. <http://doi.org/10.22059/jrwm.2021.311132.1537> [In Persian].
- Jaiswall, R.K., Sohrat, A., & Birendra, B. (2020). Comparative evaluation of conceptual and physical rainfall-runoff models. *Applied Water Science*, 10(1), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1122-6>.
- Kevin, O., Odhiambo Basil, T., Iro Ong'or, & Edwin, K.K. (2022). Assessment of rainwater harvesting potential of Rachuonyo North Sub-Catchment in Kenya using the Australian water balance model. AQUA — Water Infrastructure. *Ecosystems and Society*, 153-166. <http://doi.org/10.2166/aqua.2022.153>.

- Kult, J., Choi, W., & Choi, J. (2014). Sensitivity of the Snowmelt Runoff model to snow covered area and temperature inputs. *Appl. Geogr*, 55, 30–38. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.08.011>.
- Khedmatzadeh, A., & Hasani, M. (2020). Flood zoning of Urmia shahrchay catchment area using Fuzzy-ANP model. *Engineering Geography Of The Land*, 7, 6-12. <https://doi.org/20.1001.1.25381490.1399.4.7.6.1> [In Persian].
- Kheyrizadeh Arogh, M., Maleki, J., & Amonia, H. (2012). Flood risk zoning in Mardagh Chai watershed using ANP model. *Quantitative geomorphology research*, 3, 39-56. <https://doi.org/20.1001.1.22519424.1391.1.3.4.0>. [In Persian].
- Mohammadivand, M.R., Araghinejad, Sh., Ebrahimi, K., & Modaresi, F. (2019). Performance Evaluation of AWBM, Sacramento and SimHyd models in Runoff Simulation of the Amameh Watershed using Automatic Calibration Optimization Method of Genetic Algorithm. *Soil And Water Research*, 7, 1759-1769. <http://doi.org/10.22059/ijswr.2019.258701.667923>. [In Persian].
- Momeni, M., & Sharifi salim, A.R. (2011). *Multi-indicator decision making models and software*. Tehran: Publications of the authors. [In Persian].
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., & Veith, T.L. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900. <http://doi.org/10.13031/2013.23153>.
- Masoudian, A. (1998). *Investigating the of temporal and spatial changes of precipitation in Iran*. Supervisor: Ghayor, H., & Ramsht, M.H. Ph.D. Thesis, University of Esfahan. [In Persian].
- Nagireddy, M.R., Subbarayan, S., Devanatham, A. (2023). Streamflow simulation using conceptual and neural network models in the Hemavathi sub-watershed, India. *Geosystems and Geoenvironment*, 2(2), 100153. <https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2022.100153>.
- Neysani Samany, N., & Karimi Firozjaei, M. (2018). Flood Risk Assessment Using Multi-Criteria Decision Making Based on Dempster-Shafer Intuitive Reasoning (Case Study: Nekarood Basin). *Physical Geography Research Quarterly*, 50(1), 177-194. <http://doi.org/10.22059/jphgr.2018.229904.1007026>. [In Persian].
- Najmaei, M. (1990). *Engineering Hydrology*. Volume second print, Tehran: Elm o Sanaat University. [In Persian].
- Omidvar, H., & Amiri, E. (2019). Application of HEC-HMS model for simulation of runoff in Tutkaben watershed, Gilan. *Applied research in technical and engineering*, 14, 65-76. [In Persian].
- Saaty, T.L., & Vargas, L.G. (2006). *Decision Making With the Analytic Network Process*. New York. Springer Science, 363.
- Trivedi, A., Kumar, G.V., & Pyasi, s.K. (2021). Development of RRL AWBM model and investigation of its performance, efficiency and suitability in Shipra River Basin. *Soil and Water Conservation*, 2455-7145. <http://doi.org/10.5958/2455-7145.2021.00020.5>.
- Wang, G., Zhang, J., & He, R. (2007). Comparison of hydrological models in the middle reach of the Yellow River. *Methodology in hydrology*, 158-163.
- Yining, Li. (2021). Performance evaluation of Tanh and AWBM rainfall-runoff models. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1315-1755. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/768/1/012048>.
- Yousef Gomrokchi, A., Taheri, M., & Khaje gili, M. (2010). Trending of the flow in the drainages of the sub-delta region of Gilan plain using the model HEC-RAS. *The 5th National Conference of Iran Watershed Sciences and Engineering*. [In Persian].
- Zarrin, H.A., Moghaddamnia, A., Nam dorost, J., & Mosaedi, A. (2013). Simulation of outlet runoff in ungauged catchments by using AWBM Rainfall-Runoff Model. *Water and Soil Conservation*, 20(2). 195-208. <https://doi.org/20.1001.1.23222069.1392.20.2.11.1>. [In Persian].
- Zabardast, A. (2010). Application of Network Analysis Process In Urban and Regional Planning. *Fine Arts Architecture and Urban Development*, 41, 79-90. <https://doi.org/20.1001.1.22286020.1389.2.41.7.4>. [In Persian].
- Zahedi, M., & Bayati khatibi, M. (2007). *Hydrology*. First Edition, Tehran: Samt Publications. [In Persian].