Research Paper

Evaluating Efficiency of Analytical Hierarchy Process for Estimating Runoff Coefficient in Amameh Watershed

Atefeh Davarizadeh [1], **Mehdi Vafakhah** [2*], **Akbar Najafi** [3]

[1] M.Sc. Student of Watershed Management Engineering. Faculty of Natural Resources and Marine Sciences. Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran Province, Iran ; a.davarizadeh@modares.ac.ir
[2] Professor. Department of Watershed Management Engineering. Faculty of Natural Resources and Marine Sciences. Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran Province, Iran, vafakhah@modares.ac.ir
[3] Associate Professor. Department of Watershed Management Engineering. Faculty of Natural Resources and Marine Sciences. Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran Province, Iran; a.najafi@modares.ac.ir

10.22125/IWE.2022.162630

Received:
June 20, 2020
Accepted:
January 20, 2022
Available online:
December 11, 2022

Keywords:
Multi-criteria decision-making, Runoff coefficient, Rainfall simulation, Rainfall intensity

Abstract

One of the components of watershed water balance, which is very important in watershed management and water resources management, is runoff. Appropriate estimation of runoff value requires determining Runoff Coefficient (RC). This study was conducted to evaluate the effectiveness of multi-criteria decision-making methods in order to estimate the RC in Amameh watershed, Iran. To do this, at first, slope angle, land use/cover, hydrologic soil groups, maximum daily rainfall and area of the study area layers was entered into geographic information system (ArcGIS). After performing the necessary processing on the layers, it were converted to raster formats based on the study area boundary. In the next step, the analytical hierarchy process (AHP) structure was established based on the research purpose. The weighted index values for each layer and their different classes were then determined based on the weighted index of the AHP by Expert Choice software. Based on these five criteria, three models were made. Therefore in model 1, slope angle, vegetation (land use) and hydrologic soil groups; in model 2, maximum daily rainfall, area of the study area and hydrologic soil groups and in model 3, soil infiltration and area of the study area were used. The estimated RCs were then estimated based on weight for each criteria in each model. The estimated RC with the observed RC, which have been measured using the Kamphorst rainfall simulator at 60 points in different land uses with an intensity of 60 mm hr^{-1} for 90 min, were compared. The obtained results showed that the second model with Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) coefficient of 0.59 and root mean squares error (RMSE) of 0.363 had a better efficiency than the other two models. In general, the results showed that the AHP method due to its simplicity, the application

* **Corresponding Author:** Mehdi Vafakhah
Address: Department of Watershed Management Engineering. Faculty of Natural Resources and Marine Sciences. Tarbiat Modares University, Iran
Email: vafakhah@modares.ac.ir
Tel: +981144998120

of qualitative and quantitative criteria simultaneously and the ability to assess compatibility in judgments can be used in the study of RC.

1. Introduction

In order to design the spillway of dams, water structures, bridges, flood control operations and watershed management, it is necessary to know the exact amount of runoff. One of the important parameters in the estimation of runoff is the runoff coefficient (RC), which most researchers estimate with different methods and using tables prepared for this parameter. Today, the use of Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) in this issue can be an effective solution for decision making. MCDM deals with decisions involving the choice of the best option among several options by considering various quantitative and qualitative criteria. One of the most important MCDM is linear allocation, prioritization method based on similarity to the ideal solution, multi-criteria utility theory and Analytical Hierarchy Process (AHP).

2. Materials and Methods

Study area

The area studied in this research is the Amamah Watershed with an area of 3712 ha, located in the northeast of Tehran.

3. Research Methodology

At first, slope angle, land use/cover, hydrologic soil groups, maximum daily rainfall and area of the study area layers was entered into geographic information system (ArcGIS). After performing the necessary processing on the layers, it were converted to raster formats based on the study area boundary. In the next step, the AHP structure was established based on the research purpose. The weighted index values for each layer and their different classes were then determined based on the weighted index of the AHP by Expert Choice software. Based on these five criteria, three models were made. Therefore in model 1, slope angle, land use and hydrologic soil groups; in model 2, maximum daily rainfall, area of the study area and hydrologic soil groups and in model 3, soil infiltration and area of the study area were used. The estimated RCs were then estimated based on weight for each criteria in each model.

4. Results

The value of the inconsistency rate was estimated equal to 0.05 in this study, which means that due to the inconsistency rate lower than 0.1, the consistency in the judgments has been observed. The results showed that all three models were able to estimate the RC well. In the first model, the results showed that the slope with a weight of 0.374 has the first priority. The slope of the watershed has a noticeable and significant effect on its surface flow. If the amount of slope increases, the role of infiltration-increasing factors decreases and the amount of runoff increases. Among the slope classes, the 0-2 slope class has a weight of 0.478, which is more important than other classes. Land use with a weight of 0.365 has the second priority in the first model. Land use plays a significant role in runoff generation, so that in the conditions where the amount of vegetation is high and the slope of the area is low, during heavy rains, the occurrence of runoff is delayed and its amount is very low. Eliminating vegetation or changing the type and method of growing plants that do not have a lot of interception will increase the RC. Excessive livestock grazing causes soil compaction and loss of vegetation and increases runoff from the watershed. In the second model, the effect of soil and watershed area on the RC is the same, but in this group, the maximum daily rainfall with a weight of 0.615 has the greatest effect. Soil characteristics, especially soil permeability, is an important factor influencing the RC. In general, runoff is formed in unsaturated soil conditions when the rainfall intensity overcomes the speed of infiltration into the soil. Among the hydrologic soil groups, hydrologic soil groups D has a weight of 0.540 due to very low permeability, which is more important than the other variables.

5. Discussion and Conclusion

In this research, land use criteria, soil type, slope, maximum daily rainfall and watershed area were considered in order to estimate the RC. Three models were designed and evaluated based on these five criteria. The result showed that all three models have the same performance in this study and have no

significant differences, but since the second model has fewer criteria, it is easy to estimate the RC. Considering the selection of the second model as the appropriate model, in this model, the effect of soil and watershed area on the RC is the same, and in this group, the maximum daily rainfall with a weight of 0.615 has the greatest effect, the reason for this can be the strong relationship between The RC and rainfall is that increasing the amount and rainfall intensity on the one hand and decreasing the intervals of rainfall on the other hand are factors that can increase the runoff generation.

6. Six important references

1. Alijanpour Shelmani, A., & Vaezi, A. (2017). Physical Factors Determining Runoff Coefficient in the Watersheds of Ardabil Province, Water and Soil Science, 27(3), 1-14.
2. Bellamy, P. W., & Cho, H. J. (2019). A GIS-Based Approach for Determining Potential Runoff Coefficient and Runoff Depth for the Indian River Lagoon, Florida, USA. In Lagoon Environments Around the World-A Scientific Perspective: IntechOpen.
3. Lallam, F., Megnounif, A., & Ghenim, A. N. (2018). Estimating the runoff coefficient using the analytic hierarchy process. Journal of Water and Land Development, 38(1), 67-74.
4. Lemma, T. M., Gessesse, G. D., Kassa, A. K., & Edossa, D. C. (2018). Effect of spatial scale on runoff coefficient: Evidence from the Ethiopian highlands. International Soil and Water Conservation Research, 6(4), 289-296.
5. Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process Mcgraw Hill, New York. Agricultural Economics Review, 70.
6. Vafakhah, M., Nikche, A. F., & Sadeghi, S. H. (2018). Comparative effectiveness of different infiltration models in estimation of watershed flood hydrograph. Paddy and Water Environment, 16(3), 411-424.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال سیزدهم. شماره پنجاه. زمستان ۱۴۰۱

ارزیابی کارآیی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به منظور تخمین ضریب رواناب در حوزه آبخیز امامه

عاطفه داوری زاده[۱]، مهدی وفاخواه[۲*]، اکبرنجفی[۳]

تاریخ ارسال:۱۳۹۹/۰۳/۳۱
تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۱۰/۳۱

چکیده

یکی از مولفه‌های بیلان آب حوضه، که اهمیت زیادی در آبخیزداری و مدیریت منابع آب دارد رواناب است. برآورد مناسب میزان رواناب مستلزم تعیین ضریب رواناب می‌باشد. این پژوهش به‌منظور ارزیابی کارآیی روش تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌منظور تخمین ضریب رواناب در حوزه آبخیز امامه صورت گرفت. بدین منظور ابتدا معیارهای مقدار تندی شیب، پوشش‌گیاهی (کاربری اراضی)، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، حداکثر بارش روزانه و مساحت منطقه مورد مطالعه، وارد سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) شد. بعد از انجام پردازش‌های لازم بر روی معیارها، به فرمت رستری متناسب با محدوده مطالعاتی تبدیل شدند. درگام بعدی ساختار فرآیند سلسله مراتبی (AHP) با توجه به هدف تحقیق ایجاد شد. سپس مقادیر شاخص وزنی هرلایه اطلاعاتی و طبقات مختلف آن‌ها بر اساس شاخص وزنی فرآیند سلسله مراتبی (AHP) توسط نرم‌افزار Expert Choice تعیین شد. بر اساس پنج معیار فوق‌الذکر سه مدل مدنظر قرار گرفت. به‌طوری‌که در مدل اول معیارهای مقدار تندی شیب، پوشش‌گیاهی و گروه هیدرولوژیکی خاک؛ در مدل دوم معیارهای حداکثر بارندگی روزانه، مساحت حوزه آبخیز بالادست و گروه هیدرولوژیکی خاک و در مدل سوم معیارهای نفوذپذیری خاک و مساحت حوزه آبخیز بالادست در نظر گرفته شد. سپس بر اساس وزن هر یک از معیارها، ضریب رواناب برآوردی بر اساس هر یک از مدل‌ها به دست آمد. در نهایت ضریب رواناب برآوردی با ضریب رواناب مشاهداتی که با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران کامفورست در ۶۰ نقطه از کاربری‌های مختلف با شدت ۶۰ میلی‌متر در ساعت و به‌مدت زمان ۹۰ دقیقه اندازه‌گیری شده بود، مقایسه شدند. نتایج حاصل نشان داد که مدل دوم با ضریب نش-ساتکلیف ۰/۵۹ و ریشه میانگین مربعات خطا ۰/۳۶۳ کارآیی بهتری نسبت به دو مدل دیگر داشته است. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با توجه به سادگی، به‌کارگیری معیارهای کیفی و کمی به‌طور همزمان و نیز قابلیت بررسی سازگاری در قضاوت‌ها می‌تواند در بررسی موضوعات مربوط به ضریب رواناب کاربرد مطلوبی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: تصمیم‌گیری چندمعیاره، ضریب رواناب، شبیه‌سازی بارندگی، شدت بارندگی.

[۱] دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران، a.davarizadeh@modares.ac.ir
[۲*] نویسنده مسئول، استاد گروه آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران، vafakhah@modares.ac.ir
[۳] دانشیارگروه جنگلداری، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران، a.najafi@modares.ac.ir

مقدمه

به‌منظور طراحی سرریز سدها، سازه‌های آبی، پل‌ها عملیات کنترل سیلاب و آبخیزداری نیاز به اطلاع از مقدار دقیق رواناب خروجی است. یکی از پارامترهای مهم در برآورد رواناب، ضریب رواناب[1](RC) است که اغلب محققان با روش‌های مختلف و استفاده از جداول تهیه شده برای این پارامتر به برآورد آن می‌پردازند. امروزه استفاده از روش‌های تحلیل چندمعیاره[2] در این ارتباط می‌تواند راهگشای مؤثری برای تصمیم‌گیری باشد. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره روش‌هایی هستند که به کمک آن‌ها می‌توان با مدنظر قرار دادن معیارهای کمی و کیفی گوناگون بهترین گزینه را از بین چندین گزینه تعیین و انتخاب نمود. از مهم‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌توان به تخصیص خطی، روش اولویت‌بندی براساس تشابه به راه‌حل ایده‌آل تئوری مطلوبیت چندمعیاره و تحلیل سلسله مراتبی[3](AHP) اشاره کرد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، اولین بار توسط Thomas El Saaty در سال ۱۹۸۰ مطرح شد که بر اساس مقایسه‌های زوجی بنا نهاده شده و امکان بررسی سناریوهای مختلف را به مدیران می‌دهد. این روش پیچیدگی‌های ناشی از تأثیر عوامل مختلف بر مسئله را با تمرکز مرحله به مرحله بر این عوامل و سپس ترکیب کردن نتایج این بررسی‌ها حل می‌کند. سنگ‌بنای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مقایسه‌های زوجی است. این روش این امکان را می‌دهد که مسایل کیفی را که واحدی برای اندازه‌گیری آن‌ها وجود ندارد ارزیابی کرده و بتوان آن‌ها را با مسائل کمی مقایسه و ترکیب کرد. به‌دلیل اهمیت ضریب رواناب محققان به برآورد این پارامتر با استفاده از روش‌های مختلفی در نقاط مختلف دنیا پرداخته‌اند. Khalil (۲۰۱۷) ضریب احتمالی رواناب را با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی[4](GIS) و تصویر ماهواره[5](SPOT) و خصوصیات خاک (بافت و نفوذپذیری) استفاده کردند، نتایج تحقیق نشان داد که ضریب رواناب با عمق رواناب متناسب و رواناب برای بارندگی با حجم ۱۰۳/۶ میلی‌متر، ۱۳۶ میلیون مترمکعب می‌باشد. Hung و همکاران (۲۰۱۸) به مقایسه حجم رواناب، ضریب رواناب، دبی اوج و شکل بی بعد واحد هیدروگراف در دو حوزه آبخیز شهری و جنگلی در ایالت کارولینای جنوبی ایالت متحده آمریکا پرداختند که نتایج حاکی از این بود که حوزه آبخیز شهری ضریب رواناب بیشتری نسبت به حوزه آبخیز جنگلی دارد. Zhang و همکاران (۲۰۱۸) با مقایسه روش رگرسیون درختی، رگرسیون خطی چندگانه، و مدل‌سازی هیدرولوژیکی برای پیش‌بینی ویژگی‌های رواناب از ۶۰۵ حوزه آبخیز از سراسر استرالیا به این نتایج دست یافتند که خصوصیات هواشناسی (میانگین بارندگی سالانه و شاخص خشکی) و خصوصیات فیزیکی حوزه آبخیز (نسبت سطح جنگل به سطح همه کاربری‌های اراضی، شیب حوزه آبخیز، ظرفیت نگهداشت آب) تاثیر قابل توجهی بر رواناب را دارا است. Lemma و همکاران (۲۰۱۸) ضریب رواناب برای سه حوزه آبخیز در ارتفاعات اتیوپی را بین ۰/۲۵ و ۰/۳۸ به‌دست آوردند و نتیجه گرفتند که عمدتاً کاربری اراضی و پوشش گیاهی مهم‌ترین عامل تاثیرگذار است. Lallam و همکاران (۲۰۱۸) ضریب رواناب را با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با استفاده از سه مدل در حوزه آبخیز به‌دست آوردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تاثیر پوشش گیاهی بر ضریب رواناب بیشتر بوده و با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی امکان تخمین ضریب رواناب با استفاده از پنج معیار، بارش، پوشش گیاهی، مساحت حوزه آبخیز، شیب و نوع خاک وجود دارد. Bellamy و Cho (۲۰۱۹) ضریب رواناب را با استفاده از مدل رقومی ارتفاع، پوشش‌گیاهی و خاک در حوزه آبخیز Lagoon در هند به‌دست آوردند و با استفاده از داده‌های بارش مقدار رواناب را محاسبه نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که توسعه اراضی و بارش تاثیر معنی‌داری بر عمق رواناب دارند. Zeinali و همکاران (۲۰۱۹) به تعیین الگوی توزیع زمانی ضریب رواناب بارش‌های با تداوم یک ساعت با استفاده از روش پیلگریم در حوزه آبخیز امامه پرداختند. نتایج نشان داد که

[1] Runoff Coefficient
[2] Multi-criteria Analysis
[3] Analytical Hierarchy Process
[4] Geographic Information System
[5] Satellite Pour l'Observation de la Terre

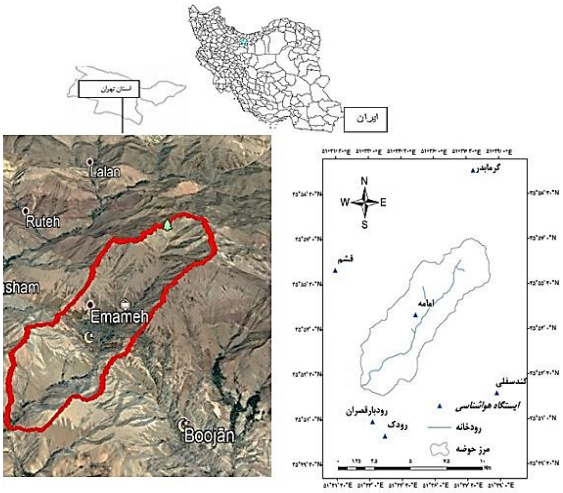
تداوم‌های یک ساعته منطقه، بیشترین ضریب رواناب به ترتیب مربوط به چارک‌های دوم و سوم و کمترین آن به ترتیب مربوط به چارک‌های اول و چهارم می‌باشد. در ایران نیز، جعفری و همکاران (۱۳۹۴) به تخمین ضریب رواناب رگبار با استفاده از سیستم استنباط عصبی- فازی تطبیقی در حوزه آبخیز باراریه نیشابور پرداختند. هدف آن‌ها از این پژوهش ارزیابی شبکه عصبی-فازی تطبیقی در پیش‌بینی ضریب رواناب رگبار بود. نتایج آن‌ها نشان داد که شبکه با ورودی چارک‌های اول تا چهارم شدت بارندگی، مقدار کل بارش و شاخص φ و بارش پنج روز قبل ضریب رواناب رگبار را با دقت خوب پیش‌بینی کند. محسنی و همکاران (۱۳۹۵) به ارزیابی روش‌های استدلالی، SCS و سپیرس-گریک برای تعیین ضریب رواناب با دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله حوضه‌های با مساحت کمتر از ۵۰ کیلومترمربع استان مازندران پرداختند. براساس نتایج به‌دست آمده از هر سه روش، حوضه‌های دارای بیشترین مساحت و کمترین شدت بارندگی، کمترین ضریب رواناب را دارا بودند. علیجانپور شلمانی و واعظی (۱۳۹۶) عوامل فیزیکی تعیین کننده ضریب رواناب در حوزه‌های آبخیز استان اردبیل را مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش مشخصات فیزیکی و وقایع بارش و رواناب طی دوره بیست ساله (۱۳۶۵-۱۳۸۴) در ۱۱ حوزه آبخیز رده چهار در استان اردبیل بررسی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که در منطقه نیمه‌خشک، بیش‌ترین خطر پتانسیل تولید سیل مربوط به حوزه‌های آبخیز با سطح کوچک و غیرکشیده به ویژه در اوایل بهار می‌باشد. ضریب رواناب تحت تاثیر خصوصیات فیزیکی حوزه آبخیز قرار دارد، همبستگی منفی بین ضریب رواناب و مساحت ، طول آبراهه و ضریب شکل وجود دارد. سبزواری و همکاران (۱۳۹۷) ارتباط بین ضریب رواناب سطحی با میزان بارندگی و شیب در خاک لومی رسی ماسه‌ای به عمق ۳۵ سانتی‌متر را با استفاده از یک باران‌ساز با طول دو متر و عرض یک متر مورد بررسی قرار دادند. باران‌ساز در چهار زاویه یک، سه، شش و نه درجه و برای شدت بارش‌های ۳۱/۷۳، ۴۷/۶و۶۳/۴۶ میلیمتر بر ساعت به کار برده شد. مقدار دبی جریان سطحی تحت شیب‌ها و شدت بارش‌های مختلف اندازه‌گیری و با توجه به پارامترهای موجود مقدار ضریب رواناب تعیین شد. با توجه به پیشینه تحقیق ارائه شده، برای تخمین ضریب رواناب توسط محققین مدل‌های مختلفی ارائه شده است. اما بین نتایج حاصله از مدل‌های مختلف، اختلاف چشم‌گیری وجود دارد. همین امر ضرورت ارائه مدلی مناسب برای تخمین ضریب رواناب را مشخص می‌نماید. لذا تحقیق حاضر با هدف توسعه مدلی با استفاده از پنج معیار موثر در تخمین ضریب رواناب شامل مقدار تندی شیب، حداکثر بارش روزانه، پوشش گیاهی (کاربری اراضی)، گروه هیدرولوژیکی خاک و مساحت حوزه آبخیز بالادست و پیشنهاد مدلی مناسب از بین مدلهای طراحی شده با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) می باشد. همچنین برآورد اهمیت نسبی هر یک از این پنج معیار و به تأثیر تغییرات آن‌ها بر مقدار ضریب رواناب و همچنین معرفی مدل مناسب برای تخمین ضریب رواناب انجام شده است. با توجه به در دسترس بودن اندازه‌گیری ضریب رواناب در ۶۰ نقطه در کاربری‌های اراضی مختلف در منطقه مورد مطالعه، امکان مقایسه مدل‌های توسعه داده شده با مقادیر واقعی وجود دارد. لذا نوآوری خاص این تحقیق امکان ارائه کارآیی و خطای هر یک از مدل‌های توسعه داده شده و معرفی مدل مناسب می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، حوزه آبخیز امامه با مساحت ۳۷۱۲ هکتار واقع در شمال شرق تهران می‌باشد. حوزه آبخیز امامه که در سال ۱۳۴۷ به‌عنوان اولین حوزه آبخیز معرف کشور تجهیز شده است، از زیر حوضه‌های سدلتیان و یکی از مهم‌ترین سرشاخه‌های رودخانه جاجرود می‌باشد. این حوزه آبخیز با توجه به وضع طبیعی، کلیماتولوژی و زمین‌شناسی معرف محدوده وسیعی از دامنه‌های جنوبی و مرکزی البرز می‌باشد. طول این رودخانه از خط الراس تا محل تلاقی با جاجرود حدود ۱۳ کیلومتر می‌باشد. در این حوضه دو ایستگاه هیدرومتری وجود دارد. ایستگاه هیدرومتری باغ تنگه در شمال دهکده امامه در ارتفاع ۲۲۲۰ متری از سطح دریا و ایستگاه هیدرومتری

کمرخانی با ارتفاع ۱۸۰۰ متر در محل تلاقی با رودخانه جاجرود در خروجی حوضه، قرار دارد (Chezgi و همکاران، ۲۰۲۰). شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز امامه در کشور و استان تهران نشان می‌دهد.

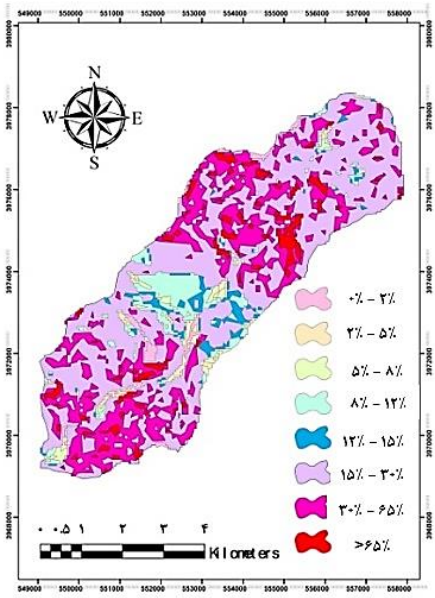


شکل (۱): **موقعیت حوزه آبخیز امامه در کشور و استان تهران**

لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده

مقدار تندی شیب حوزه آبخیز

شیب از پارامترهای بسیار موثر در مقدار رواناب، فرسایش و رسوب آبخیز می‌باشد. هر چه شیب عمومی آبخیز افزایش یابد، زمان تمرکز کوتاه‌تر می‌شود زیرا آب در شیب‌های تندتر سریع‌تر حرکت کرده و زودتر به محل خروجی می‌رسد. بنابراین در شیب‌های تند نسبت به شیب‌های تقریباً مسطح می‌توان انتظار دبی بالاتری را داشت. تاثیر شیب روی مقدار رواناب، ناشی از اثر آن بر ظرفیت نگهداشت سطحی آب و همچنین فرصت نفوذ آب در خاک است. چنانچه متوسط درصد شیب حوزه آبخیز افزایش یابد، میزان رواناب زیاد می‌شود، زیرا تجمع آب در ناهمواری‌های سطحی رابطه نزدیک با شیب آبخیز داشته و با افزایش آن تقلیل می‌یابد، در نتیجه دبی اوج هیدروگراف تیزتر می‌شود (علیجانپور شلمانی و واعظی، ۱۳۹۶). در شکل ۲ نقشه میزان تندی شیب منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.



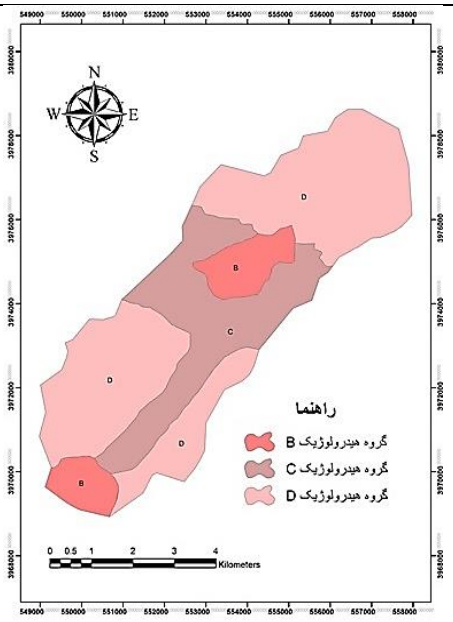
شکل (۲): طبقات شیب حوزه آبخیز امامه

گروه هیدرولوژیکی خاک

ویژگی‌های خاک به‌ویژه نفوذپذیری خاک عامل مهم موثر بر رواناب است. به طور کلی رواناب در شرایط غیراشباع خاک هنگامی شکل می‌گیرد که شدت باران بر سرعت نفوذ آب به خاک غلبه کند. خاک‌های ریزبافت با نفوذپذیری پایین و مواد آلی کم، ضریب رواناب بالاتر و آستانه شروع رواناب کمتری نسبت به خاک‌های درشت بافت دارند. بر اساس جدول ۱ گروه هیدرولوژیکی A به دلیل اینکه بیشترین مقدار نفوذ را در بین خاک‌های دیگر دارا می‌باشد، دارای کمترین وزن و تاثیر بین سایر گروه‌های هیدرولوژیکی خاک در ضریب رواناب دارا می‌باشد. گروه D نیز به دلیل میزان نفوذپذیری کم دارای بیشترین تاثیر بر ضریب رواناب می‌باشد (مهدوی، ۱۳۸۹). در شکل ۳ نقشه گروه هیدرولوژیکی خاک منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.

جدول(۱): گروه‌های هیدرولوژیکی خاک (مهدوی، ۱۳۸۹)

گروه‌های هیدرولوژیک خاک	پتانسیل جریان سطحی	نفوذپذیری
A	کم	بسیار زیاد
B	متوسط	زیاد
C	زیاد	کم
D	خیلی زیاد	ی خیلی کم



شکل (۳): نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک حوزه آبخیز امامه

پوشش‌گیاهی

پوشش گیاهی نقشی بازدارنده در برابر تولید رواناب دارد. پوشش گیاهی از یک‌سو از تخریب ساختمان خاک جلوگیری کرده و از سوی دیگر سرعت رواناب‌های سطحی را کاهش می‌دهد. این دو عامل در افزایش نفوذ آب به خاک و کاهش رواناب بسیار مؤثرند. از بین رفتن پوشش جنگلی باعث افزایش ضریب رواناب و سرعت رواناب و کوتاه شدن زمان وقوع دبی اوج سیلاب می‌شود. شکل ۵ نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

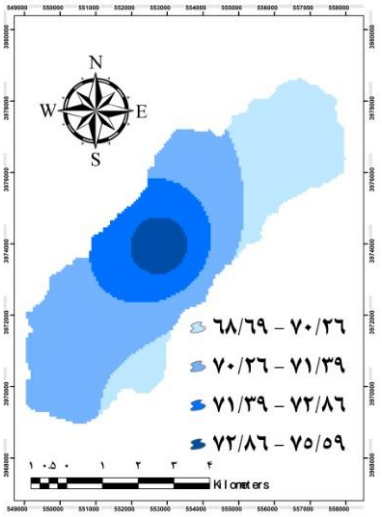
مساحت حوزه آبخیز

مساحت حوزه آبخیز به‌عنوان یک عامل فیزیکی مهم و مؤثر در هر آبخیزی شناخته می‌شود که دبی‌های حداکثر، حداقل و متوسط سالانه و هم چنین شکل هیدروگراف به آن بستگی دارد. به همین دلیل میزان مساحت در تخمین ضریب رواناب منطقه مورد مطالعه مؤثر می‌باشد.

بررسی و تجزیه تحلیل ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه

به منظور تجزیه و تحلیل حداکثر بارندگی ۲۴ساعته منطقه، از آمار هشت ایستگاه باران‌سنجی امامه، افجه، کندسفلی، رودک، رودبارقصران، فشم، آهار و گرمابدر که همگی وابسته به وزارت نیرو هستند، در درون و خارج از حوضه استفاده شد. شکل ۱ محل این ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. به دلیل رعایت مقیاس نقشه امکان نمایش دو ایستگاه افجه و آهار بر روی نقشه میسر نبود. دلیل انتخاب این ایستگاه‌های باران‌سنجی پراکنش مناسب و طول دوره آماری ۴۳ساله بین سال‌های ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۴ است. با توجه به این‌که آمار برخی ایستگاه‌ها دارای نواقص آماری بودند، بنابراین به‌منظور رفع نواقص آماری از روش نسبت نرمال استفاده شد. همچنین همگنی بودن داده‌ها با استفاده از آزمون توالی[1] به وسیله نرم‌افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تعیین حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته با دوره‌های برگشت مختلف، از توابع توزیع آماری گاما، مقادیر حدتعمیم یافته، پارتو، پیرسون تیپ ۵، لوگ نرمال، ویبول و گمبل استفاده شد و مناسب‌ترین توزیع آماری بر اساس آزمون کلموگرف-اسمیرنوف به کمک نرم‌افزار EasyFit انجام شد. به منظور تهیه نقشه توزیع مکانی حداکثر بارندگی ۲۴ساعته با دوره برگشت ده ساله مطابق با دوره برگشت شدت بارندگی شبیه‌سازی شده توسط باران‌ساز کامفورست از روش‌های معمول درون‌یابی قطعی و زمین‌آماری استفاده شد و انتخاب مناسب‌ترین روش درون‌یابی بر اساس معیارهای آماری کارآیی و خطا انجام گرفت (داوری‌زاده و وفاخواه، ۱۳۹۸). به طوریکه با توجه به معیارهای آماری، روش تابع پایه شعاعی به عنوان بهترین روش درون‌یابی انتخاب شد. شکل ۴ نقشه توزیع مکانی حداکثر بارندگی ۲۴ساعته با دوره برگشت ده ساله منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

[1] Run's Test



شکل(۴): **نقشه توزیع مکانی حداکثر بارندگی ۲۴ساعته با دوره برگشت ده ساله (بر حسب میلی متر) منطقه مورد مطالعه**

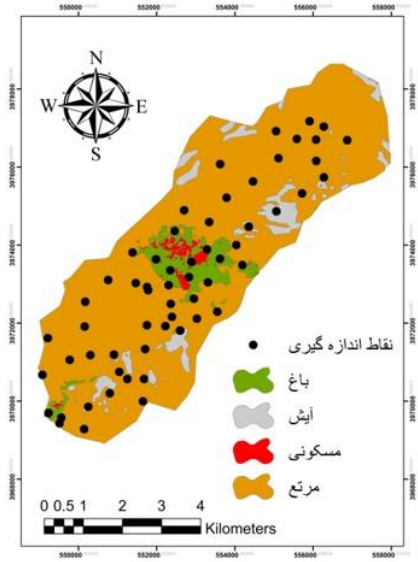
تولید نقشه‌های معیار

با تعیین مجموعه‌ای از معیارها برای ارزیابی گزینه‌های تصمیم‌گیری، لازم است هر معیار به‌صورت یک لایه نقشه در پایگاه داده‌های مبتنی برGIS نشان داده شود. در اولین گام ساختار، با توجه به هدف مسأله شکل می‌گیرد. سپس برای انجام اولویت‌بندی در تحلیل سلسله مراتبی، ابتدا فاکتورها به‌صورت دو به دو با هم مقایسه می‌شوند. برای انجام مقایسات زوجی ماتریسی با تعداد سطر و ستون فاکتورهای مورد استفاده، طراحی شده و سپس با استفاده از جدول استاندارد ارائه شده توسط Saaty فاکتورها به صورت زوجی مقایسه و عددی از جدول انتخاب می‌شود (Saaty، ۱۹۸۰؛ قدسی‌پور، ۱۳۸۵). در نهایت این ماتریس به نرم‌افزار Expert Choice وارد شده و وزن نهایی هر فاکتور به‌دست می‌آید. هر یک از فاکتورهای ذکر شده با توجه به هدف تحقیق و ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه به چند کلاس تقسیم می‌شود. واضح است که هر کلاس از فاکتورها نیز دارای ارزش متفاوتی در تخمین ضریب رواناب می‌باشند، بنابراین برای هر کلاس از هر فاکتور نیز به ترتیبی که برای هر فاکتور ذکر شد وزن‌دهی انجام شده و در نهایت وزن هر کلاس در وزن آن فاکتور ضرب شده و وزن نهایی هر کلاس به‌دست می‌آید. بعد از تعیین وزن‌های لایه‌های نقشه می‌توان آن‌ها را در محیط GIS پردازش کرده و کلاس‌ها را با اعمال مقادیر وزن به هریک با هم تلفیق کرد. آن‌چه که نهایتاً به‌دست می‌آید نقشه‌ای است که واحدهای مکانی آن دارای اوزان متفاوت هستند و در نهایت با مقادیر ضریب رواناب از مطالعات پیشین (Vafakhah و همکاران، ۲۰۱۸) مقایسه می‌شوند. از آنجائیکه پنج معیار مقدار تندی شیب، حداکثر بارش روزانه، پوشش گیاهی (کاربری اراضی)، گروه هیدرولوژیکی خاک و مساحت حوزه آبخیز بالادست در تعیین ضریب رواناب اثرگذار هستند (Lallam و همکاران، ۲۰۱۸). سه مدل متفاوت با استفاده از این پنج معیار که مستقل از هم باشند و مدل هم پیچیده نباشد، در نظر گرفته شد. به طوریکه در مدل اول معیارهای مقدار تندی شیب، پوشش‌گیاهی و گروه هیدرولوژیکی خاک؛ در مدل دوم معیارهای حداکثر بارندگی روزانه، مساحت حوزه آبخیز بالادست و گروه هیدرولوژیکی خاک و در مدل سوم معیارهای نفوذپذیری خاک و مساحت حوزه آبخیز بالادست در نظر گرفته شد. سپس مقادیر شاخص وزنی هرلایه اطلاعاتی و طبقات مختلف آن‌ها بر اساس شاخص وزنی فرآیند سلسله مراتبی (AHP) توسط نرم‌افزار Expert Choice تعیین شد.

محاسبه ضریب رواناب مشاهداتی

یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای اندازه‌گیری رواناب استفاده از دستگاه‌های شبیه‌ساز باران می‌باشد با استفاده از این ابزار علاوه بر اندازه‌گیری رواناب می‌توان فرآیندهای مؤثر بر تولید رواناب را به‌طور کمی و در تکرار زیاد مورد ارزیابی قرار داد. به‌همین دلیل به منظور تعیین مقدار رواناب Vafakhah و همکاران (۲۰۱۸) از دستگاه شبیه‌ساز باران کامفورست در اندازه پلات ۲۵ در ۲۵ سانتی‌متر استفاده کردند، آن‌ها به منظور دست‌یابی به مشخصات بارندگی منطقه از آمار ایستگاه هواشناسی امامه در مرکز حوزه آبخیز استفاده کردند، سپس مقادیر تولید رواناب در ۶۰ نقطه از کاربری‌های مرتع، باغ، کشاورزی و آیش توسط شبیه‌ساز بارش با شدت ۶۰ میلی‌متر در ساعت و به‌مدت زمان ۹۰ دقیقه اندازه‌گیری شد (شکل ۵). پس از اندازه‌گیری مقدار رواناب، با تقسیم ارتفاع رواناب به

بارندگی، ضریب رواناب در ۶۰ نقطه به‌دست آمد که خصوصیات آماری آنها در جدول ۲ ارائه شده است.



شکل(۵): نقاط اندازه‌گیری ضریب رواناب در حوزه آبخیز امامه

جدول(۲): خصوصیات آماری ضریب رواناب اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه

نوع کاربری اراضی	حداقل	حداکثر	میانگین
آیش	۰/۶۱	۰/۸۰	۰/۷۴
مرتع	۰/۴۴	۰/۷۸	۰/۵۹
باغ	۰/۴۰	۰/۶۸	۰/۵۴
کشاورزی	۰/۱۴	۰/۵۶	۰/۳۸

شاخص‌های آماری انتخاب مدل بهینه

همان‌گونه که بیان شد، برای تخمین ضریب رواناب، با توجه به آزمایشات و تجربیات سایر نقاط جهان توسط صاحب‌نظران معادلات و مدل‌های مختلفی ارائه شده است. اما بین نتایج حاصله از معادلات مختلف، اختلافات چشم‌گیری وجود دارد. همین امر ضرورت تجزیه و تحلیل مقادیر برآورد شده با روش‌های مختلف و ارزیابی آن‌ها را مشخص می‌سازد. به این منظور باید از نمایه‌های آماری استفاده نمود. در این تحقیق از چهار نمایه آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE[1]) (رابطه۱)، ضریب کارایی نش-ساتکلیف (NSE[2]) (رابطه ۲)، میانگین مجذور خطا (MSE[3]) (رابطه۳) و درصد میانگین مطلق خطا (MAPE[4]) (رابطه۴) استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(RC_o - RC_e)^2} \qquad (۱)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(RC_o - RC_e)^2}{\sum_{i=1}^{n}(RC_o - \overline{RC_o})^2} \qquad (۲)$$

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(RC_o - RC_e)^2 \qquad (۳)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{RC_o - RC_e}{RC_o}\right|}{n} \times 100 \qquad (۴)$$

در این روابط RC_e ضریب رواناب تخمینی، RC_0 ضریب رواناب مشاهداتی، $\overline{RC_o}$ متوسط ضریب رواناب مشاهداتی و n تعداد داده‌ها است. هرچه مقدار شاخص RMSE به صفر نزدیک‌تر باشد، مدل از دقت بیشتری برخوردار خواهد بود. تغییرات NSE از ∞- تا ۱+ بوده و مقدار بهینه این شاخص یک است. بر اساس پژوهش‌های مختلف صورت گرفته، اگر مقدارضریب NSE بالاتر از ۰/۵ باشد مدل شبیه‌سازی خوبی داشته است (کیانی سلمی و همکاران، ۱۳۹۸).

نتایج و بحث

روش‌شناسی این مطالعه بر اساس آن دسته از متغیر-هایی استوار است که ضریب رواناب بیشترتحت تأثیر آن‌ها قرار دارد. تحلیل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مجموعه‌ای از روش‌های تحلیلی است که به تصمیم‌گیرندگان در حل مسایل پیچیده و دارای ساختار ضعیف یا ناقص کمک می‌کند و از دانش تصمیم‌گیرندگان و معیارهای موثر در حل این مسایل استفاده می‌کند. در این تحقیق روش تحلیل سلسله مراتبی از بین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

[1] Root Mean Square Error
[2] Nash-Sutcliffe
[3] Mean Squared Error
[4] Mean absolute Percentage Of Error

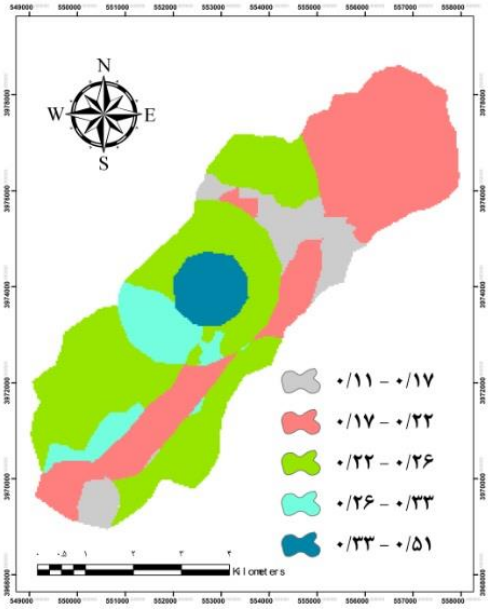
برای تخمین ضریب رواناب محدوده مورد مطالعه انتخاب شد. نتایج مربوط به وزن هر یک از معیارها و کلاس‌های هر یک از معیارها در جدول ۳ آمده است. مقدار نرخ ناسازگاری ۰/۰۵ به‌دست آمد که نشان‌دهنده سازگاری نتایج می‌باشد. با توجه به کوچک بودن مقادیر نرخ ناسازگاری از ۰/۱، سازگاری در قضاوت‌ها رعایت شده است. نتایج مقایسه نهایی تخمین ضریب رواناب با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و مطالعه پیشین در جدول ۴ آمده است. نتایج نشان داد هر سه مدل به‌خوبی توانستند ضریب رواناب را تخمین بزنند. در مدل اول نتایج نشان داد که شیب با وزن ۰/۳۷۴ دارای اولویت اول می‌باشد که با نتایج Lallam و همکاران (۲۰۱۸)؛ Lemma و همکاران (۲۰۱۸) که پوشش‌گیاهی را به‌عنوان اولویت اول تلقی نموده است همخوانی ندارد. دلیل این امر می‌تواند وسعت زیاد محدوده مورد مطالعه آن‌ها و توان تولید بالای رواناب در محدوده مورد مطالعه آن‌ها باشد که پوشش‌گیاهی را اولویت اول در تأثیرگذاری روی ضریب رواناب قرار می‌دهد ولی در حوزه آبخیز امامه با فضای کمتر و شیب بیشتر، اولویت اول شیب حوزه آبخیز به‌دست آمده که با نتایج بیات و همکاران(۱۳۹۴) همخوانی دارد و می‌توان نتایج تحقیق حاضر را منطقی دانست. شیب حوزه آبخیز اثری محسوس و قابل توجهی در جریان سطحی آن دارد. چنانچه مقدار شیب افزایش یابد، نقش عوامل افزاینده نفوذ کاهش یافته و میزان رواناب زیاد می‌شود. در بین طبقات شیب، طبقه شیب ۲-۰ دارای وزن ۰/۴۷۸ می‌باشد که نسبت به سایر طبقات اهمیت بیشتری دارد. پوشش‌گیاهی با وزن ۰/۳۶۵ در مدل اول دارای اولویت دوم می‌باشد. پوشش‌گیاهی در مهار رواناب نقش قابل توجهی دارد به‌طوری‌که در شرایطی که میزان پوشش‌گیاهی زیاد و شیب منطقه کم، در زمان وقوع بارندگی‌های زیاد، وقوع رواناب دچار تأخیر شده و مقدار آن بسیار پایین است. از بین بردن پوشش‌گیاهی و یا تغییر در

جدول(۳): وزن‌های مربوط به معیارها و کلاس‌های آن

مدل	معیار	وزن	کلاس	وزن	وزن نهایی
مدل اول	شیب	۰/۳۷۴	۲-۰	۰/۴۷۸	۰/۱۷۸
			۵-۲	۰/۲۰۳	۰/۰۷۵
			۸-۵	۰/۱۰۲	۰/۰۳۸
			۱۲-۸	۰/۰۶۷	۰/۰۲۵
			۱۵-۱۲	۰/۰۴۹	۰/۰۱۸
			۳۰-۱۵	۰/۰۴۲	۰/۰۱۵
			۶۵-۳۰	۰/۰۳۱	۰/۰۱۱
			>۶۵	۰/۰۲۸	۰/۰۱۰
	کاربری اراضی	۰/۳۶۵	باغ	۰/۲۰۱	۰/۰۷۳
			بایر	۰/۲۸۰	۰/۱۰۲
			مرتع	۰/۱۷۶	۰/۰۶۴
			مسکونی	۰/۳۴۳	۰/۱۲۵
	خاک	۰/۲۶۱	B	۰/۱۶۳	۰/۰۴۲
			C	۰/۲۹۷	۰/۰۷۷
			D	۰/۵۴۰	۰/۱۴۰
مدل دوم	حداکثر بارش روزانه	۰/۶۱۵	۶۸-۷۰	۰/۰۸۷	۰/۰۵۳
			۷۰-۷۱	۰/۱۲۲	۰/۰۷۵
			۷۱-۷۲	۰/۲۳۷	۰/۱۴۵
			۷۲-۷۵	۰/۵۵۴	۰/۳۴۰
	خصوصیات حوضه			۰/۳۸۵	
	مساحت حوضه	۰/۴۱۲		۳۷۱۲ هکتار	
	خاک	۰/۵۸۸	B	۰/۱۶۳	۰/۰۹۵
			C	۰/۲۹۷	۰/۱۷۴
			D	۰/۵۴۰	۰/۳۱۷
مدل سوم	نفوذ	۰/۶۵۴			
	مساحت حوضه	۰/۳۴۶		۳۷۱۲ هکتار	

نوع و نحوه کشت گیاهانی که برگاب زیادی ندارند، سبب افزایش ضریب رواناب می‌شود. چرای بیش از اندازه دام سبب فشردگی خاک و از بین رفتن پوشش گیاهی و افزایش هدررفت آب از حوزه آبخیز می‌شود. در مدل دوم، تأثیر خاک و مساحت حوزه آبخیز بر ضریب رواناب یکسان است ولی در این گروه بیشترین تأثیر را حداکثر بارش روزانه با وزن ۰/۶۱۵ دارد. ویژگی‌های خاک به ویژه نفوذپذیری خاک عامل مهم مؤثر بر ضریب رواناب است. به طور کلی رواناب در شرایط غیر اشباع خاک هنگامی شکل می‌گیرد که شدت باران بر سرعت نفوذ آب به خاک غلبه کند. در بین گروه‌های خاک، D به دلیل نفوذپذیری خیلی کم، دارای وزن ۰/۵۴۰ می‌باشد که نسبت به بقیه اهمیت بیشتری دارد. نتایج نشان می‌دهد که هر سه مدل به‌خوبی توانسته‌اند ضریب رواناب در حوزه آبخیز امامه را تخمین بزنند و با مقایسه با ضریب رواناب مشاهداتی نشان داد که مدل دوم با ضریب نش ۰/۵۹ کارایی بهتر نسبت به سایر مدل‌ها دارد (شکل ۶). رابطه بین بارندگی و ضریب رواناب به عوامل متعددی از قبیل مشخصات بارش، ویژگی‌های خاک، رطوبت پیشین خاک در حوزه آبخیز و شیب حوزه آبخیز بستگی دارد. در آبخیزهای که رابطه قوی بین ضریب رواناب و بارندگی وجود دارد، افزایش مقدار و شدت بارش از یک سو و کاهش فواصل بارش‌ها از سوی دیگر به عنوان عواملی هستند که می‌توانند شدت تولید رواناب را افزایش دهند. حوزه آبخیز امامه با متوسط بارندگی۷۵۶/۶۰

میلی‌مترو متوسط آبدهی ۰/۵۹ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که کاربرد روش تصمیم‌گیری چندمعیاره در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی به عنوان ابزار توانمندی در تخمین ضریب رواناب با دقت بالا مطرح می‌باشد. با توجه به این‌که یکی از اصول اولیه مدیریت، اطلاع از اولویت‌های مدیریتی می‌باشد، این الگو و نتایج حاصل از آن می‌تواند راه‌کار مناسبی برای اعمال مدیریت رواناب در حوزه‌های آبخیز باشد.



شکل(۶) نقشه ضریب رواناب مدل دوم

جدول(۴): نتایج مقایسه مدل‌ها با استفاده از شاخص‌های

مدل	RMSE	NSE	MAPE	MSE
مدل اول	۰/۳۸۷	۰/۵۴	۶۱/۱۶۵	۰/۱۵۰
مدل دوم	۰/۳۶۳	۰/۵۹	۵۶/۰۸۰	۰/۱۳۲
مدل سوم	۰/۴۰۵	۰/۵۶	۶۲/۴۲۴	۰/۱۶۴

نتیجه‌گیری

باتوجه به دامنه وسیع مدل‌های تخمین ضریب رواناب، انتخاب مناسب‌ترین مدل دشوار است. مدل‌هایی که با توجه به نقص و کمبود آمار طولانی‌مدت و دقیق بتوانند نتایج قابل قبولی را ارائه دهند، می‌توانند به عنوان ابزاری کارامد در خدمت مدیر حوزه آبخیز باشند. در این تحقیق معیارهای کاربری اراضی، نوع خاک، شیب، حداکثر بارش روزانه و مساحت حوضه به منظور تخمین ضریب رواناب در نظر گرفته شد. بر این اساس سه مدل بر اساس این پنج معیار طراحی و مورد ارزیابی قرار گرفت. بر این اساس هر سه مدل کارایی یکسانی در این مطالعه دارند و اختلاف معنی-داری باهم ندارند ولی چون مدل دوم معیارهای کمتری دارد به‌آسانی می‌توان ضریب رواناب را تخمین زد. با توجه به انتخاب مدل دوم بعنوان مدل مناسب، در این مدل، تأثیر خاک و مساحت حوزه آبخیز بر ضریب رواناب یکسان است و در این گروه بیشترین تأثیر را حداکثر بارش روزانه با وزن

۰/۶۱۵ دارد علت این امر می‌تواند رابطه قوی بین ضریب رواناب و بارندگی باشد که افزایش مقدار و شدت بارش از یک سو و کاهش فواصل بارش‌ها از سوی دیگر به عنوان عواملی هستند که می‌توانند شدت تولید رواناب را افزایش دهند. در انتها می‌توان نتیجه گرفت این مدل‌ها می‌توانند شبیه‌سازی قابل قبولی در شرایط کشور ما داشته باشند و قادرند با اطلاعات قابل دسترس پاسخ حوزه‌های آبخیز فاقد آمار را محاسبه کنند و از قابلیت خوبی برخوردارند.

منابع

بیات ر.، عرب‌خدری م.، گرامی ز.، ۱۳۹۴. بررسی تأثیر شیب بر ضریب رواناب با استفاده از شبیه‌ساز باران آزمایشگاهی، چهارمین همایش ملی سامانه‌های سطوح آبگیر باران، بهمن‌ماه ۱۳۹۴.

جعفری م.، وفاخواه م.، توسلی و.،۱۳۹۴. تخمین ضریب رواناب رگبار با استفاده از سیستم استنباط فازی- عصبی تطبیقی(ANFIS) در حوزه آبخیز بار اریه نیشابور، نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۱۹(۷۳)، ۱۷۶-۱۶۵.

سبزواری ت.، کرمی م.، موسوی س. س،۱۳۹۷. ارتباط بین ضریب رواناب سطحی با میزان بارندگی و شیب در خاک‌های رسی ماسه دار،کنفرانس ملی عمران و معماری در مدیریت شهری قرن۲۱، ۲۰ تیر.

علیجانپور شلمانی ع.، واعظی ع.، ۱۳۹۶. عوامل فیزیکی تعیین کننده ضریب رواناب در حوزه‌های آبخیز استان اردبیل. دانش آب و خاک, ۲۷(۳)، ۱۴-۱.

قدسی‌پور س.ح.، ۱۳۸۵. مباحثی در تصمیم‌گیری چند معیاره، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، چاپ چهارم، ۲۲۰ص.

محسنی ب.،رزاقیان ه.،درزی نفت چالی ع.،نیکزاد ا.،۱۳۹۵. ارزیابی روشهای استدلالی، SCS و سیپرس-کریک برای تعیین ضریب رواناب حوضه‌های با مساحت کمتر از ۵۰کیلومتر مربع استان مازندران، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۸(۲)، ۲۳۶-۲۴۷.

مهدوی، م.، ۱۳۸۹. هیدرولوژی کاربردی، جلد دوم. انتشارات دانشگاه تهران، ۱۲۲-۱۶۴.

داوری‌زاده ع.، وفاخواه م.، ۱۳۹۸. تعیین حداکثر بارش روزانه در حوزه آبخیز امامه با استفاده از بهترین توزیع احتمالی منطقه‌ای، نهمین همایش ملی آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، کرمان، ۲۹ و ۳۰ بهمن ماه ۱۳۹۸.

کیانی سلمی ا.، عبدالهی خ.، هنر بخش ا.، ۱۳۹۸. مقایسه روش‌های برآورد آب پایه در ارتباط با شبیه‌سازی جریان کل در حوزه آبخیز بهشت آباد، نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۰(۳۷)، ۹۲-۸۲.

Bellamy, P. W., & Cho, H. J. (2019). A GIS-Based Approach for Determining Potential Runoff Coefficient and Runoff Depth for the Indian River Lagoon, Florida, USA. In Lagoon Environments Around the World-A Scientific Perspective: IntechOpen.

Chezgi, J., Vafakhah, M., & Falahatkar, S. (2020). Spatial Resolution Effect of Remotely Sensed Data on Flood Hydrograph Simulation. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 48(1), 97-112.

Hung, C.-L. J., James, L. A., & Carbone, G. J. (2018). Impacts of urbanization on stormflow magnitudes in small catchments in the Sandhills of South Carolina, USA. Anthropocene, 23, 17-28.

Khalil, R. (2017). Determination of Potential Runoff Coefficient Using GIS and Remote Sensing. Journal of Geographic Information System, 9(6), 752-762.

Lallam, F., Megnounif, A., & Ghenim, A. N. (2018). Estimating the runoff coefficient using the analytic hierarchy process. Journal of Water and Land Development, 38(1), 67-74.

Lemma, T. M., Gessesse, G. D., Kassa, A. K., & Edossa, D. C. (2018). Effect of spatial scale on runoff coefficient: Evidence from the Ethiopian highlands. International Soil and Water Conservation Research, 6(4), 289-296.

Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process Mcgraw Hill, New York. Agricultural Economics Review, 70.

Vafakhah, M., Nikche, A. F., & Sadeghi, S. H. (2018). Comparative effectiveness of different infiltration models in estimation of watershed flood hydrograph. Paddy and Water Environment, 16(3), 411-424.

Zeinali, V., Vafakhah, M., & Sadeghi, S. H. (2019). 'Impact of Urbanization on Temporal Distribution Pattern of Storm Runoff Coefficient. Environmental monitoring and assessment, 191(9), 595.

Zhang, Y., Chiew, F. H., Li, M., & Post, D. (2018). Predicting runoff signatures using regression and hydrological modeling approaches. Water Resources Research, 54(10), 7859-7878.

Evaluating Efficiency of Analytical Hierarchy Process for Estimating Runoff Coefficient in Amameh Watershed

Atefeh Davarizadeh[1], Mehdi Vafakhah[2*], Akbar Najafi [3]

Abstract

One of the components of watershed water balance, which is very important in watershed management and water resources management, is runoff. Appropriate estimation of runoff value requires determining Runoff Coefficient (RC). This study was conducted to evaluate the effectiveness of multi-criteria decision-making methods in order to estimate the RC in Amameh watershed, Iran. To do this, at first, slope angle, vegetation (land use), hydrologic soil groups, maximum daily rainfall and area of the study area layers was entered into geographic information system (GIS). After performing the necessary processing on the layers, it were converted to raster formats based on the study area boundary. In the next step, the analytical hierarchy process (AHP) structure was established based on the research purpose. The weighted index values for each layer and their different classes were then determined based on the weighted index of the AHP by Expert Choice software. Based on these five criteria, three models were made. Therefore in model 1, slope angle, vegetation (land use) and hydrologic soil groups; in model 2, maximum daily rainfall, area of the study area and hydrologic soil groups and in model 3, soil infiltration and area of the study area were used. The estimated RCs were then estimated based on weight for each criteria in each model. The estimated RC with the observed RC, which have been measured using the Kamphorst rainfall simulator at 60 points in different land uses with an intensity of 60 mm hr^{-1} for 90 min, were compared. The obtained results showed that the second model with Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) coefficient of 0.59 and root mean squares error (RMSE) of 0.363 had a better efficiency than the other two models. In general, the results showed that the AHP method due to its simplicity, the application of qualitative and quantitative criteria simultaneously and the ability to assess compatibility in judgments can be used in the study of RC.

Keywords: multi-criteria decision-making method, runoff coefficient, rainfall simulation, rainfall intensity,

[1] M.Sc. Student of Watershed Management Engineering. Faculty of Natural Resources and Marine Sciences. Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran Province, Iran ; a.davarizadeh@modares.ac.ir

[2] Professor. Department of Watershed Management Engineering. Faculty of Natural Resources and Marine Sciences. Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran Province, Iran, vafakhah@modares.ac.ir

[3] Associate Professor. Department of Watershed Management Engineering. Faculty of Natural Resources and Marine Sciences. Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran Province, Iran; a.najafi@modares.ac.ir