Watershed Engineering and Management Volume 15, Issue 3, 2023, Pages 404-422
DOI: 10.22092/IJWMSE.2022.357101.1948

Determination of improving parameters for runoff hydrograph in the conditions of the construction of check dams in streams

Rouhangiz Akhtari[1*], Mohammad Rostami[2], Bahram Saghafian[3] and Mohammad Elmi[4]
[1] Assistant Professor, Research Department of River Engineering, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
[2] Assistant Professor, Research Department of River Engineering, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research Education and Extension Organization, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
[3] Professor, Depatment of Water Resources Engineering, Science and Research Branch Islamic Azad University, Tehran, Iran
[4] PhD Student, Department of Civil Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 17 February 2022 Accepted: 31 May 2022

Extended abstract

Introduction

The construction of check dams in the branches is one of the common methods of watershed management to control sedimentation, watercourse stability and reduce the flood hydrograph from the time of concentration and peak flow. In Iran, despite being 50 years old, in the wide implementation of this small-scale structure by the bodies affiliated to the country's Natural Resources and Watershed Management Organization as an executive body, a suitable quantitative and qualitative evaluation method has not been provided. In expressing the effectiveness of this structure, it is inevitable to simulate natural conditions in the presence and absence of this structure in hydrological and hydraulic models. Of course, field visits and measurement of the relevant parameters in the field are also considered to be primary measures in the verification of the simulation and the approximate expression of the effectiveness. The investigations showed that in many researches, the effect of correction dams on the runoff hydrograph has been considered. Simulation of the dams has been done hydrologically with changes in the slope of the waterway and basin time concentration or by using the method of routing in the reservoir that according to simplified hypotheses, estimates more than reality. Hydraulic simulation is more precise but has its own complexity and obstacles. Therefore, in this study, we tried to apply the effectiveness of improving check dams in runoff hydrograph by using both the accuracy of hydraulic simulation and the lack of complexity of hydrological relations. The effectiveness of check dams is computed by determining and applying coefficients in the waterway output hydrograph without improving check dams to obtain the waterway output hydrograph with check dams.

Material and methods

In this research, the effectiveness of successive check dams in reducing the output hydrograph of a triangular channel with three lengths of 1000, 2000 and 3000 meters in three longitudinal slopes of five, 10 and 15%, using the MIKE 11 hydrodynamic model, is considered. In this study, it is assumed that series check dams with a height of 2.5 meters will be constructed in each triangular canal, therefore, the number of check dams will vary from 20 to 180 based on their length and slope. In this study, the output hydrograph of the triangular channel was considered as the dependent variable, and the input hydrograph, channel length, and channel slope were considered as independent variables. Variations of outflow hydrograph peak discharge were investigated under two scenarios. The first scenario for the condition where the channel is without improving check dams and the second scenario for the case where the channel was studied with full of sediment series check dams in order to simulate the effectiveness of the dams in a waterway with hydrological parameters.

* Corresponding author: r,akhtari@gmail.com

DOI: 10.22092/IJWMSE.2022.357101.1948

Two criteria were defined to express effectiveness: the percentage of the intensity of hydrograph routing and the percentage of flow discharge change. The percentage of changes in peak discharge of the hydrograph is determined in relation to the peak discharge of the inlet hydrograph. In other words, "attenuation coefficient" was named based on the difference between inlet and outlet discharge for the scenario and for changes in length of waterway, slope and different amounts of inlet hydrograph. The percentage of change in peak flow discharge from the second scenario compared to the first scenario was also considered as the percentage of flow discharge change.

Results and discussion

Evaluation of the model results for hydrograph routing along the channel in exchange for changing independent variables in the form of two scenarios resulted in decreasing peak flow, increasing the base time of output hydrograph, and delayed time due to trending. The existence of check dams has doubled the change in the mentioned parameters. As the longitudinal slope of the waterway increases, the amount of storage in the canal decreases, and the output discharge and therefore the intensity of the routing (decrease in peak outflow relative to the inlet). Increasing the volume of inflow decreases the intensity of the routing. Routing intensity has an inverse relationship with longitudinal slope and has a direct relationship with channel length. Increasing the number of check dams increases the amount of storage in the canal and as a result, slope reduction occurs and the changes in output discharge are greater than inlet flow. Therefore, the intensity of routing increases. The main purpose of this study was to determine the effectiveness of improving check dams in reducing peak discharge of ouflow hydrograph from a triangular channel based on different conditions using a mathematical model. After performing various simulations and investigating different methods, it was observed that the effects of improving check dams on a outflow hydrougraph can be modeled as the effect of a linear reservoir with a lag time at the end of the channel. In other words, two linear reservoir function and a lag time function are applied to independent variables to obtain the dependent variable. For both output hydrographs obtained in the channel without and with improving dams, K values were estimated as linear reservoir function and T_L as lag time function. The average storage coefficient (K) of the linear reservoir was estimated 500, 1100 and 1400 seconds respectively for lengths of 1000, 2000, and 3000 m and for three slopes. The mean lag time for the three mentioned lengths was 540, 1750, and 3700 seconds, respectively. As the length of the channel increases, the slope of the canal, as well as the inflow to the canal, as well as the inflow to the canal decreases, and the amount of the above parameters and therefore the attenuation coefficient increases.

Conclusion

If a stream is selected for the construction of improving check dams and the output hydrograph is available using empirical, hydraulic, and hydrological models in the absence of check dams, the outflow hydrograph from the stream will be simulated and modified for the existence of small-scale structures by applying the linear reservoir storage coefficients and the lag time obtained from this research. In this way, the effectiveness of the construction of improving check dams in flood control will be achieved in the mentioned waterway.

Keywords: Attenuation coefficient, Linear reservoir, MIKE 11 model, Series check dam, Simulation hydrograph

Cite this article: Akhtari, R., Rostami, M., Saghafian, B., Elmi, M., 2023. Determination of improving parameters for runoff hydrograph in the conditions of the construction of check dams in streams. Watershed Engineering and Management 15 (3), 404-422.

© 2023, The Author(s). Published by Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Watershed Engineering and Management
Volume 15, Issue 3, 2023, Pages 404-422
DOI: 10.22092/IJWMSE.2022.357101.1948

تعیین ضرایب اصلاحی هیدروگراف رواناب در شرایط احداث بندهای کوتاه آبخیزداری در آبراهه‌ها

روح انگیز اختری[1*]، محمد رستمی[2]، بهرام ثقفیان[3] و محمد علمی[4]

[1] استادیار، گروه پژوهشی مهندسی رودخانه و سواحل، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

[2] استادیار، گروه پژوهشی مهندسی رودخانه و سواحل، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

[3] استاد، گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران، معماری و هنر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

[4] دانشجوی دکتری، دانشکده عمران، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۰

چکیده مبسوط

مقدمه

احداث بند اصلاحی در سرشاخه‌ها، یکی از روش‌های رایج مدیریت آبخیز برای کنترل رسوب، پایداری آبراهه و کاهش هیدروگراف سیل از بعد زمان تمرکز و دبی اوج محسوب می‌شود. در ایران، با وجود قدمت ۵۰ ساله، در اجرای گسترده این سازه کوچک‌مقیاس به‌وسیله ارگان‌های وابسته به سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور به عنوان دستگاه اجرایی، همچنان روش ارزیابی کمی و کیفی مناسبی برای آن ارائه نشده است. در بیان اثربخشی این سازه، شبیه‌سازی شرایط طبیعی در حالت وجود و عدم وجود این سازه در مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی، اجتناب ناپذیر است. البته بازدیدهای میدانی و اندازه‌گیری پارامترهای مربوطه در عرصه نیز، در تدقیق شبیه‌سازی و هم بیان تقریبی اثربخشی، از اقدامات اولیه محسوب می‌شود. بررسی‌های انجام شده نشان داد، در بسیاری از پژوهش‌ها، اثر بندهای اصلاحی بر روی هیدروگراف رواناب مد نظر بوده است. شبیه‌سازی بندها، به‌صورت هیدرولوژیکی با کمک تغییر در شیب آبراهه و زمان تمرکز حوضه و یا با استفاده از روش‌های روندیابی در مخزن انجام شده است که با توجه به فرضیات ساده شونده، برآوردی بیش از واقعیت ارائه می‌دهد. شبیه‌سازی هیدرولیکی دقیق‌تر، اما پیچیدگی و موانع خاص خود را دارا است. لذا، در این پژوهش سعی بر آن شد تا علاوه بر بهره‌مندی از دقت شبیه‌سازی هیدرولیکی و نیز از عدم پیچیدگی روابط هیدرولوژیکی، اثربخشی وجود بندهای اصلاحی در هیدروگراف رواناب اعمال شود. اثربخشی بندهای اصلاحی با تعیین و اعمال ضرایبی در هیدروگراف خروجی آبراهه بدون بند اصلاحی، صورت گرفت تا هیدروگراف خروجی آبراهه با بند اصلاحی به‌دست آید.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، اثربخشی بندهای اصلاحی متوالی در کاهش هیدروگراف خروجی از یک کانال مثلثی با سه طول ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ متر در سه شیب طولی پنج، ۱۰ و ۱۵ درصد، با استفاده از مدل هیدرودینامیکی MIKE 11، مد نظر است. در این بررسی، فرض بر آن است که بندهای آبخیزداری متوالی با ارتفاع ۲/۵ متر از تاج بند پایاب تا پاشنه بند سراب در هر

* مسئول مکاتبات: r,akhtari@gmail.com

کانال مثلثی احداث شود. لذا، تعداد بندها بر اساس طول و شیب آن از ۲۰ تا ۱۸۰ عدد متغیر خواهد بود. در این پژوهش، هیدروگراف خروجی از کانال مثلثی به عنوان متغیر وابسته و هیدروگراف ورودی به کانال، طول و شیب کانال، به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شد. تغییرات بیشینه جریان خروجی تحت دو سناریوی کانال بدون بند اصلاحی (سناریوی اول) و کانال با وجود بندهای اصلاحی متوالی پر از رسوب (سناریوی دوم) مورد بررسی قرار گرفت تا بتوان اثربخشی بندهای اصلاحی در یک آبراهه را با پارامترهای هیدرولوژیکی شبیه‌سازی کرد. دو معیار سنجنده شامل درصد ضریب تسکین و درصد تغییر جریان برای بیان اثربخشی تعریف شد. درصد تغییرات دبی اوج هیدروگراف روندیابی شده در طول کانال نسبت به دبی اوج هیدروگراف ورودی یا به عبارتی اختلاف بین دبی ورودی و دبی خروجی برای سناریو و به ازای تغییرات طول مسیل، شیب و مقادیر مختلف هیدروگراف ورودی، "شدت روندیابی" نامگذاری شد. درصد تغییرات دبی اوج خروجی از سناریوی دوم نسبت به سناریوی اول هم تحت عنوان، درصد تغییر جریان، در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

ارزیابی نتایج مدل برای روندیابی هیدروگراف در طول کانال به ازای تغییر متغیرهای مستقل در قالب دو سناریو، کاهش دبی اوج، افزایش زمان پایه هیدروگراف خروجی و زمان تاخیر ناشی از روندیابی را در پی داشت. وجود بندهای اصلاحی، تغییر پارامترهای فوق را دو چندان کرده است. هر چه شیب طولی آبراهه افزایش پیدا می‌کند، میزان ذخیره در کانال کمتر شده و دبی خروجی و در نتیجه ضریب تسکین (کاهش دبی اوج خروجی نسبت به ورودی)، کاهش می‌یابد. هر چه حجم جریان ورودی بیشتر باشد، ضریب تسکین کمتر خواهد بود. ضریب تسکین با شیب طولی، رابطه معکوس و با طول کانال، رابطه مستقیم دارد. در صورت اجرای بندهای اصلاحی، هر چه طول کانال بیشتر می‌شود، به‌علت بیشتر شدن تعداد بندهای اصلاحی، میزان ذخیره در کانال افزایش یافته و کاهش شیب رخ خواهد داد و تغییرات دبی خروجی نسبت به دبی ورودی بیشتر خواهد بود، لذا، ضریب تسکین افزایش می‌یابد. هدف اصلی این پژوهش، بیان ریاضی اثربخشی بندهای اصلاحی در کاهش دبی اوج هیدورگراف خروجی از مسیل بر اساس شرایط مختلف بود. پس از انجام اجراهای متعدد و بررسی انواع روش‌های مختلف، مشاهده شد که می‌توان اثرات بند اصلاحی بر روی یک آبراهه را به‌صورت اثر یک مخزن خطی به همراه یک تاخیر زمانی در انتهای کانال مدل کرد. به عبارتی، دو تابع مخزن خطی و تابع تاخیر زمانی بر روی متغیرهای وابسته اعمال می‌شود تا متغیر مستقل به‌دست آید. برای هر زوج هیدورگراف (هیدروگراف خروجی از کانال بدون بند اصلاحی و دارای بند اصلاحی)، مقادیر K، به عنوان تابع مخزن خطی و T_L، به عنوان تابع تاخیر زمانی برآورد شد. میانگین ضریب ذخیره (K) مخزن خطی برای طول‌های ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ متر، و برای سه شیب مورد بررسی به‌ترتیب ۵۰۰، ۱۱۰۰ و ۱۴۰۰ ثانیه برآورد شد. میانگین زمان تاخیر نیز برای سه طول یادشده به‌ترتیب ۵۴۰، ۱۷۵۰ و ۳۷۰۰ ثانیه، محاسبه شد. هر چه طول کانال بیشتر، شیب کانال کمتر، و دبی ورودی به کانال کمتر باشد، پارامترهای فوق بزرگتر شده و لذا، ضریب تسکین بزرگ‌تر می‌شود.

نتیجه‌گیری

در صورتی‌که آبراهه‌ای برای احداث بندهای اصلاحی انتخاب شود و هیدروگراف خروجی از آن با استفاده از مدل‌های تجربی، هیدرولیکی و هیدرولوژیکی در شرایط عدم وجود بندهای اصلاحی در دست باشد، هیدروگراف خروجی از آبراهه برای شرایط وجود سازه‌های کوچک مقیاس، با اعمال ضرایب ذخیره مخزن خطی و زمان تاخیر به‌دست آمده از این پژوهش، شبیه‌سازی و اصلاح خواهد شد. به این ترتیب، اثربخشی اجرای بندهای اصلاحی در کنترل سیل در آبراهه یادشده به‌دست خواهد آمد.

واژه‌های کلیدی: بندهای اصلاحی متوالی، شدت روندیابی، مخزن خطی، مدل MIKE 11، هیدروگراف شبیه‌سازی

مقدمه

بیشینه دبی هیدروگراف سیلاب، می‌تواند به عنوان مهمترین عامل در بروز خسارات ناشی از یک سیل مطرح باشد. در صورتی‌که بتوان با روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای تغییراتی در مشخصات هیدروگراف سیل، نظیر کاهش دبی اوج و افزایش زمان پایه هیدروگراف داد، خسارت ناشی از سیلاب تقلیل خواهد یافت. احداث بند در عرض آبراهه‌ها، از جمله راهکارهای رایج در افزایش زمان تمرکز حوزه آبخیز است که منتج به کاهش بیشینه دبی هیدروگراف سیلاب می‌شود. بندهای اصلاحی، به عنوان یک اقدام سازه‌ای حفاظت آب و خاک در سراسر دنیا موجب کاهش سرعت جریان، پایش و تله اندازی رسوبات، افزایش نفوذپذیری آبراهه، افزایش پوشش گیاهی، کاهش دبی بیشینه سیل، افزایش زمان تمرکز و زمان تاخیر، در حوضه مورد نظر می‌شود (Abbasi et al., 2010). برای تثبیت منابع آب زیرزمینی، با استفاده از فنون تغذیه آبخوان نیز بندهای اصلاحی کاربرد دارد (Dillon et al. 2018).

بندهای اصلاحی، یک روش مکانیکی ساده و اقتصادی برای تله‌اندازی رسوبات است که در کنترل کیفیت آب خروجی از حوزه‌های آبخیز (Verstraeten et al., 2003) و کاهش شیب بستر آبکندها و آبراهه‌ها (Zhao et al., 2017؛ Vaezi et al., 2017) و همچنین، با کنترل واریزه‌های ناشی از سیلاب در مناطق کوهستانی، نقش مهمی در کاهش اثرات تخریبی سیل برعهده دارند (Kim and Kim, 2021). البته باید توجه داشت که واریزه‌های انباشته شده در مخزن بندهای اصلاحی، خود منابع رسوبی بالقوه و یک مخاطره طی رویدادهای بعدی برای مناطق پایین‌دست محسوب می‌شوند (Cucchiaro et al., 2019).

Abbasi et al., (2019)، در یک مطالعه موردی کاربرد بندهای اصلاحی برای مدیریت خاک و آب و کنترل رواناب را در چهار قاره و مبتنی بر اندازه‌گیری میدانی بررسی کرده است. بیش از ۱۵۰ سال پژوهش نشان می‌دهد که بندهای اصلاحی، برجسته‌ترین سازه‌ها برای کنترل سیل هستند. در موارد بسیاری، احداث این نوع سازه را مفید دانسته‌اند اما در برخی از پژوهش‌ها نیز عملکرد این نوع سازه را برای منطقه مورد بررسی خود نامطلوب (Cucchiaro et al., 2019، and Jelini, 2017 Kaboosi) گزارش کرده‌اند. ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که انتخاب اشتباه نوع سازه، احداث غیراصولی آن‌ها بدون توجه به مشخصات فنی، متوالی نبودن بندهای اصلاحی، عدم تلفیق با دیگر اقدامات آبخیزداری همچون اقدامات بیولوژیک، و در نهایت، عدم حفاظت و نگهداری به‌وسیله بهره‌برداران، سبب خدشه‌دار شدن اثربخشی بندها شده است. بهینه‌سازی اندازه، مکان احداث و نوع بندها در افزایش کارآیی آن، نقشه به سزایی دارد (Abbasi et al., 2019).

ارزیابی عملکرد بندهای احداث شده، در هر یک از مقوله‌های اثرگذار به‌منظور تعیین میزان اثربخشی، باید بر اساس شاخص‌های مناسبی در عرصه منابع طبیعی به عنوان یک سامانه بسیار پیچیده و با ابعاد مختلف انجام شود (Camplell et al. 2011) اما تا کنون شاخص‌های دقیق و مناسبی در این زمینه معرفی نشده است. در ایران نیز با وجود قدمت ۵۰ ساله در اجرای گسترده این سازه کوچک مقیاس، به‌وسیله ارگان‌های وابسته به سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، به عنوان دستگاه اجرایی، همچنان روش ارزیابی کمی و کیفی مناسبی برای آن ارائه نشده است (Darabi et al., 2020).

در بیان اثربخشی این سازه، شبیه‌سازی شرایط طبیعی در حالت وجود و عدم وجود این سازه در مدل های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی، اجتناب ناپذیر است. البته بازدیدهای میدانی و اندازه‌گیری پارامترهای مربوط به بندها در عرصه، هم در تدقیق شبیه‌سازی و هم بیان تقریبی اثربخشی، از اقدامات اولیه محسوب می‌شود.

بر اساس مدلسازی هیدرولیکی MIKE (DHI[1])، بندهای اصلاحی باعث کاهش ۶۵ درصد بیشینه سیلاب و ۵۸ درصد حجم سیلاب شده است (Yuan et al., 2019). Feng et al., (2021)، با استفاده از مدل‌های هیدرولیکی MIKE SHE و MIKE 11 بر روی حوضه Wangmaogou، تاثیر ارتفاع رسوبات انباشته شده در مخزن بند اصلاحی را بر روی مشخصات سیلاب بررسی کردند. در این پژوهش، چهار سناریو با و بدون بند، با ارتفاع‌های مختلف رسوب در مخزن سد (صفر، چهار و هشت متر) شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که عمق رسوبات بند بر سرعت جریان و تنش برشی رواناب تاثیر داشته است. نیرو و توان رواناب، در سناریوی چهارم (هشت متر رسوب معادل با پر بودن بند اصلاحی از رسوب) نسبت به دیگر سناریوها، به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت. این سناریو، حداکثر سرعت جریان در طول کانال را بیش از ۵۰ درصد کاهش داد. با کاهش سرعت جریان، ظرفیت حمل رسوب و شدت فرسایش رواناب نیز کاهش یافت.

در پژوهش دیگری، برای بیان اثربخشی بندهای اصلاحی از دیدگاه انتقال بار رسوبی و تراز آب زیرزمینی از مدل یکپارچه هیدرولوژیک IHM[2] که یک ابزار محاسباتی مناسب برای شبیه‌سازی تمام فرایندهای سطحی و زیرسطحی چرخه هیدرولوژیکی و تعاملات دینامیکی آن‌ها است، استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که بند اصلاحی به‌طور قابل توجهی پروفیل تراز آب را در امتداد خندق تغییر می‌دهد. مخزن سطحی پشت سد، به تدریج به یک مخزن زیرسطحی تبدیل می‌شود، در نتیجه، گنجایش آب خاک در مناطق رسوبی افزایش می‌یابد. بندهای اصلاحی متوالی هم اثر مضاعفی بر افزایش تراز سطح آب زیرزمین خواهند داشت (Tang et al. 2019). پس از ۵۰ سال بهره‌برداری از ۴۲ بند اصلاحی در حوزه Wangmaogou چین، سطح ایستابی در امتداد خندق به‌طور متوسط سه تا پنج متر افزایش یافته و فرسایش خندقی کاهش یافته است (Tang et al. 2019).

نتایج پژوهش Amini et al., (2014) نشان داد که اقدامات سازه‌ای همراه با غیرسازه‌ای در حوضه، باعث افزایش زمان تمرکز می‌شود. آب ذخیره شده در مخازن بندهای اصلاحی به عنوان یک بافر عمل کرده و باعث کاهش دبی اوج و نوسانات کوچک هیدروگراف رواناب و افزایش دبی کمینه می‌شود. تاثیر بندهای اصلاحی بر روی رواناب سالیانه و انتقال رسوب در حوضه Yanhe با استفاده از مدل SWAT، کاهش ۱۴درصدی رواناب سالانه و ۸۵ درصدی از رسوبات را در پی داشته است (Xu et al., 2013).

افزایش بیشینه‌ای ۱/۶ دقیقه در زمان تمرکز به‌دلیل فعالیت‌های مکانیکی برای حوضه کن استان تهران، با استفاده از مدل HEC-HMS گزارش شده است. طول زیاد و شیب تند آبراهه، کم بودن مسافت تحت تاثیر سازه‌ها، از علل ناموفق بودن اقدامات در کاهش سیل-خیزی مطرح شده است (Abbasi et al., 2010). لذا، در طراحی و انتخاب مکان مناسب اجرا باید کلیه ملاحظات طراحی را در نظر گرفت تا بتوان به اثربخشی مطلوبی از بندهای اصلاحی رسید (Hassanli and Beecham, 2013) که با تلفیق مدل شبیه‌سازی با الگوریتم‌های بهینه‌سازی می‌توان به این مهم دست یافت.

Safaee et al., (2020)، با تلفیق مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS، هیدرولیکی HEC-RAS و روش تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS، مکان مناسب احداث بندهای تاخیری و دیوارهای سیل بند را تعیین کردند. در این پژوهش، بندهای اصلاحی بر اساس ابزار مخزن، شبیه‌سازی شد. از ۲۵۶ ترکیب شبیه‌سازی شده، بهترین ترکیبی انتخاب شده که توانایی کاهش ۳۱ درصدی دبی بیشینه را در حوضه کن تهران داشته است.

در بهینه‌سازی مکانی بندهای اصلاحی، Yazdi (2017) با تلفیق مدل شبیه‌سازی بارش رواناب-HEC HMS و یک شبکه عصبی مصنوعی، گزارش کردند که استراتژی‌های بهینه‌سازی، بر اساس هزینه و تعداد بند اصلاحی می‌تواند دبی‌های بیشینه سیل را تا ۵۰ درصد

[1] Danish Hydraulic Institute

[2] Integrated Hydrologic Model

کاهش دهد. در صورتی‌که جانمایی بندها با رویکرد سنتی و با تعداد زیاد در زیرحوضه‌ها، در نهایت ۲۱ درصد دبی‌های بیشینه سیل را کاهش داده است.

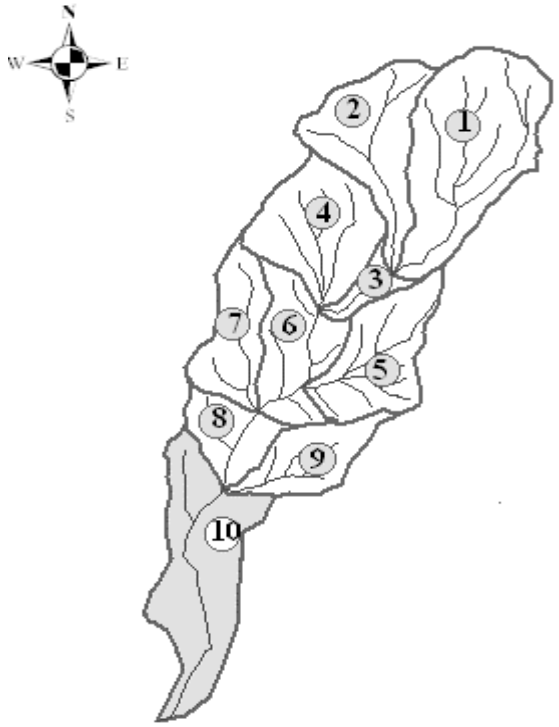
Shiravi et al., (2016)، به‌منظور بررسی سازه‌های اصلاحی بر زمان تمرکز و کاهش دبی اوج سیل در حوزه آبخیز گاش، از روندیابی سیل در مخزن، به روش پالس و روندیابی رودخانه به روش ماسکینگام، استفاده کرده و هیدروگراف سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲۵ تا ۱۰۰ ساله در وضعیت قبل و بعد از احداث سازه‌ها، شبیه‌سازی شده است. نتایج نشان داد، با احداث سازه‌های اصلاحی بین ۷۵ تا ۹۷ درصد دبی اوج و ۷۳ تا ۹۸ درصد حجم سیلاب کاهش یافت. همچنین، نتایج آن‌ها نشان داد، با افزایش دبی اوج و حجم سیل ورودی در دوره بازگشت های مختلف، نقش مخازن در کاهش دبی اوج و حجم سیل کاهش می‌یابد (Shiravi et al., 2016).

Hossainzadeh (2014)، تاثیر بندهای اصلاحی بر جریان سیلاب، در حوضه مطالعاتی گلابدره، واقع در شمال شهر تهران را با استفاده از مدل هیدرودینامیکی MIKE 11 بررسی کرد. رودخانه‌ای به طول ۲۳۰۰ متر با میانگین شیب خالص ۱۸ درصد، بندهای اصلاحی به ارتفاع ۲/۵ متر با تعداد مختلف (پنج تا ۲۸ عدد) در حالت خالی و پر از سوب، هیدروگراف‌های بارش با دوره بازگشت‌های مختلف و مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS به عنوان شرایط مرزی در مدل، شبیه‌سازی شد. نتایج حاکی از آن دارد که در دوره بازگشت‌های کمتر از ۵۰ سال، افزایش دبی اوج با تعداد سدها رابطه مستقیم دارد و در سیل‌های با دوره بازگشت بالاتر از ۵۰ سال، سدها در حالت کلی تاثیر خود را از دست می‌دهند. در حالت سدهای خالی از رسوب، تاخیر زمانی از ۳۹ و ۱۰ دقیقه برای سیل با دوره بازگشت پنج و۲۰۰ سال، به ۳۴ و ۱۵ دقیقه در حالت پر از رسوب کاهش می‌یابد. سدهای خالی از رسوب در سیل‌های با دوره بازگشت‌های کمتر از ۲۵ سال، تاخیر زمانی بیشتری در هیدروگراف سیل خروجی ایجاد می‌کنند. در حالی‌که سدهای پرشده از رسوب در سیل‌هایی با دوره بازگشت‌های بالاتر از ۲۵ سال، موثر بوده است. در مسیر سد سفیدرود، بندهای گابیونی ۷۶ درصد و بندهای خشکه چین ۵۷ درصد، بندهای چپری ۱۰۰ درصد و بندهای خاکی ۲۶ درصد کارایی داشته است (Ghodrati et al., 2004).

بررسی‌های انجام شده نشان داد، در بسیاری از پژوهش‌ها، اثر بندهای اصلاحی بر روی هیدروگراف رواناب مد نظر بوده است. شبیه‌سازی بندها به‌صورت هیدرولوژیکی با کمک تغییر در شیب آبراهه و زمان تمرکز حوضه و یا با استفاده از روش‌های روندیابی در مخزن انجام شده است که با توجه به فرضیات ساده شونده، برآوردی بیش از واقعیت می‌دهند. شبیه‌سازی هیدرولیکی دقیق‌تر اما پیچیدگی و موانع خاص خود را دارا است. لذا، در این پژوهش سعی بر آن شد تا علاوه بر بهره‌مندی از دقت شبیه‌سازی هیدرولیکی و نیز از عدم پیچیدگی روابط هیدرولوژیکی، اثربخشی وجود بندهای اصلاحی در هیدروگراف رواناب اعمال شود. اثربخشی بندهای اصلاحی، با تعیین و اعمال ضرایبی در هیدروگراف خروجی آبراهه بدون بند اصلاحی، صورت می‌گیرد تا هیدروگراف خروجی آبراهه با بند اصلاحی به‌دست آید.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش: حوضه گلابدره، در شمال شهر تهران با مختصات جغرافیایی '۵۱°۲۴ تا '۵۱°۲۸ طول شرقی و '۳۵°۴۹ تا '۳۵°۵۲ عرض شمالی، یکی از حوضه‌های کوهستانی کشور است. این حوضه ۷۳۹ هکتار وسعت دارد و مشتمل بر ده زیرحوضه است. رودخانه گلابدره، از ارتفاعات ۳۳۴۰ متری و با طولی حدود ۶۲۳۰ متر، زهکشی بخش جنوب شرقی حوضه دربند-گلابدره را انجام می‌دهد (شکل ۱). رودخانه گلابدره، در زیرحوضه شماره ۱۰، با مساحت ۱/۱۶ کیلومتر مربع و شیب متوسط ۷/۶ درصد، در مدل MIKE 11 شبیه‌سازی شد (Hossainzadeh, 2014). مدل هیدرولیکی این پژوهش، به‌منظور شبیه‌سازی بندهای اصلاحی بر هیدروگراف سیل، بر اساس پارامترها و شرایط مرزی مدل واسنجی و اعتبارسنجی MIKE 11، برای رودخانه حوضه گلابدره شهر تهران (Hossainzadeh, 2014) بسترسازی شد.



شکل ۱- حوزه آبخیز گلابدره تهران (Hossainzadeh, 2014)
Fig. 1. Golab Darreh Sub-watershed in Tehran Province

هیدروگراف سیل متناظر با بارش، با دوره بازگشت پنج ساله حوضه گلابدره با دبی اوج ۳/۴ متر مکعب بر ثانیه، مبنای محاسبات پنج هیدروگراف برای شرایط مرزی قرار گرفت. هیدروگراف واحد متناظر با بارش پنج ساله گلابدره، هیدورگراف دو برابر هیدروگراف واحد، هیدروگراف سه برابر واحد، هیدروگراف چهار برابر واحد و هیدروگراف پنج برابر واحد، به عنوان شرایط مرزی بالادست در نظر گرفته شد.

مدل شبیه‌سازی: شبیه‌سازی هیدرولیکی بندهای اصلاحی، به‌منظور استخراج رابطه اثربخشی آن‌ها بر هیدورگراف سیل بر پایه مولفه‌های هیدرولوژیکی در مدل MIKE 11 انجام شد. این مدل به‌وسیله موسسه هیدرولیک دانمارک برای شبیه‌سازی جریان یک بعدی و دینامیکی در رودخانه‌ها، سامانه‌های آبیاری، انتقال رسوب در دهانه رودها، کیفیت آب، کانال‌ها و دیگر زمینه‌های منابع آب تهیه و توسعه یافته است (DHI, 2008). مدل هیدرودینامکی MIKE 11، این قابلیت را دارد که در شرایط بدون دبی پایه نیز روندیابی جریان را در طول مسیل انجام دهد. در سرشاخه‌ها، محل اجرای بندهای اصلاحی، نیز چنین شرایطی برقرار است.

پلان رودخانه، مدل هیدرودینامیکی یک بعدی به صورت یک کانال با مقطع ثابت مثلثی با شیب جانبی ۱:۲ فرض شد. زیرا سرشاخه‌ها به عنوان جایگاه سازه‌های کوچک مقیاس، واقع در دره‌های بالادست حوضه‌ها دارای مقطع مثلثی هستند. عرض بالای مقطع ۲۰ متر، ارتفاع آن ۲۰ متر و طول‌های ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ متر برای کانال لحاظ شد.

سازه بند اصلاحی، تنها در آبراهه‌های با شیب‌های کم تا متوسط، اثرات مثبتی در کنترل سیل خواهد داشت و بند اصلاحی در شیب‌های آبراهه بیشتر از ۱۵ درصد، اثری در کنترل سیل ندارد (Hossainzadeh, 2014). لذا، در این پژوهش نیز اثرات بندهای اصلاحی در سه شیب پنج، ۱۰ و ۱۵ درصد بررسی شد. این‌گونه بندها بعد از چند بارندگی شدید معمولا انباشته از

رسوب می‌شوند. در چنین حالتی، بندها، مخزن خود را از دست داده و با ایجاد مسیر پلکانی به جای حرکت بر شیب تند آبراهه، باعث کاهش یافتن سرعت حرکت آب در آبراهه می‌شود. لذا، دو سناریو برای مدلسازی تعریف شد که شامل سناریوی اول (S[1])، کانال در حالت طبیعی و بدون ساخت بندهای اصلاحی و سناریوی دوم (S[2])، کانال با بیشینه تعداد بندهای اصلاحی با مخازن انباشته از رسوب است.

اصول ساخت بند اصلاحی بر این اساس است که تاج بند پایین‌دست، هم‌تراز با پای بند بالادست خود باشد. بنابراین، بر اساس طول (L) و شیب هر آبراهه (S) و ارتفاع هر چکدم (H) که ۲/۵ متر در نظر گرفته شد، بیشینه تعداد چکدم قابل احداث در هر آبراهه $\frac{L \times S}{H}$ خواهد بود. جدول ۱، تعداد بندهای اصلاحی متوالی در طول کانال برای طول‌های مختلف کانال و شیب‌های متفاوت را نشان می‌دهد.

جدول ۱- تعداد بندهای اصلاحی متوالی در نظر گرفته شده در کانال مثلثی با طول و شیب طولی مختلف

Table 1. The number of series check dam considered in triangular channel with differences in length and longitudinal slope

Longitudinal slope of the triangular channel	Length of the triangular channel (m)		
	1000	2000	3000
5%	20	40	60
10%	40	80	120
15%	60	120	180

نتایج این پژوهش، در دو فاز بررسی شده است. در فاز اول، ارزیابی اثربخشی بندهای اصلاحی متوالی در هیدروگراف خروجی از یک کانال با مشخصات متفاوت (طول، شیب و دبی ورودی) و در فاز دوم، بیان ریاضی اثربخشی یاد شده در کاهش دبی بیشینه خروجی از کانال با متغیرهای هیدرولوژیکی، مد نظر قرار گرفته است.

فاز اول-ارزیابی: اثربخشی بندهای اصلاحی متوالی بر اساس متغیر وابسته (هیدروگراف خروجی کانال از نرم افزار MIKE 11) و به ازای متغیرهای مستقل (رابطه ۱) با دو معیار سنجنده ضریب تسکین[1]، ناشی از روندیابی و درصد تغییر جریان[2] ناشی از وجود بندهای اصلاحی (رابطه‌های ۲ و ۳) مورد ارزیابی قرار گرفت.

متغیرهای مستقل =

$$\begin{cases} \text{هیدروگراف ورودی} : U(t),\ 3U(t),\ 5U(t) \\ \text{طول کانال (m)} : 1000,\ 2^{3}000,\ 3000 \\ \text{شیب کانال (\%)}: 5,\ 10,\ 15 \end{cases} \quad (۱)$$

$$\text{ضریب تسکین} = \left(\left(Q_{max\text{-}in}-Q_{max\text{-}out}\right)/Q_{max\text{-}in}\right)\times 100 \quad (۲)$$

$$\text{جریان تغییر درصد}=\frac{\left(Q_{max\text{-}out\text{-}No\text{-}Chk}-Q_{max\text{-}out\text{-}Chk}\right)}{Q_{max\text{-}out\text{-}No\text{-}Chk}}\times 100 \quad (۳)$$

که در آن‌ها، $U(t)$ هیدروگراف واحد ورودی، $3U(t)$ سه برابر هیدورگراف واحد و $5U(t)$ پنج برابر هیدروگراف واحد است. در این پژوهش، اختلاف دبی ورودی به خروجی در هر سناریو، تحت عنوان ضریب تسکین ناشی از روندیابی نامگذاری شد. $Q_{max\text{-}in}$ و $Q_{max\text{-}out}$ به‌ترتیب دبی اوج هیدروگراف ورودی به کانال و دبی اوج هیدروگراف خروجی از کانال به ازای هر اجرا در هر سناریو است. $Q_{max\text{-}out\text{-}No\text{-}Chk}$ و $Q_{max\text{-}out\text{-}Chk}$ به‌ترتیب دبی اوج هیدروگراف خروجی در حالت بدون بند (S[1]) و با بند اصلاحی (S[2]) است.

فاز دوم-شبیه‌سازی اثربخشی: بیان ریاضی اثربخشی بند اصلاحی، در کاهش دبی بیشینه خروجی از کانال با متغیرهای هیدرولوژیکی در این مرحله مدنظر بوده است. به عبارت دیگر، هیدروگراف خروجی از یک کانال با بند اصلاحی حاصل از سناریوی دوم به‌صورت تابعی از جنس پارامترهای هیدرولوژیکی و بر اساس هیدروگراف خروجی بدون بند اصلاحی، حاصل از سناریوی اول به کمک رابطه‌های (۴) و (۵) محاسبه شد.

$$Q_{S[2]} = f\left(Q_{S[1]}\right) \quad (۴)$$

$$Q_{out\text{-}Chk} = f\left(Q_{out\text{-}no\text{-}chk}\right) \quad (۵)$$

که در آن‌ها، $Q_{S[1]}$ و $Q_{out\text{-}no\text{-}chk}$ هیدروگراف خروجی سناریو اول، کانال بدون بند اصلاحی، $Q_{S[2]}$ و $Q_{out\text{-}Chk}$ هیدروگراف خروجی از سناریو دوم، کانال با بند اصلاحی و f تابع تبدیل از جنس پارامترهای هیدرلوژیکی است. با توجه به بررسی‌های انجام شده تابع

[1] Attenuation coefficient

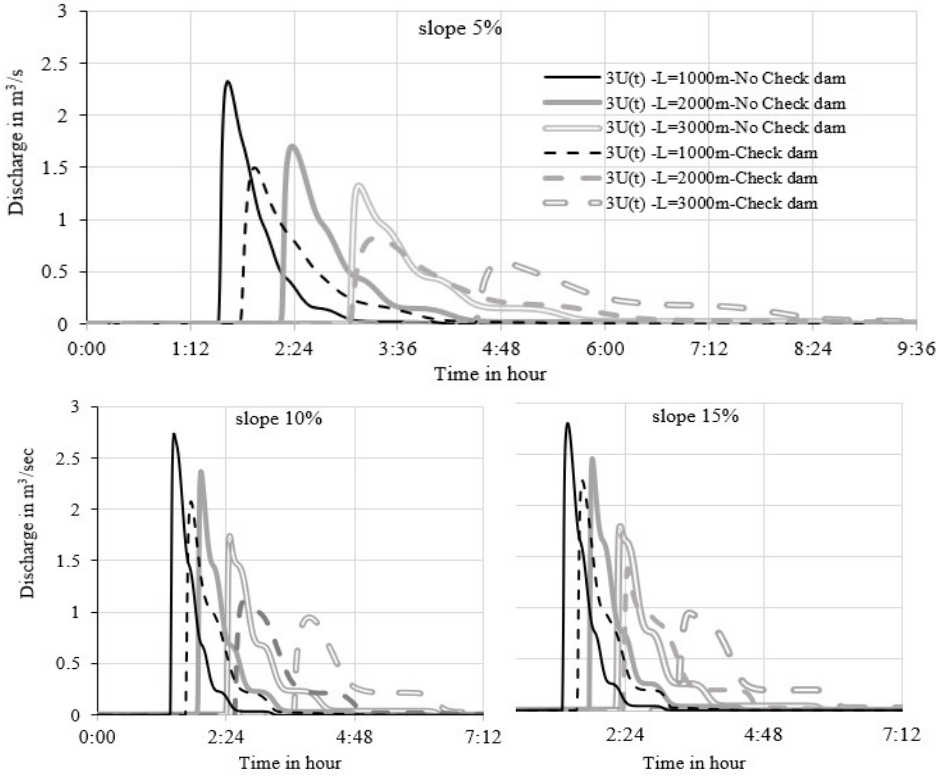
[2] Percentage changes of flow

تبدیل می‌تواند از جنس یک مخزن خطی باشد که کاهش دبی اوج و ایجاد یک زمان تاخیر را در هیدروگراف موجب می‌شود. به این صورت، می‌توان اثربخشی بندهای اصلاحی در کاهش دبی اوج هیدورگراف خروجی از مسیل را بر اساس شرایط مختلف به‌صورت ریاضی بیان کرد.

نتایج و بحث

ارزیابی تاثیر بندهای اصلاحی بر روی عوامل هیدرولوژیکی حوضه از قبیل دبی اوج سیلاب و زمان رسیدن به دبی اوج با استفاده از شبیه‌سازی متوالی این سازه‌های کوچک مقیاس، در یک کانال مثلثی در مدل MIKE 11 انجام شد. نتایج در غالب هیدروگراف خروجی در انتهای کانال به ازای سه طول مختلف ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ متر، سه شیب طولی پنج، ۱۰ و ۱۵ درصد و پنج هیدروگراف ورودی و در دو حالت کانال بدون بند اصلاحی و کانال با بند اصلاحی پر از رسوب، از مدل استخراج شد. لازم به توضیح است، در نمودارها پارامتر شیب طولی (longitudinal slope) به اختصار با شیب (slope) نمایش داده شده است. بحث و ارزیابی نتایج بر روی دبی اوج هیدروگراف خروجی به عنوان متغیر وابسته و شرایط کانال (رابطه ۱)، به عنوان متغیر مستقل انجام شد که در ادامه تشریح شده است.

فاز اول- ارزیابی نتایج مدل: نمونه‌ای از نتایج مدل، برای هیدروگراف خروجی از کانال به ازای هیدروگراف ورودی سه برابر واحد در شکل ۲، آمده است که کاهش دبی اوج، افزایش زمان پایه هیدروگراف خروجی و زمان تاخیر ناشی از روندیابی در طول‌ها و شیب‌های مختلف کانال قابل مشاهده است. وجود بندهای اصلاحی تغییر پارامترهای فوق را دو چندان کرده است.

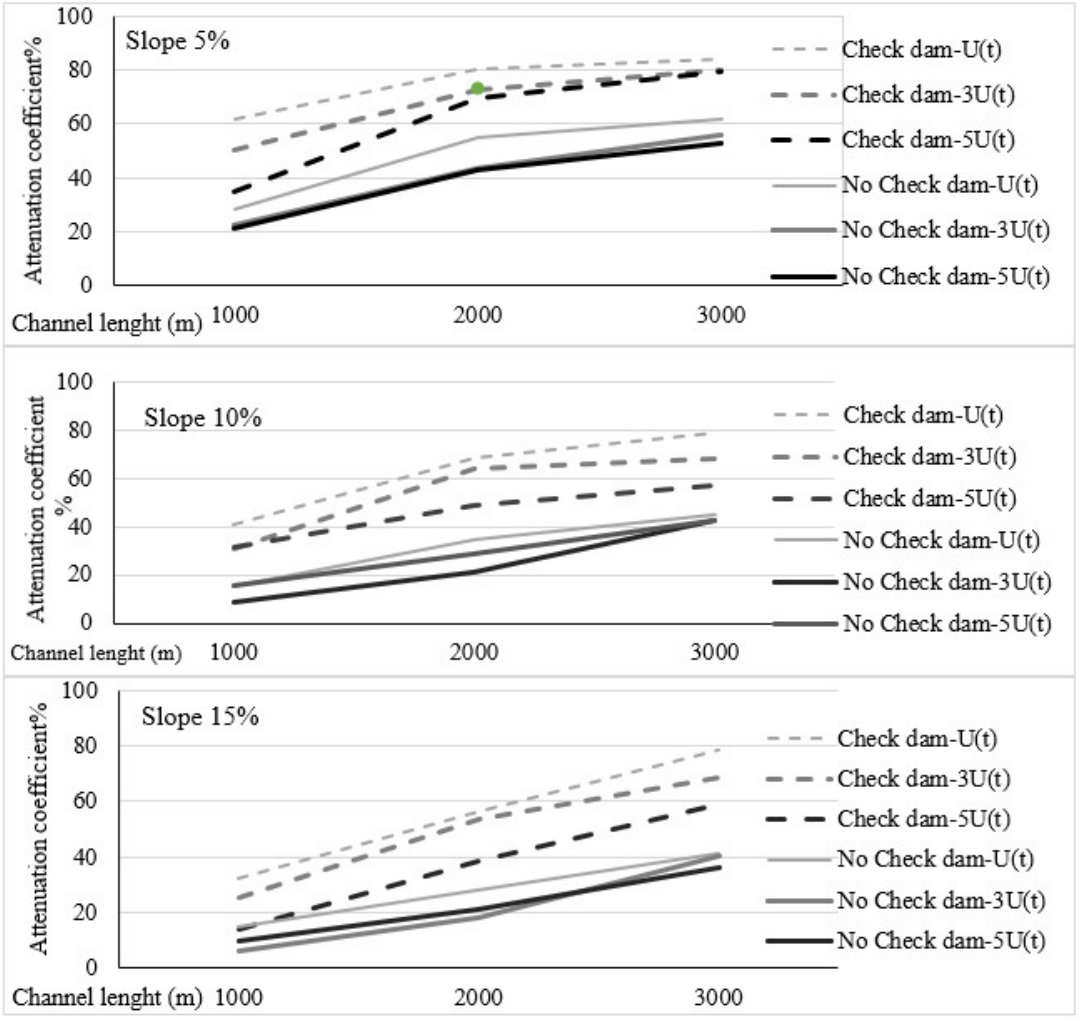


شکل ۲- هیدروگراف خروجی کانال به ازای طول‌ها و شیب‌های مختلف در دو حالت با بند و بدون بند به ازای هیدروگراف ورودی سه برابر واحد

Fig. 2. Outflow hydrograph of channel with various lengths and longthitugte slopes in condition of with and without check dams for 3 times input unit hydrograph

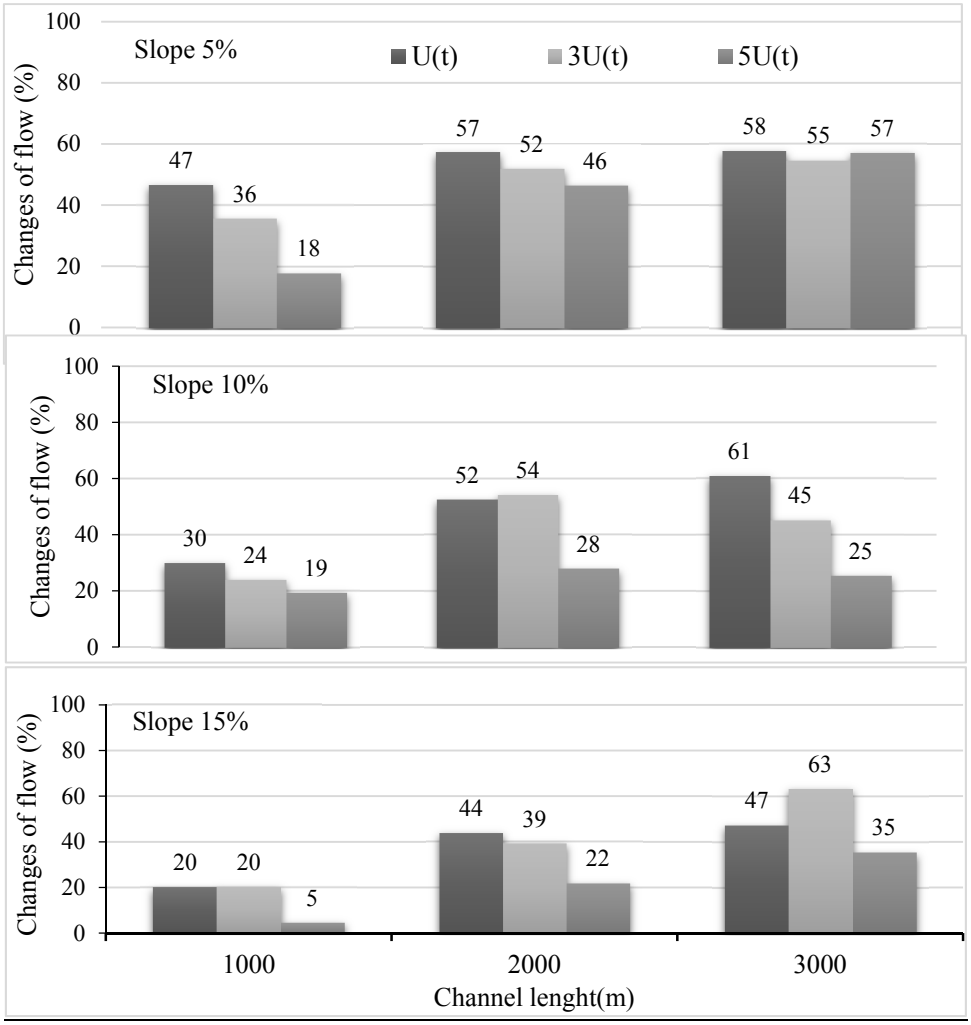
شرایط مرزی مدل، شرایطی شامل شروع هیدروگراف ۴۲ دقیقه، زمان رسیدن به دبی اوج یک ساعت، زمان پایه یک ساعت و دبی اوج سه متر مکعب بر ثانیه، است. روندیابی چنین هیدروگرافی، در یک کانال مثلثی به طول ۲۰۰۰ متر با شیب پنج درصد، مطابق با شکل ۲، دبی اوج را تا ۱/۷ متر مکعب بر ثانیه کاهش می‌دهد و زمان رسیدن به آن را به دو ساعت و ۲۰ دقیقه می رساند. در همین کانال، با شیب ۱۰ درصد، دبی اوج ۲/۳۵ متر مکعب بر ثانیه و زمان رسیدن به دبی اوج یک ساعت و ۵۷ دقیقه، تخمین زده شد. در شیب ۱۵ درصد در همین طول، دبی اوج از سه به ۲/۴ متر مکعب بر ثانیه کاهش یافت که در زمان یک ساعت و ۵۰ دقیقه به آن می‌رسد.

نتایج درصد تغییرات دبی اوج هیدروگراف خروجی $\left(Q_{max\text{-}out}\right)$ نسبت به هیدروگراف ورودی به کانال $\left(Q_{max\text{-}in}\right)$ با شرایط مختلف هیدروگراف ورودی واحد و سه برابر و پنج هیدروگراف واحد $\left((U(t)).\ 3U(t).5U(t)\right)$ مطابق با رابطه (۲)، محاسبه شد (شکل ۳). میزان تغییرات دبی اوج جریان در حالت کانال با بند اصلاحی (سناریوی دوم) نسبت به حالت بودن بند (سناریوی اول) بر اساس رابطه (۳)، محاسبه شد که نتایج آن در شکل ۴، ارائه شده است.



شکل ۳- درصد نرخ روندیابی (تغییرات دبی ورودی و خروجی از کانال) در رابطه با طول کامال (متر)، برای شیب‌های پنج تا ۱۵ درصد در دو حالت با و بدون بند اصلاحی و سه دبی ورودی

Fig. 3. Attenuation coefficient (percentage of changes in peak inlet and outlet flow) in relation to the channel length (m) in the slope range (5, 10 and 15%) within two conditions with and without a check dam during the implementation of three UH



شکل ۴- درصد تغییرات جریان (اختلاف دبی بدون بند و دبی با بند اصلاحی) برای شیب های پنج تا ۱۵ درصد و سه دبی ورودی

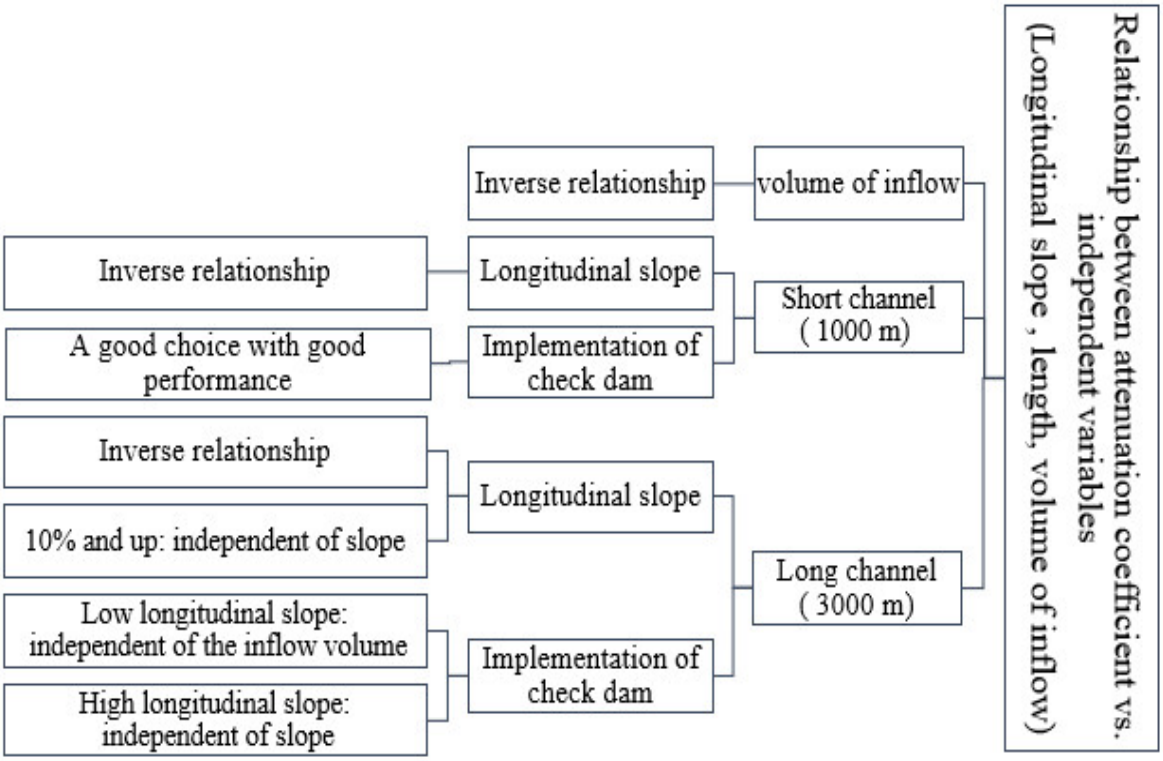
Fig. 4. The percentage changes of flow (changes of peak discharge within two conditions with and without check dams) in the slope range (5, 10 and 15%) and the implementation of three UH

بر اساس شکل‌های ۳ و ۴، هر چه شیب طولی آبراهه افزایش پیدا می‌کند، میزان ذخیره در کانال کمتر شده و دبی خروجی و در نتیجه، ضریب تسکین (کاهش دبی اوج خروجی نسبت به ورودی) کاهش می‌یابد. ضریب تسکین، با شیب طولی رابطه معکوس و با طول کانال، رابطه مستقیم دارد. در طول ۲۰۰۰ متری، کانال همانند یک نقطه عطف عمل کرده که ضریب تسکین برای طول‌های قبل از آن با طول‌های بعد از ۲۰۰۰ متر، تغییر روند می‌دهد. البته پارامتر طول کانال تا میزانی بر عامل شیب طولی می‌تواند فائق شود و شیب طولی در کانال های پر شیب (از شیب ۱۰ درصد به بالا) بر درصد تغییرات دبی اوج، تاثیری نخواهد داشت.

هر چه حجم جریان ورودی بیشتر باشد، ضریب تسکین کمتر خواهد بود. در یک آبراهه کوتاه (طول ۱۰۰۰ متر) هم با افزایش شیب، حجم کمتری از آب ذخیره و ضریب تسکین کمتر می‌شود. بنابراین، در طول کم آبراهه ضریب تسکین با شیب طولی، رابطه معکوس دارد. در صورت اجرای بندهای اصلاحی، تغییرات دبی خروجی به عنوان متغیر وابسته نسبت به متغیرهای مستقل، طول مسیل، شیب طولی مسیل و حجم جریان عبوری را می‌توان بیان کرد که هر چه طول کانال بیشتر می‌شود، به علت بیشتر شدن تعداد بندهای اصلاحی، میزان ذخیره در کانال بیشتر شده، کاهش شیب رخ داده و تغییرات دبی خروجی نسبت به دبی ورودی بیشتر

خواهد بود. در نتیجه، ضریب تسکین افزایش می‌یابد. در شیب کم پنج درصد، طول زیاد آبراهه همراه با بند اصلاحی، عاملی برای افزایش ضریب تسکین است که مستقل از متغیر مستقل هیدروگراف ورودی عمل خواهد کرد.

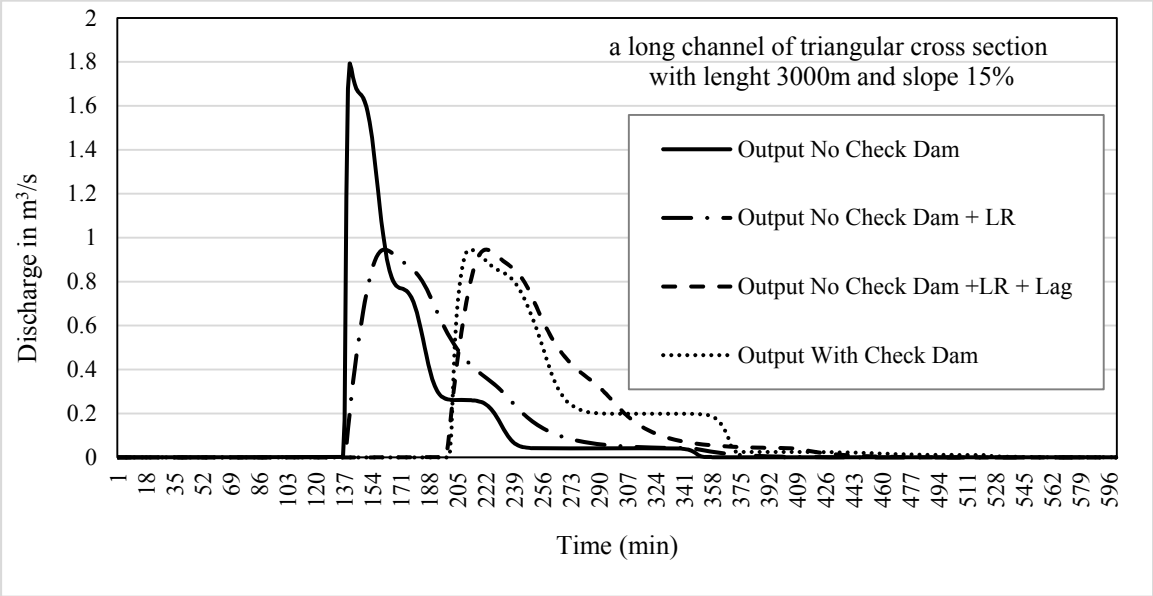
در یک آبراهه کوتاه (طول ۱۰۰۰ متر) با شیب کم (۵ درصد)، عملکرد خوب بندهای اصلاحی در کاهش درصد دبی اوج بسیار مشهود بوده و برای طول ۳۰۰۰ متر در شیب پنج درصد هم تقریبا کاهش ۸۰ درصدی دبی اوج شبیه‌سازی شده است. در دیگر شیب‌های مورد بررسی برای طول ۳۰۰۰ متر، شیب عامل کم اهمیتی در درصد تغییرات دبی خواهد شد و میزان دبی عبوری در میزان کاهش درصد تغییرات تاثیرگذار است. بر اساس شکل ۳، تقریبا شیب ۱۰ و ۱۵ درصد در طول ۳۰۰۰ متر برای دبی اوج یک، سه و پنج متر مکعب بر ثانیه تا حدود ۸۰، ۷۰ و ۶۰ درصد کاهش دبی اوج را نشان می دهد. هیدروگراف با دبی اوج پنج متر مکعب بر ثانیه با روندیابی در یک مسیل ۳۰۰۰ متر با شیب پنج درصد، به همان میزان کاهش دبی خواهد داشت که در یک مسیل ۳۰۰۰ متری با شیب ۱۰ تا ۱۵ درصد، اما با وجود بندهای اصلاحی، عبور داده شود. کاهش حدود ۶۰ درصد دبی در هر دو گزینه مشاهده شده است. در انتهای این بخش، جمع‌بندی نتایج حاصل از شبیه‌سازی روندیابی هیدروگراف‌های مختلف در مسیل با مشخصات مختلف و در شرایط وجود و عدم وجود بندهای اصلاحی در مدل MIKE 11، در غالب نمودار شکل ۵، ارائه شده است.



شکل ۵- رابطه بین متغیر وابسته با متغیرهای مستقل (شیب طولی، طول کانال و حجم جریان ورودی) در این پژوهش

Fig. 5. Relationship between attenuation coefficient vs. independent varables (Longitudinal slope, length, volume of inflow) in this reserch

شبیه‌سازی هیدرولوژیکی اثربخشی بندهای اصلاحی متوالی: در این بخش، هدف آن است که بتوان اثربخشی بندهای اصلاحی در کاهش دبی اوج هیدورگراف خروجی از مسیل را بر اساس شرایط مختلف به‌صورت ریاضی ارائه کرد. پس از انجام اجراهای متعدد و بررسی انواع روش‌های مختلف، مشاهده شد که می‌توان اثرات بند اصلاحی بر روی یک آبراهه را به‌صورت اثر یک مخزن خطی به همراه یک تاخیر زمانی در انتهای کانال مدل کرد (شکل ۶).



شکل ۶- مدلسازی هیدروگراف خروجی از کانال به طول ۳۰۰۰ متر و شیب ۱۵ درصد دارای بند اصلاحی با استفاده از مخزن خطی و تاخیر زمانی

Fig. 6. Modeling the outlet hydrograph from a triangular channel with length 3000 m and slope 15% in the conditions of being series check dams using linear reservoir and lag time

رابطه مخزن خطی (رابطه ۶) تابعی از ضریب ذخیره K (رابطه ۷) است.

$$Q_i = C \times I_i + (1-C) \times Q_{i-1} \quad (۶)$$

$$C = \frac{\Delta t}{K + 0.5\,\Delta t} \quad (۷)$$

در این پژوهش، مقادیر ضریب ذخیره برای بیان اثربخشی احداث بندهای اصلاحی در کاهش دبی اوج هیدروگراف و مولفه تاخیر زمانی نیز برای ایجاد تاخیر زمانی در وقوع دبی اوج، برآورد شد. به بیان ریاضی، هیدروگراف خروجی از مسیل با بند اصلاحی بر اساس هیدروگراف خروجی از مسیل بدون بند اصلاحی، با کمک رابطه‌های (۸) و (۹) محاسبه شد.

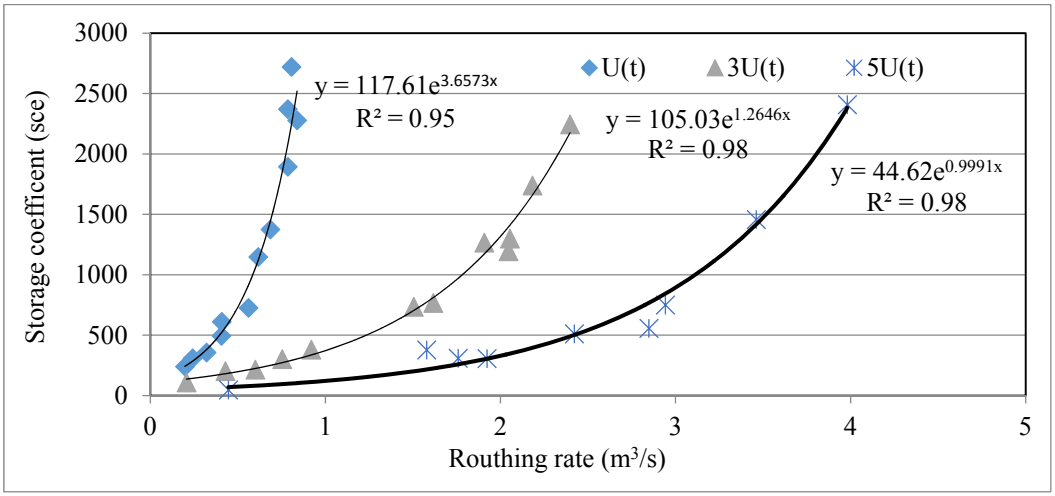
$$Q_{out\text{-}no\text{-}Chk+LR} = f_{LR}\left(Q_{out\text{-}no\text{-}Chk} \cdot K\right) \quad (۸)$$

$$Q_{out\text{-}Chk\text{-}model} = f_{Lag}\left(Q_{out\text{-}no\text{-}Chk+LR}\right) \quad (۹)$$

که در آن‌ها، $Q_{out\text{-}no\text{-}Chk}$ هیدروگراف خروجی بدون بند اصلاحی (معلوم-منحنی خط پیوسته در شکل ۶)، $Q_{out\text{-}no\text{-}Chk+LR}$ هیدروگراف خروجی بدون بند اصلاحی پس از اعمال مخزن خطی (منحنی خط تیره-نقطه در شکل ۶)، $Q_{out\text{-}Chk\text{-}model}$ هیدروگراف شبیه‌سازی شده کانال با بند اصلاحی (منحنی نقطه چین ریز در شکل ۶)، f_{LR} تابع اعمال مخزن خطی، f_{Lag} تابع اعمال تاخیر زمانی، K ضریب ذخیره و T_L زمان تاخیر هیدروگراف $Q_{out\text{-}Chk\text{-}model}$ نسبت به $Q_{out\text{-}no\text{-}Chk+LR}$ است.

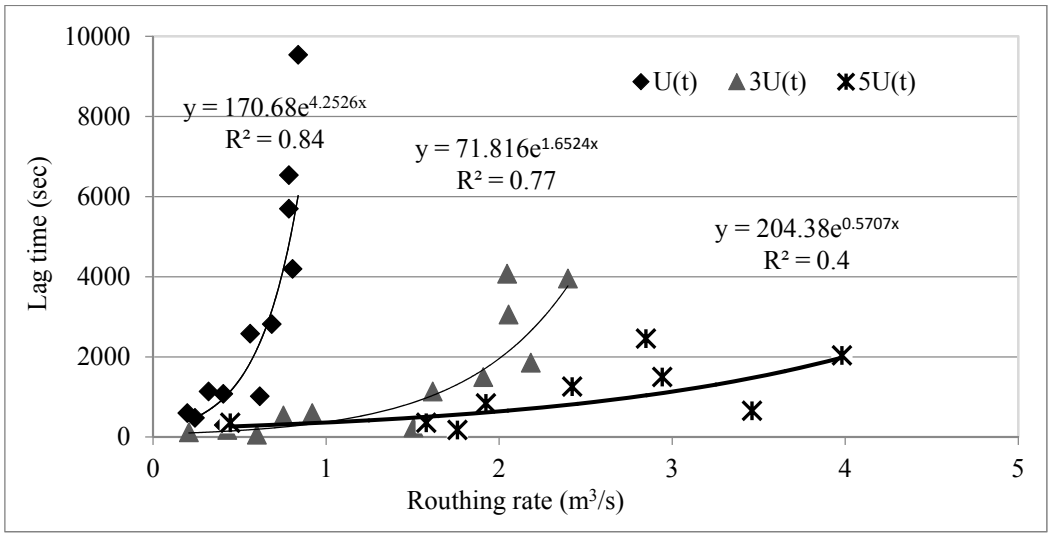
رابطه همبستگی بین این دو متغیر وابسته و پارامترهای هیدرولوژیکی (ضریب ذخیره مخزن خطی و زمان تاخیر) به ازای اجراهای متعدد از مدل عددی در شکل‌های ۷ و ۸، آورده شده است. همبستگی تغییرات دبی با پارامتر ضریب ذخیره، بیشتر از پارامتر تاخیر زمانی است. ضریب ذخیره با ضریب تسکین به‌صورت میانگین ۹۵ درصد، وابسته است و تاخیر زمانی با ضریب تسکین تقریبا ۶۵ درصد، وابسته است. در حجم جریان

زیاد (پنج برابر واحد) ضریب همبستگی کمتر خواهد شد و بیشترین ضریب همبستگی برای حجم جریان متوسط (سه برابر واحد) بوده است.



شکل ۷- رابطه مقادیر ضریب ذخیره بر حسب اختلاف دبی اوج هیدروگراف خروجی از کانال با و بدون بند اصلاحی (شدت روندیابی)

Fig. 7. The relationship between the storage coefficient and the difference in the peak discharge oulet hydrograph of the channel with and without check dam (Rate routhing)



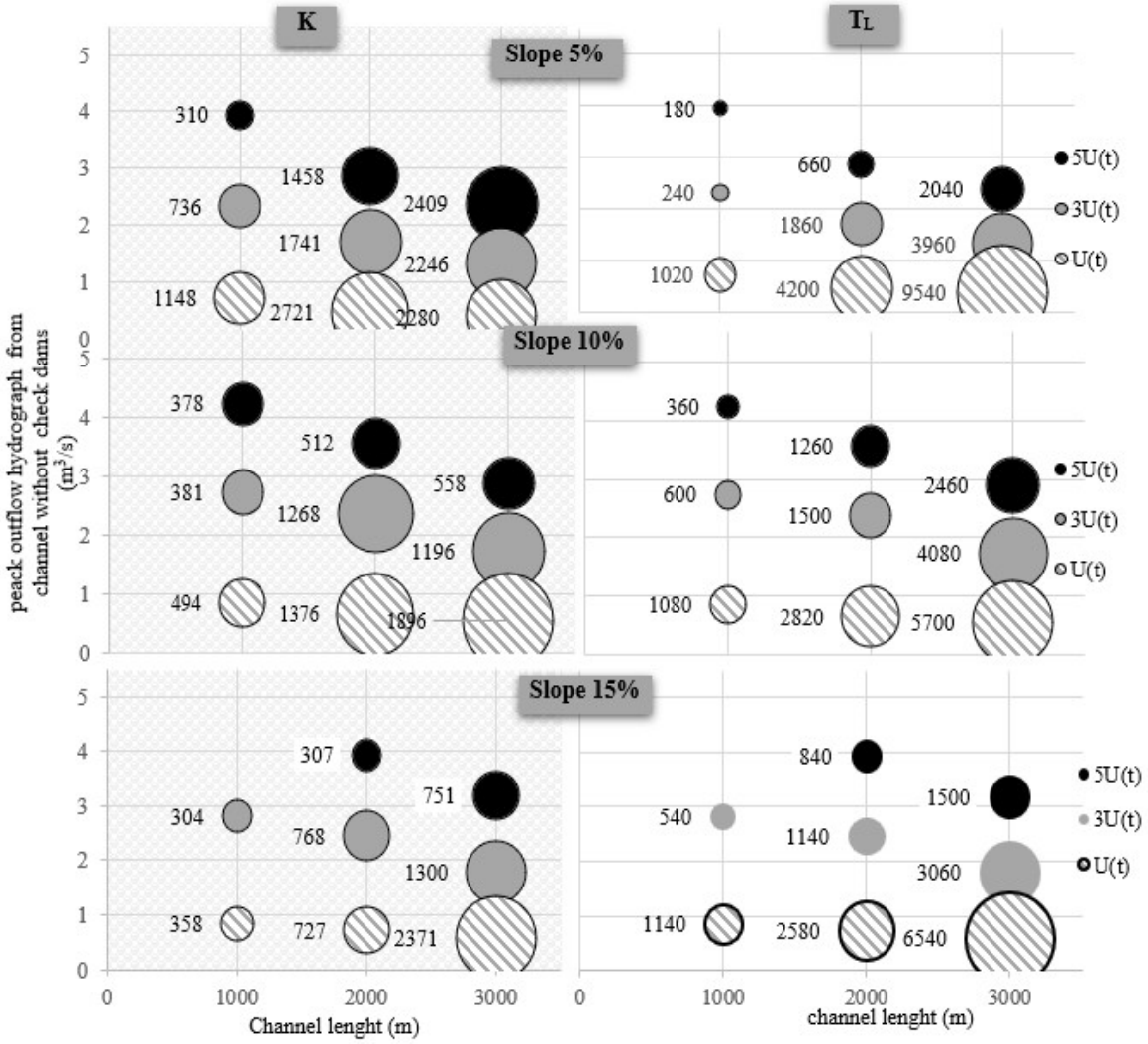
شکل ۸- رابطه مقادیر تاخیر زمانی بر حسب اختلاف دبی اوج هیدروگراف خروجی از کانال با و بدون بند اصلاحی (شدت روندیابی)

Fig. 8. The relationship between the lag time and the difference in the peak discharge oulet hydrograph of the channel with and without check dam (Rate routhing)

از آن‌جا که در پایگاه داده تهیه شده از اجراهای مدل، زوج هیدروگراف‌های $Q_{out-no-chk}$ و $Q_{out-chk}$ (هیدروگراف خروجی از کانال بدون بند اصلاحی و دارای بند اصلاحی) مشخص هستند، برای هر زوج هیدورگراف، مقادیر K و T_L تخمین زده شد. اساس این تخمین آن بود که مقدار K به گونه‌ای انتخاب شود که هیدروگراف بدون بند اصلاحی حاصل از سناریوی اول (S[1]) با عبور از یک مخزن خطی فرضی ($Q_{out-no-chk+LR}$)، به مقادیر دبی هیدروگراف مسیل با بند اصلاحی در سناریوی دوم (S[2]) کاهش خواهد یافت، اما از نظر زمانی نیاز به تصحیح دارد. بنابراین، مقدار T_L به گونه‌ای انتخاب می شود که پایه زمانی هیدروگراف خروجی از مخزن خطی

فرضی با پایه زمانی هیدروگراف با بند اصلاحی $Q_{out\text{-}chk}$ تطابق یابد.

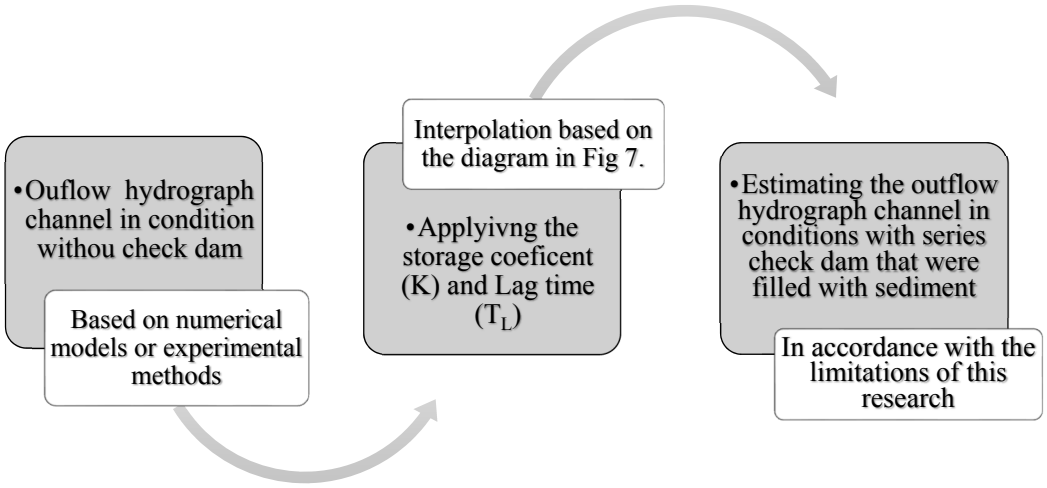
شکل ۷، مقادیر ضریب ذخیره و زمان تاخیر برای ارائه اثر بخشی بندهای اصلاحی متوالی در کاهش دبی و افزایش زمان پایه هیدروگراف عبوری از کانال مثلثی به ازای سه شیب و سه طول را نشان می‌دهد. هر چه طول کانال بیشتر، شیب کانال کمتر و دبی ورودی به کانال کمتر باشد، پارامترهای روندیابی مخزن خطی بزرگ‌تر شده و لذا، ضریب تسکین بزرگ‌تر می‌شود.



شکل ۷- مقادیر ضریب ذخیره و زمان تاخیر به عنوان ضرایب اصلاحی هیدروگراف خروجی به ازای اجرای بند اصلاحی در کانال با طول، شیب و دبی متغیر (بزرگی دایره‌ها نشان دهنده بزرگی ضریب ذخیره و زمان تاخیر است.)

Fig. 7. The value of storage coefficient and lag time as correction coefficients of outflow hydrograph in condition of with series check dam in channel with variable slope, length, and inflow haydrograph (The size of the circles indicates the size of the storage coefficient and the lag time.)

به این ترتیب، می‌توان با داشتن هیدروگراف خروجی از یک آبراهه بدون بند اصلاحی و بر اساس مقادیر ضریب ذخیره و زمان تاخیر که مطابق با مشخصات آبراهه از شکل ۷، درون‌یابی می‌شود، هیدروگراف خروجی از آبراهه در صورت وجود بندهای اصلاحی متوالی پر از رسوب، تخمین زده شود. مراحل فوق به‌صورت خلاصه در شکل ۸، ارائه شده است. البته باید طول، شیب و دبی ورودی در محدوده اعداد مندرج در نمودارهای شکل ۷، باشند.



شکل ۸- مراحل تخمین هیدروگراف خروجی از یک آبراهه با وجود بندهای اصلاحی متوالی و پر از رسوب بر اساس هیدروگراف خروجی از کانال بدون بند اصلاحی

Fig. 8. Estimation stages of outflow hydrograph channel with series check dams that are filled by sediment using the outflow hydrograph channel without check dam

نتیجه‌گیری

بند اصلاحی یکی از روش‌های کاربردی در کنترل رسوبات و پایدارسازی آبراهه‌های حوزه آبخیز است که اجرای آن‌ها بر روی خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه‌ها مانند زمان تمرکز، حجم و دبی سیلاب تاثیر می‌گذارد. در این پژوهش، بررسی اثربخشی بندهای اصلاحی متوالی در یک کانال با مقطع مثلثی با سه طول ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ متر، در سه شیب طولی پنج، ۱۰ و ۱۵ درصد با مدل MIKE 11 مورد بررسی قرار گرفت.

در سناریوی اول (کانال بدون بند اصلاحی)، درصد تغییرات دبی اوج هیدروگراف روندیابی شده نسبت به دبی ورودی تحت تغییرات طول مسیل، شیب و مقادیر مختلف هیدروگراف ورودی، مورد ارزیابی قرار گرفت. هر چه شیب کانال کمتر باشد، چون ذخیره‌ای گوه‌ای در آن بیشتر رخ می‌دهد، دبی اوج هیدروگراف بیشتر کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، تاثیر روندیابی نمایان‌تر خواهد بود. در یک شیب ثابت، طول بیشتر کانال هم می‌تواند تاثیر روندیابی را نشان دهد.

در مقوله کنترل سیل، هدف کاهش دبی اوج سیلاب است. در طبیعت مشخصه طول آبراهه را نمی‌توان تغییر داد، اما مشخصه شیب با اجرای بند اصلاحی قابل تعدیل است. بندهای اصلاحی متوالی با ارتفاع ۲/۵ متر در یک کانال با شیب ۱۵ درصد نیز، شیب را تا پنج درصد تقلیل می‌دهد و هم طول مجازی کانال را افزایش می‌دهد (از ۲۰۰۰ به ۳۰۰۰ متر می‌رساند). لذا، اجرای بند اصلاحی، هم شیب و هم طول کانال را در روندیابی هیدورگراف عبوری تغییر خواهد داد. در پژوهشی مشابه، ۲۴ بند اصلاحی با متوسط ارتفاع ۱/۱ متر (بیشینه پنج و کمینه ۰/۵ متر) در آبراهه‌ای با شیب ۱/۳۱ درصد، بالغ بر ۱۷۰۰ متر به طول مسیر حرکت آب اضافه کرده است. ۲۱ بند اصلاحی با متوسط ارتفاعی ۱/۳ متر (بیشینه و کمینه ارتفاع بند به‌ترتیب سه و ۰/۸۵ متر) در آبراهه‌ای با شیب تقریب یک درصد، ۲۳۰۰ متر به طول مسیر حرکت آب اضافه کرده است (Mozzi et al., 2021).

بر اساس پژوهش Yazdi (2017)، در حوضه کن استان تهران با متوسط شیب بالای ۱۵ درصد، با فرض آبراهه مثلثی شکل و در صورت اجرای بند اصلاحی متوالی به تعداد مختلف، درصد کاهش دبی اوج خروجی حوضه (۹/۸۱ متر مکعب بر ثانیه) گزارش شده است. ۱۰ بند اصلاحی یک درصد، ۲۰ بند اصلاحی شش

درصد،۴۰ بند اصلاحی هشت درصد، ۱۷۰ بند اصلاحی ۲۵ درصد، ۳۸۰ بند اصلاحی ۲۸ درصد، ۶۷۰ بند اصلاحی ۵۲ درصد، دبی اوج خروجی حوضه را کاهش خواهد داد.

۱۱ بند اصلاحی با متوسط ارتفاع دو تا ۳/۵ متر در آبراهه‌ای به طول ۱۸۰ متر و شیب ۱۲ درصد، زمان تاخیر را از ۰۹/۸۴ دقیقه به ۱۱/۶۴ دقیقه افزایش داده (تقریباً ۱۸/۳ درصد) و زمان تمرکز را ۱۶/۴۳ دقیقه با ۱۹/۴۵ دقیقه افزایش (۱۵/۵ درصد افزایش) داده است. همچنین، شیب هشت درصدی آبراهه تا ۲/۳ درصد، تقلیل یافته است (Amini et al., 2014).

در این پژوهش، اثربخشی بندهای اصلاحی بر هیدروگراف سیل بر اساس مولفه‌های هیدرولوژیکی، مخزن خطی و زمان تاخیر، با شبیه‌سازی هیدرودینامیکی این سازه‌های کوچک مقیاس، در مدل MIKE 11 انجام شد. مخزن خطی برای یک هیدروگراف با ضریب ذخیره K اعمال می‌شود. میانگین ضریب ذخیره مخزن خطی برای طول ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ متر و برای سه شیب مورد بررسی به‌ترتیب ۵۰۰، ۱۱۰۰ و ۱۴۰۰ ثانیه تخمین زده شد. میانگین زمان تاخیر نیز برای سه طول مورد نظر به‌ترتیب ۵۴۰، ۱۷۵۰ و ۳۷۰۰ ثانیه محاسبه شد. هیدروگراف خروجی از آبراهه مورد بررسی از انواع مدل‌ها همچون هیدرولیکی، هیدرولوژیکی و تجربی قابل استخراج است. برای بیان اثربخشی احداث بند اصلاحی بر روی این آبراهه، مطابق با مشخصات آبراهه و دبی ورودی ضریب ذخیره و تاخیر زمانی، بر اساس نمودار فوق درون‌یابی می‌شود. سپس، هیدروگراف خروجی از آن آبراهه بدون بند اصلاحی با کمک این ضرایب برای حالت آبراهه با بند اصلاحی، تصحیح خواهد شد.

بر اساس نتایج این پژوهش، می‌توان آبراهه‌های مختلف را برای احداث بندها اصلاحی، مورد ارزیابی قرار داد و گزینه مناسب را برای احداث این نوع از عملیات آبخیزداری ارائه کرد. البته مقادیر زمان تاخیر و ضریب ذخیره مدلسازی بند اصلاحی، تنها برای ترکیب‌های مشخصی از طول، شیب و هیدروگراف ورودی این پژوهش صادق است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این پژوهش از سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور برای حمایت‌های آن‌ها در اجرای این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌کنند.

تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافعی وجود ندارد و این مساله مورد تایید همه نویسندگان است.

منابع مورد استفاده

Abbasi, M., Mohseni, S., Kheirkhah, M., Khalighi Sigaroudi, M.M., Rostamizad, S., Hosseini, M., 2010. Assessment of watershed management activities on time of concentration and curve number using HEC-HMS model, case study: Kan Watershed, Tehran. J. Range Watershed Manag. 63(3), 375-385 (in Persian).

Abbasi, N.A., Xiangzhou, X., Borja, M.E.L., Dang, W., Liu, B., 2019. The use of check dams in watershed management projects: examples from around the world. Sci. Total Environ. 676, 683-691.

Amini, A., Ghazvinei, P.T., Javan, M., Saghafian, B., 2014. Evaluating the impacts of watershed management on runoff storage and peak flow in Gav-Darreh Watershed, Kurdistan, Iran. Arab. J. Geosci. 7(8), 3271-3279.

Campbell, B., Sayer, J.A., Frost, P., Vermeulen, S., Ruiz Perez, M., Cunninggam, A., Prabhu, R., 2001. Assessing the performance of natural resource systems. Conserv. Ecol. 5(2), 22.

Cucchiaro, S., Cavalli, M., Vericat, D., Crema, S., Llena, M., Beinat, A., Marchi, L., Cazorzi, F., 2019. Geomorphic effectiveness of check dams in a debris-flow catchment using multi-temporal topographic surveys. Catena 174, 73-83.

Danish Hydraulic Institute (DHI). 2008. Mike 11 User's guide. Danish Hydraulic Institute, Hørsholm Denmark.

Darabi, M., Malekinejad, H., Talebi, A., Heydari, H., 2020. Evaluation of the performance of watershed management projects on the flood situation of Sivand Dam Watershed, Fars Province. Hydrogeomorphology 6, 83-105 (in Persian).

Dillon, P., Stuyfzand, P., Grischek, T., Lluria, M., Pyne, R.D.G., Jain, R.C., Wang, W., Fernandez, E., Zheng, Y., Rossetto, R., 2018. Sixty years of global progress in managed aquifer recharge. Hydrogeology 27, 1–30.

Feng, Z., Li, Z., Shi, P., Li, P., Wang, T., Duan, J., 2021. Impact of sedimentation by check dam on the hydrodynamics in the channel on the loess plateau of China. Nat. Hazards 107, 953-969.

Ghodrati, A., Qudusi, J., Dadashi, M., 2004. Projects in Sepid-rud dams evaluation of watershed management. Proceedings of National Conference on Watershed Management and Soil and Water Management, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran. Iran (in Persian).

Hassanli, A., Beecham, S., 2013. Criteria for optimizing check dam location and maintenance requirements. Check Dams, Morphological Adjustments and Erosion Control in Torrential Streams, 11-31.

Hosseinzadeh, N.P., 2014. An investigation of the hydrological response of flood control structures based on the hydraulic simulation. MSc Thesis, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University Science and Research Branch, Tehran, Iran (in Persian).

Kaboosi, K., Jelini, J., 2017. The efficiency of detention reservoirs for flood control on the Jafar Abad River in Golestan Province (Iran). Russ. Meteorol. Hydrol. 42, 129-134.

Kim, M.I., Kim, N., 2021. Analysis of debris flow reduction effect of check dam types considering the mountain stream shape: a case study of 2016 debris flow hazard in Ulleung-do Island, South Korea. Adv. Civ. Eng. 8899368.

Mozzi, G., Pavelic, P., Alam, M.F., Stefan, C., Villholth, K.G., 2021. Hydrologic assessment of check dam performances in semi-arid areas: a case study from Gujarat, India. Front. Water 3, 628955.

Safaee, A., Khodshenas, S.R., Davary, K., 2020. Flood control using a combination of delayed dam and coastal dike, case study: Kan River Basin. Ferdowsi Civ. Eng. 32(4), 105-117 (in Persian).

Shiravi, B., Golkarian, A., Aboutalebi, P.N.A., 2016. The effect of construction of check dams on the concentration time and reduction of flood peak discharge, case study: Gash Watershed. Rangel. Water. Manag. (Iran. Nat. Resour.) 68(2), 307-322 (in Persian).

Tang, H., Ran, Q., Gao, J., 2019. Physics-based simulation of hydrologic response and sediment transport in a hilly-gully catchment with a check dam system on the loess plateau, China. Water 11(6), 1161.

Vaezi, A.R., Abbasi. M.M., Keesstra, S., Cerdà, A., 2017. Assessment of soil particle erodibility and sediment trapping using check dams in small semi-arid catchments. Catena 157, 227-240.

Verstraeten, G., Rompaey, A.V., Poesen, J., Dost, K.V., Covers G., 2003. Evaluating the impact of watershed management scenarios on changes in sediment delivery to rivers. Developments in Hydrobiology, 169, Springer, Dordrecht.

Xu, Y., Fu, B., He, C., 2013. Assessing the hydrological effect of the check dams in the loess plateau, China by model simulations. Hydrol. Earth Syst. Sci. 17(6), 2185-2193.

Yazdi, J., 2017. Check dam layout optimization on the stream network for flood mitigation: surrogate modelling with uncertainty handling. Hydrol. Sci. J. 62(10), 1669-1682.

Yuan, S., Li, Z., Li, P., Xu, G., Gao, H., Xiao, L., Wang, T., 2019. Influence of check dams on food and erosion dynamic processes of a small watershed in the loess plateau. Water 11(4), 834.

Zhao, G., Kondolf, G.M., Mu, X., Han, M., He, Z., Rubin, Z., Sun, W., 2017. Sediment yield reduction associated with land use changes and check dams in a catchment of the loess plateau, China. Catena 148, 126-137.