



## Numerical study of the effect of the number of river basins on the regionalization of flood routing coefficients based on dimensionless methods, case study: Sefidrood River

Ramtin Sobhkhiz Foumani<sup>1</sup>, Alireza Mardookhpour<sup>2\*</sup> and MohammadReza Fallah Ghavidel<sup>3</sup>

<sup>1</sup> PhD student of Civil Engineering Department, University of Qom, Qom, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor of Civil Engineering, Islamic Azad University, Lahijan Branch, Lahijan, Iran

<sup>3</sup> MSc of Civil Engineering, Islamic Azad University, Lahijan Branch, Lahijan, Iran

Received: 23 March 2022

Accepted: 07 September 2022

### Extended abstract

#### Introduction

Today, the estimation of the rainfall resulting from rainfall, especially in small basins with no statistics, is one of the main activities among hydrologists, and the estimation of the volume of runoff resulting from rainfall and the application of surface water collection and containment methods, both in terms of water supply and it is very important in terms of flood prevention. In this research, by using the simulation of the conversion of rainfall to floods in a long statistical period of about 20 years between January 23, 2000 and September 23, 2021 in the Astana-Kochsafhan catchment area with HEC-HMS software, one of the main objectives of the selection effect The type of flow conversion hydrographs was checked on the amount of calculation error of the closed boundary flood. The main goal of this research was to investigate the importance of the dimensionless Muskingum coefficients in developing a flood distribution model in a computer simulator.

#### Materials and methods

For do this research, two types of models were used in extracting the flow hydrograph. The first model continued by using the integration of the general set of sub-basins until the stage where only 5 general sub-basins or 4 sub-basins in the upstream of the catchment area leading to the outlet of the range continued. The process of removing the sub-basins was done by combining the area and other physiographic parameters in the geographic information system environment and using the HEC\_GeoHMS extension.

#### Results and discussion

In addition to the principle of trending, by analyzing the results, it was found that each of the surface current conversion methods under known and more widely used titles have limitations, weaknesses and strengths that can be The title of local regressions was also considered for this transformation, the SCS method as the most well-known method, due to its lower limitation in models with local conventional scale in the limits of third-order watersheds, showed that the error of the obtained data It has been less than other cases. This amount of error was predictable in itself. Clark's method, which has a more structured approach, like Schneider's calculation method, calculates the error in its general form, as well as in the maximum values, moment of occurrence, volume, etc. slow In particular, Schneider's method is designed for large domains in its default. In this study, unlike the SCS method, in which the Nash function error number is 0.540 and the RMSE is 0.7, as well as the deviation percentage is 28.01, for the Clark method, the Nash function is 533.0 and RMSE is 0.7 and the deviation percentage is 29.71. This calculation also confirms from the point of view of error measurement that one of the best criteria for observing the difference cannot be RMSE. In the model The detailed analysis of the trending effect, the error of 0.537 in the Nash function is very close to the figure calculated in the similar case (initial aggregated model). However, only this error measurement should not lead to the opinion that the creation of more detailed models cannot improve or destroy the structure of its

\* Corresponding author: alireza.mardookhpour@liau.ac.ir

numerical code. Because although the differences in measurement errors can be ignored in a certain way, the total amount of flow in the aggregated model was equal to 19672395 cubic meters. While the same parameter in the partial model has a difference of 277655 cubic meters.

### **Conclusion**

In general, separation of basic discharge with advanced methods such as WHAT cannot necessarily help to increase the correlation between observational data in a continuous model. On the other hand, calculating the discharges that leave the hydrographic network under the heading of deviation from the hydrographic network in the process of flood flows is the basic condition for reducing the model error, regardless of the type of hydrograph selected in the model.

**Keywords:** Correlation, HEC-HMS software, Hydrographic network, Nash function, SCS method

Cite this article: Sobhkhiz Foumani, R., Mardookhpour, A., Fallah Ghavidel, M., 2023. Numerical study of the effect of the number of river basins on the regionalization of flood routing coefficients based on dimensionless methods, case study: Sefidrood River. *Watershed Engineering and Management* 15 (2), 224–241.

© 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 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



## مطالعه عددی اثر تعداد زیرحوضه‌های رودخانه بر منطف‌سازی ضرایب روندیابی سیلاب بر پایه روش‌های بی بعد، مطالعه موردی: رودخانه سفیدرود

رامتین صبح‌خیز فومنی<sup>۱</sup>، علیرضا مردوخ‌پور<sup>۲\*</sup>، محمدرضا فلاح قویدل<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران

<sup>۲</sup> استادیار گروه عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، لاهیجان، ایران

<sup>۳</sup> کارشناس ارشد گروه عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، لاهیجان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۰۳

### چکیده مبسوط

#### مقدمه

امروزه تخمین دبی حاصل از رگبارها به‌خصوص در حوضه‌های کوچک و فاقد آمار، در میان هیدرولوژیست‌ها از اصلی‌ترین زمینه‌های تحقیقاتی بوده است که برآورد حجم رواناب حاصل از بارندگی و به‌کارگیری روش‌های جمع‌آوری و مهار آب‌های سطحی چه از نظر تامین آب و چه از نظر پیش‌گیری از وقوع سیلاب، از اهمیت زیادی برخوردار است. در این پژوهش، اثر انتخاب نوع هیدروگراف‌های تبدیل جریان بر مقدار خطای محاسباتی در برآورد سیلاب مرز بسته شده، با استفاده از شبیه‌سازی تبدیل بارش به سیلاب در یک دوره بلند آماری حدوداً ۲۰ ساله، بین بازه زمانی ۲۳ ژانویه ۲۰۰۰ تا ۲۳ سپتامبر ۲۰۲۱ میلادی در حوزه آبخیز آستانه-کوچصفهان با نرم‌افزار HEC-HMS، بررسی شد. همچنین، بررسی اهمیت ضرایب بی بعد ماسکینگام در تدوین الگوی توزیع سیل در یک شبیه‌ساز کامپیوتری انجام شد.

### مواد و روش‌ها

برای انجام پژوهش، از دو نوع مدل در استخراج هیدروگراف جریان استفاده شد. مدل اول با استفاده از تلفیق مجموعه کلی زیرحوضه‌ها تا مرحله‌ای که تنها پنج زیرحوضه کلی و یا چهار زیرحوضه در بالادست حوزه آبخیز منتهی به خروجی محدوده ادامه پیدا کرد، انجام شد. روند حذف زیرحوضه‌ها با ترکیب مساحت و دیگر پارامترهای فیزیوگرافی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از الحاقی HEC\_GeoHMS انجام شد.

### نتایج و بحث

تحلیل نتایج و انجام روندیابی، نشان داد که هر یک از روش‌های تبدیل جریانات سطحی تحت عناوین شناخته شده و پر کاربردتر، دارای محدودیت‌ها، ضعف‌ها و قوت‌هایی هستند که می‌توان آن‌ها را به‌عنوان رگرسیون‌های محلی نیز برای این تبدیل قلمداد کرد. روش SCS، به‌عنوان شناخته شده‌ترین روش، با توجه به محدودیت کمتر آن در مدل‌های با مقیاس متعارف محلی در حدود حوزه‌های آبخیز درجه سوم، نشان داد که خطای به‌دست داده شده در آن کمتر از موارد دیگر بوده است. این مقدار خطا به خودی خود قابل پیش‌بینی نیز بوده است. روش Clark که رویکرد سازه‌ای بیشتری نیز دارد، مانند

روش محاسباتی اشنایدر، خطا چه در صورت کلی خود، و چه در مقادیر بیشینه، لحظه وقوع و حجم را با انحراف بیشتری نسبت به رخداد واقعی زمین در ایستگاه هیدرومتری محاسبه می‌کند، به‌خصوص که روش اشنایدر در پیش فرض خود برای حوضه‌های بزرگ طراحی شده است. در این مطالعه، بر خلاف روش SCS که در آن به رقم خطا به‌صورت تابع NASH به مقدار  $0/540$  و RMSE به مقدار  $0/7$  و همچنین، درصد انحراف با مقدار  $28/01$  اشاره شده، برای روش کلارک تابع NASH، RMSE و درصد انحراف به‌ترتیب به مقدار  $0/533$ ،  $0/7$  و  $29/71$  بوده است. همچنین، این محاسبه از نظر خطاسنجی نیز موید آن است که یکی از بهترین ملاک‌های مشاهده اختلاف نمی‌تواند RMSE باشد. در مدل جزئی تحلیل اثر روندیابی نیز، خطای  $0/537$  در تابع NASH بسیار به رقم محاسبه شده در مورد مشابه (مدل تجمیع شده اولیه) نزدیک است. با این حال، انجام این خطاسنجی نباید منجر به این تلقی شود که ایجاد مدل‌های با جزییات بیشتر نمی‌تواند به بهبود و یا تخریب ساختار عددی آن منجر شود. زیرا اگرچه تفاوت‌های خطاسنجی به شکل مشخصی قابل چشم‌پوشی است، اما مقدار مجموع جریان در مدل تجمیع شده برابر با  $19/67$  میلیون متر مکعب حاصل شده است. در حالی که همین پارامتر در مدل جزئی دارای  $277655$  متر مکعب اختلاف است.

### نتیجه‌گیری

در مجموع می‌توان بیان کرد، تفکیک دبی پایه با روش‌های پیشرفته نظیر WHAT لزوماً نمی‌تواند به افزایش همبستگی بین داده‌های مشاهداتی در یک مدل تداومی کمک کند. از طرفی، محاسبه دبی‌هایی که تحت عنوان انحراف از شبکه هیدروگرافی در فرایند جریانات سیلابی خارج می‌شوند، شرط اساسی کاهش خطای مدل‌ها فارغ از نوع هیدروگراف منتخب در مدل است.

**واژه‌های کلیدی:** تابع NASH، روش SCS، شبکه هیدروگرافی، نرم‌افزار HEC-HMS، همبستگی

### مقدمه

از طرفی، تخمین دبی حاصل از رگبارها به‌خصوص در حوضه‌های کوچک و فاقد آمار در میان هیدرولوژیست‌ها از اصلی‌ترین فعالیت‌ها بوده است که برآورد حجم رواناب حاصل از بارندگی و به‌کارگیری روش‌های جمع‌آوری و مهار آب‌های سطحی چه از نظر تامین آب و چه از نظر پیش‌گیری از وقوع سیلاب از اهمیت زیادی برخوردار است (Forouzandeh, 2008).

در پژوهشی، بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر سیل خیزی با استفاده از روش SCS<sup>۱</sup> و مدل HEC-HMS<sup>۲</sup> در حوضه باراندوزچای در آذربایجان غربی انجام شده است (Khaliqi et al., 2008). ابتدا، با تفسیر عکس‌های هوایی قدیم و تصاویر ماهواره‌ای جدید، نقشه کاربری اراضی در هر دو زمان تهیه شده، سپس، با استفاده از مدل حفاظت

رواناب سطحی یکی از مهم‌ترین اجزای چرخه هیدرولوژیکی و در عین حال، به وجود آورنده جریان رودخانه‌ای و یکی از مهمترین منابع آبی است که برای مصارف کشاورزی، صنعتی و آشامیدنی حایز اهمیت است (Behbahani, 2009). از این‌رو، پایه و مبنای بسیاری از پروژه‌های آبی از قبیل پروژه‌های تامین آب مصرفی شهری و صنعتی، طراحی مخازن سدها، کنترل سیلاب‌ها، زهکشی شهرها و جاده‌ها و پروژه‌های تامین آب مورد نیاز کشاورزی، رواناب سطحی است (Namdorost, 2002). سیلاب نیز نتیجه رواناب ناشی از بارندگی‌های شدید یا ذوب ناگهانی برف است که دخالت نایجابی انسان در اکوسیستم موجب به هم زدن تعادل هیدرولوژیک آبخیز و در نتیجه تشدید آن می‌شود (Alizadeh, 2003).

<sup>1</sup> Soil Conservation Service

<sup>2</sup> Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modelling System

شکل کلی هیدروگراف‌های رواناب را تولید کنند. بنابراین، مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی‌ماتیک توصیف شده برای تحقیقات بیشتر و انجام مقایسه‌های آماری بر مبنای مدل‌های رگرسیونی تحت مدل GIUH<sup>۴</sup> پیشنهاد شده است.

(Kathol et al., 2003) برای بررسی قابلیت‌های مدل GIUH در حوضه‌های کوچک واقع در مناطق نیمه خشک، حوضه‌ای با مساحت ۸۴/۳ کیلومتر مربع در تانزانیا در یک منطقه کوهستانی انتخاب کردند. آن‌ها با بررسی ۴۷ واقعه بارندگی-رواناب بین سال‌های ۱۹۹۶-۱۹۹۲ مشاهده کردند که تطابق خوبی بین دبی اوج سیلاب و زمان تا اوج سیلاب‌های بررسی شده وجود دارد. در این پژوهش، با تعیین بارندگی اضافی با مدل SCS به این نتیجه رسیدند که توزیع شدت<sup>۵</sup> و مدت<sup>۶</sup> بارندگی اضافی را باید تابع نمایی در نظر گرفت. Kafle et al., (2007) با به‌کارگیری مدل HEC-HMS، اثر بارش در تولید رواناب حوضه بگماتی را بررسی کردند که پس از واسنجی مدل و شبیه‌سازی آن، نتایج این پژوهش نشان داد که اوج سیلاب شبیه‌سازی شده بسیار نزدیک به مقدار واقعی است.

در پژوهشی دیگر، (Soulis et al., 2009) کارایی مدل CN-SCS در یک حوزه آبخیز واقع در نواحی با آب و هوای نیمه‌خشک مدیترانه‌ای در کشور یونان را بررسی کردند و به تجزیه و تحلیل رواناب پرداختند که برای به دست آوردن اطلاعات مربوط به پوشش زمین و اطلاعات توپوگرافی، از روش حساسیت جزئی و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده کرده‌اند. نتایج آن‌ها نشان داد که رابطه مناسبی بین مقادیر CN حاصل از رواناب و عمق بارش وجود دارد.

(Malekzadeh et al., 2020) روندیابی هیدروگراف سیل را با استفاده از مدل عددی Mike11 و ماشین بردار پشتیبان<sup>۷</sup> در رودخانه سیمره انجام دادند. مقایسه نتایج

منابع طبیعی آمریکا<sup>۱</sup> در محیط نرم‌افزار HEC-HMS شبیه‌سازی بارش-رواناب صورت گرفته است. نتایج آن‌ها نشان داد که سیلاب در دوره جدید در بعضی از زیرحوضه‌ها تا ۷۰ درصد نسبت به دور قدیم افزایش داشته است، اما این افزایش دبی پیک در دوره بازگشت طولانی‌تر، کمتر است (Khaliqui et al., 2008).

همچنین، برآورد میزان رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS در حوزه آبخیز باغ‌ملک استان خوزستان انجام شده (Neshat and Sedghi, 2006) که در این پژوهش، چگونگی نتایج حاصل از برآورد مشخصه تبدیل بارندگی به بارندگی مازاد تحت عنوان شماره منحنی<sup>۲</sup> با دو روش مختلف مورد توجه و مطالعه قرار گرفته است. با استفاده از پدیده بارندگی سیلاب مشاهداتی، نسبت به واسنجی مدل HEC-HMS اقدام و به‌وسیله آن CN محاسبه شده که نتایج محاسبه از روش شماره منحنی، به‌وسیله مدل گفته شده با نتایج شماره منحنی مشاهده شده سازگاری نشان داده است (Neshat and Sedghi, 2006).

در یک پژوهش، به بررسی هیدروگراف‌های واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی‌ماتیک کلارک و ناش و مقایسه آن‌ها با هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک و ناش پرداخته شده است (Najafpour et al., 2010). نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از زمان تاخیر جدید به نتایج مناسب‌تری در شبیه‌سازی هیدروگراف رواناب سطحی مستقیم منجر شده است.

در پژوهشی، (Hall et al., 2001) با تقسیم بارندگی موثر به قسمت‌های اضافی مساوی، برای هر کدام از قسمت‌ها یک هیدروگراف واحد لحظه‌ای<sup>۳</sup> داخلی ایجاد شده که این شیوه شبه‌خطی برای ۱۰۵ واقعه بارندگی-رواناب نه حوضه در جنوب غربی انگلستان که مساحت های آن‌ها بین شش تا ۴۲۰ کیلومتر مربع بوده، انجام شده است. نتایج آن‌ها نشان داد که تدارک زمان‌های داخلی انتخاب شده به قدر کافی کوتاه بوده‌اند که بتوانند

<sup>4</sup> Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph

<sup>5</sup> Intensity

<sup>6</sup> Duration

<sup>7</sup> Support Vector Machine (SVM)

<sup>1</sup> Natural Resources Conservation Service (NRCS)

<sup>2</sup> Curve Number (CN)

<sup>3</sup> Instantaneous Unit Hydrograph (IUH)

رواناب و تولید سیلاب یک حوزه آبخیز در منطقه رودخانه سفیدرود یافت. در این پژوهش، سعی شده است تا در تحلیل و برآورد سیلاب احتمالی در آینده از رابطه‌ها و ضرایب ذکر شده استفاده کرد، با علم به این موضوع که روش‌های بی بعد درخصوص برآورد میزان رواناب یک حوضه، از تحلیل ابعادی و روش هیدروگراف واحد استفاده می‌کند.

### مواد و روش‌ها

**موقعیت کلی منطقه مطالعاتی:** محدوده مطالعاتی آستانه-کوچصفهان با کد ۱۰۱ در پایاب سفیدرود بین سد تا دریا واقع شده که با مساحتی معادل ۲۵۸۲/۷ کیلومتر مربع، رودخانه‌های دیسام، زیلکی، رشته‌رود و توتکابن، پایاب سفیدرود و دشت آستانه-کوچصفهان را در بر می‌گیرد. با توجه به این‌که آمار از وزارت نیرو (تماب) اخذ شده است، لذا، کد حوزه آبخیز آن ۱۳۰۱ است. طبق جدول ۱، میزان بارندگی در ارتفاعات کمتر از نواحی ساحلی است که دلیل آن وجود عامل رطوبتی دریای خزر است.

میزان ریزش‌های جوی با حرکت به سمت نواحی ساحلی، افزایش یافته است و با حرکت به سمت نواحی جنوب محدوده، از میزان بارندگی به تدریج کاسته می‌شود. جریان سطحی ورودی به این محدوده مطالعاتی در دوره بلندمدت ۴۵ ساله، معادل دبی خروجی از محدوده با کد ۱۳۱۱ و برابر ۱۲۶/۶۸۶ متر مکعب بر ثانیه و معادل ۳۹۹۵ میلیون متر مکعب در سال است. جریان سطحی خروجی از این محدوده مطالعاتی به میزان ۱۱۶/۲ متر مکعب بر ثانیه در دوره زمانی مذکور برآورد شده است که به دریای مازندران سرریز می‌شود. بیشترین ارتفاع این محدوده مطالعاتی ۲۲۰۰ و کمترین آن ۲۲- متر است. شکل ۱، موقعیت محدوده مورد مطالعه نسبت به حوزه‌های آبخیز درجه دوم کشور را نشان می‌دهد.

به‌دست آمده از دو مدل نشان داد که به‌طور کلی، دقت روش Mike11 نسبت به روش ماشین بردار پشتیبان، بیشتر است. اگر معیار فقط پیش‌بینی دبی اوج در محدوده دبی‌های تاریخی باشد، مدل SVM تا حدودی نتیجه بهتری نسبت به مدل Mike11 داشته اما برای پیش‌بینی وقایع حدی با دوره بازگشت‌های بیشتر از ده سال، دقت لازم را نداشته است. از شاخص‌های آماری RMSE<sup>1</sup>، NRMSE و NASH نیز برای ارزیابی نتایج و به‌جای استفاده از دبی اوج، از تمام دبی‌های هیدروگراف استفاده شده است.

در پژوهشی، به ارزیابی روش‌های تجربی برآورد جریان در حوضه‌های بدون ایستگاه در حوضه سفیدرود بزرگ پرداخته شد (Nasseri et al., 2021). نتایج این پژوهش نشان داد که روش جاستین برای محدوده‌هایی با شیب ارتفاعی و دمایی شدید و در عین حال، ضریب جریان بالا مناسب بیان شده است. همچنین، روش کوتاین در بیشتر محدوده‌ها، عملکردی متوسط داشته که این روش، به‌عنوان روشی محافظه‌کارانه توصیه شده است.

Ebrahimdoust and Mardookhpour (2022) به مطالعه عددی کارایی روش‌های بی بعد در تعیین وضعیت سیلاب در ایستگاه آستانه-کوچصفهان از رودخانه سفیدرود پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که هر یک از روش‌های تبدیل جریانات سطحی، دارای محدودیت‌ها، ضعف‌ها و قوت‌هایی است که می‌توان آن‌ها را به‌عنوان رگرسیون‌های محلی نیز برای این تبدیل قلمداد کرد. روش SCS، به‌عنوان شناخته شده‌ترین روش، با توجه به محدودیت کمتر آن در مدل‌های با مقیاس متعارف محلی در اندازه حوزه‌های آبخیز درجه سوم، نشان داد که خطای محاسبه شده کمتر از موارد دیگر بوده است.

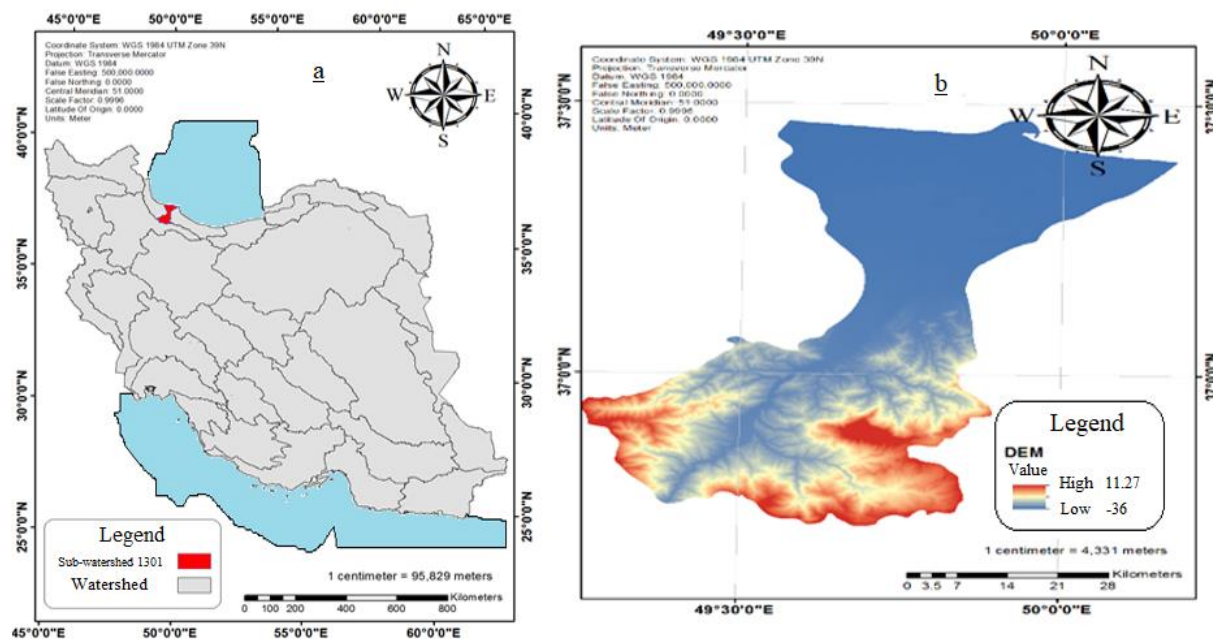
هدف از انجام این پژوهش، بررسی رابطه بین تعداد زیرحوضه‌های یک حوزه آبخیز و ضرایب روندیابی سیلاب با تکیه بر روش‌های بدون بعد است که بتوان یک روند انعطاف‌پذیری بین تعداد زیرحوضه و بحث بارش،

<sup>1</sup> Normalized Root Mean Square Error

جدول ۱- میزان بارندگی ماهانه در ارتفاعات و دشت محدوده مطالعاتی آستانه-کوجصفهان (میلی‌متر).

Table 1. The amount of monthly rainfall in the highlands and plains of the study area of Astane- Kuchesfahan (mm)

Solar month	Mehr	Aban	Azar	Dey	Bahman	Esfand	Farvardin	Ordibehesht	Khordad	Tir	Mordad	Shahrivar	Yearly
Highlands	6.2	70.3	79.5	8.86	133.3	85.7	89.7	80.4	47.9	33.8	29.1	40.8	839.0
Plain	197.2	200.4	174.5	120.8	130	107.3	88.2	62.5	36.8	36.8	48.3	138.9	1355.9



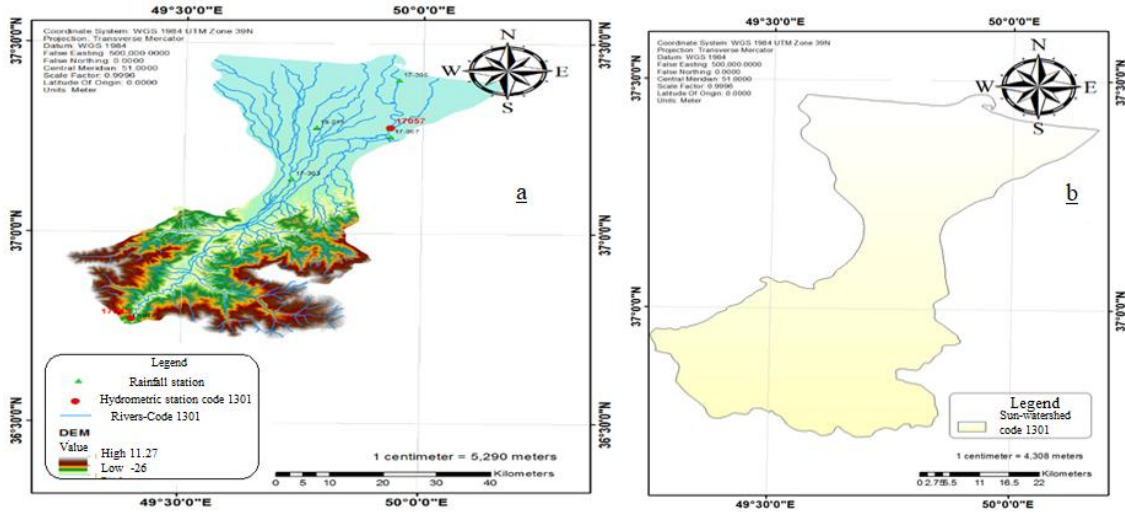
شکل ۱- محدوده مطالعاتی نسبت به حوزه‌های آبخیز درجه دوم کشور (الف) و نقشه مدل رقمی ارتفاع (ب)

Fig 1. The study area of the second-class watersheds in country (a) and the digital elevation model map (b)

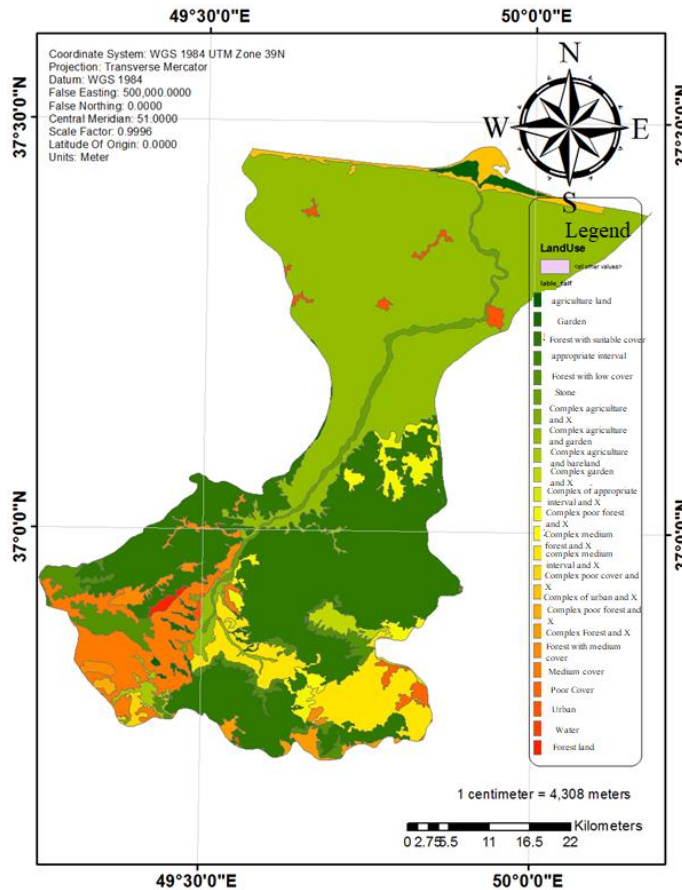
یا شهری کوچک، طراحی شده است. مدل HEC-HMS در واقع سیستم یا مجموعه‌ای از مدل‌های ریاضی تلفات، تبدیل بارش-رواناب در زیرحوضه‌ها و روندیابی جریان در رودخانه و مخازن و نیز سازه‌های آبی است. برای اجرای نتایج در محیط نرم‌افزار HEC-HMS از نسخه ۴.۷ این مدل استفاده شد.

که در ادامه به جزئیات هر یک اشاره شده است، در نهایت به صورت شکل ۲ (ب) حاصل شد که در آن ناحیه واسنجی انجام شده است. همچنین، لایه‌های تنوع خاک و کاربری اراضی نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند که مرجع این لایه‌ها سازمان زمین‌شناسی و منابع طبیعی کشور است.

**مدل HEC-HMS:** سامانه مدل‌سازی هیدرولوژیکی برای شبیه‌سازی فرایندهای بارش-رواناب در سامانه حوزه‌های آبخیز، به صورت درختی طراحی شده است. این مدل برای کاربرد در محدوده وسیعی از نواحی جغرافیایی برای رفع دامنه وسیعی از مسایل، شامل منابع آب و هیدرولوژی حوزه‌های بزرگ و رواناب و سیلاب حوزه‌های آبخیز طبیعی برخی از داده‌های مهم مطالعات مکانی: به منظور تهیه پارمترهای آبدهی حوزه آبخیز، الزام به کارگیری لایه‌های مکانی پایه وجود دارد که شامل زیرحوضه‌های تجمیع شده محدوده مطالعاتی (شکل ۲-الف) و لایه کاربری اراضی محدوده مدل بارش-رواناب (شکل ۳) است. همچنین، لازم به ذکر است که مرز بسته شده به وسیله الحاقی‌های مدل‌ساز



شکل ۲- زیرحوضه‌های تجمع شده محدوده مطالعاتی (الف) و مرز زیرحوضه مطالعاتی (ب)  
 Fig 2. Aggregated sub-watersheds of the study area (a) and the border of the study sub- watershed (b)



شکل ۳- لایه کاربری اراضی محدوده مدل بارش-رواناب  
 Fig 3. Land use layer of the rainfall-runoff model boundary

خاک‌ها بر اساس لایه‌های کاربری اراضی، نوع خاک و مشخصات پوشش گیاهی ایجاد شد که در انتها به هر نوع

تولید لایه شماره منحنی رواناب (CN) حوضه هدف: طبق استاندارد SCS، جدولی برای مقایسه هیدرولوژیکی

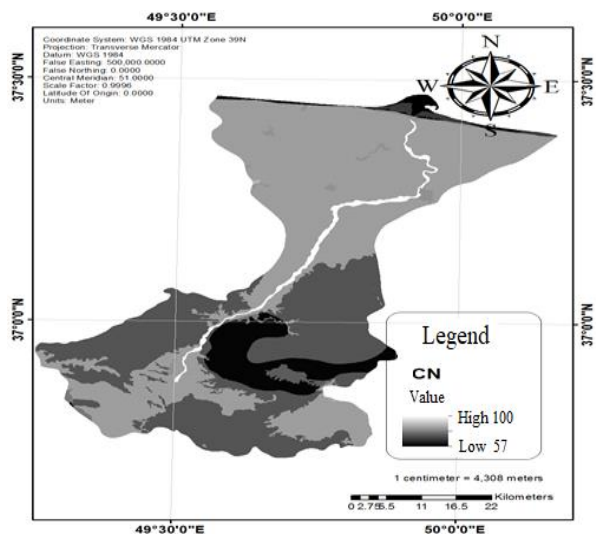


### نتایج و بحث

اجرای مدل سیلاب: اجرای اولیه مدل بدون واسنجی مدل جریان آب سطحی (بارش-رواناب) در شکل ۵ (الف و ب) نشان می‌دهد که دبی‌های محاسباتی، نه در مقدار اوج خود و نه در مقدار زمان پایه با ارقام مشاهداتی تطابق بالایی ندارند. این تطابق در مرحله واسنجی حاصل می‌شود و علت آن شرایط طبیعی مدلسازی و تفکیک روش تخمین داده و ایجاد مدل به صورت هیدروگراف SCS است.

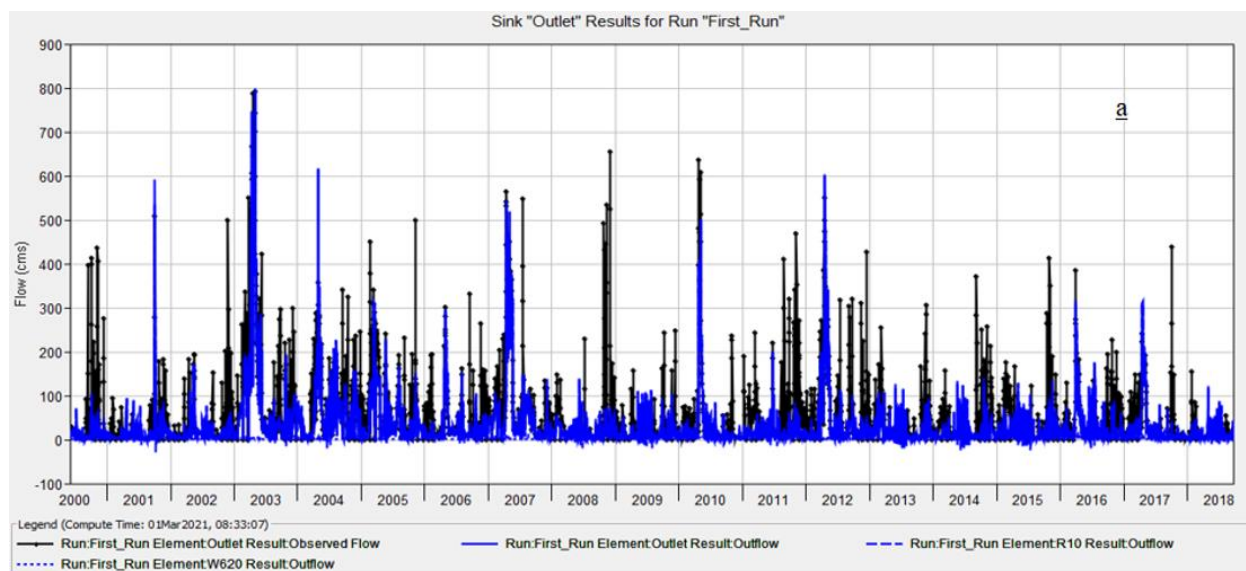
برای مقایسه جریان محاسبه شده در این منطقه بر اساس مدل ریاضی، با آن چه در دوره بلندمدت ۲۰ ساله رخ داده است، آمار دو ایستگاه هیدرومتری، یکی در پایین دست مجموعه سد سفیدرود و دیگری در پایین دست منطقه محاسباتی موجود بود. برای هر دو مورد، سری زمانی داده-های دبی در واحد متر مکعب بر ثانیه در شکل ۶، ارائه شده است. شکل ۶ (الف و ب) دبی مشاهداتی در ایستگاه ۰۴۳-۱۷ و ایستگاه ۰۵۷-۱۷ را نشان می‌دهد. از آمار ایستگاه پایین دست سد، به منظور استقلال حوضه و مرز بسته شده در محدوده، استفاده می‌شود، زیرا در مدلسازی، لزوماً ناحیه مرزبندی به عنوان هدف مطالعاتی در برآورد جریان در نظر گرفته می‌شود.

خاک بر اساس مشخصات آن عددی بین ۳۰ تا ۱۰۰ تحت عنوان شماره منحنی رواناب، تعلق گرفت. شکل ۴، مجموع مقادیر تولید شده در فرایند ایجاد لایه رستری شماره منحنی حوضه هدف را نشان می‌دهد.



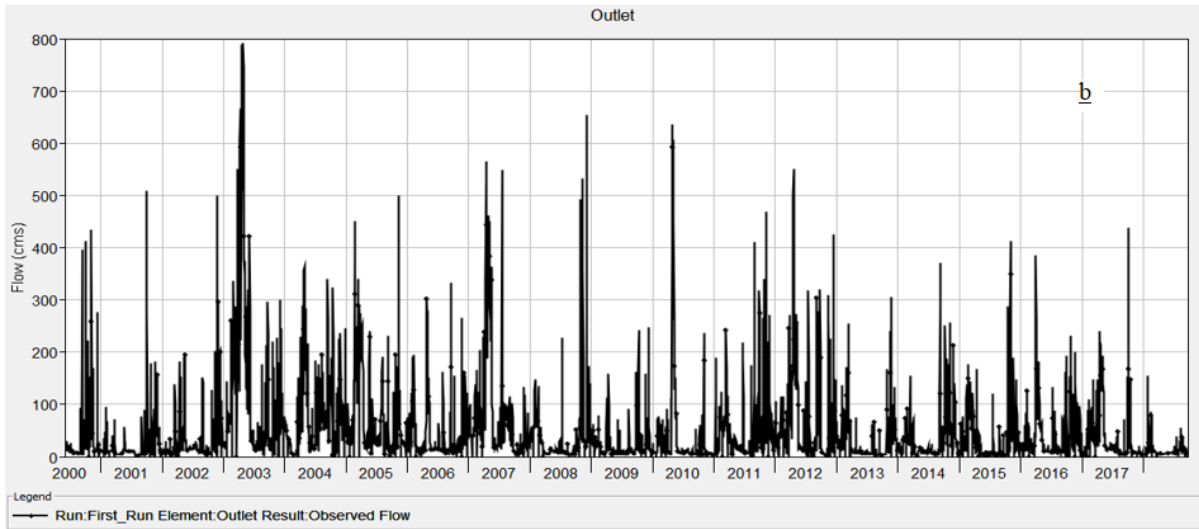
شکل ۴- مجموع مقادیر تولید شده در فرایند ایجاد لایه رستری شماره منحنی حوضه هدف

Fig 4. The sum of the values produced in the process of creating the raster layer of the curve number of the target watershed



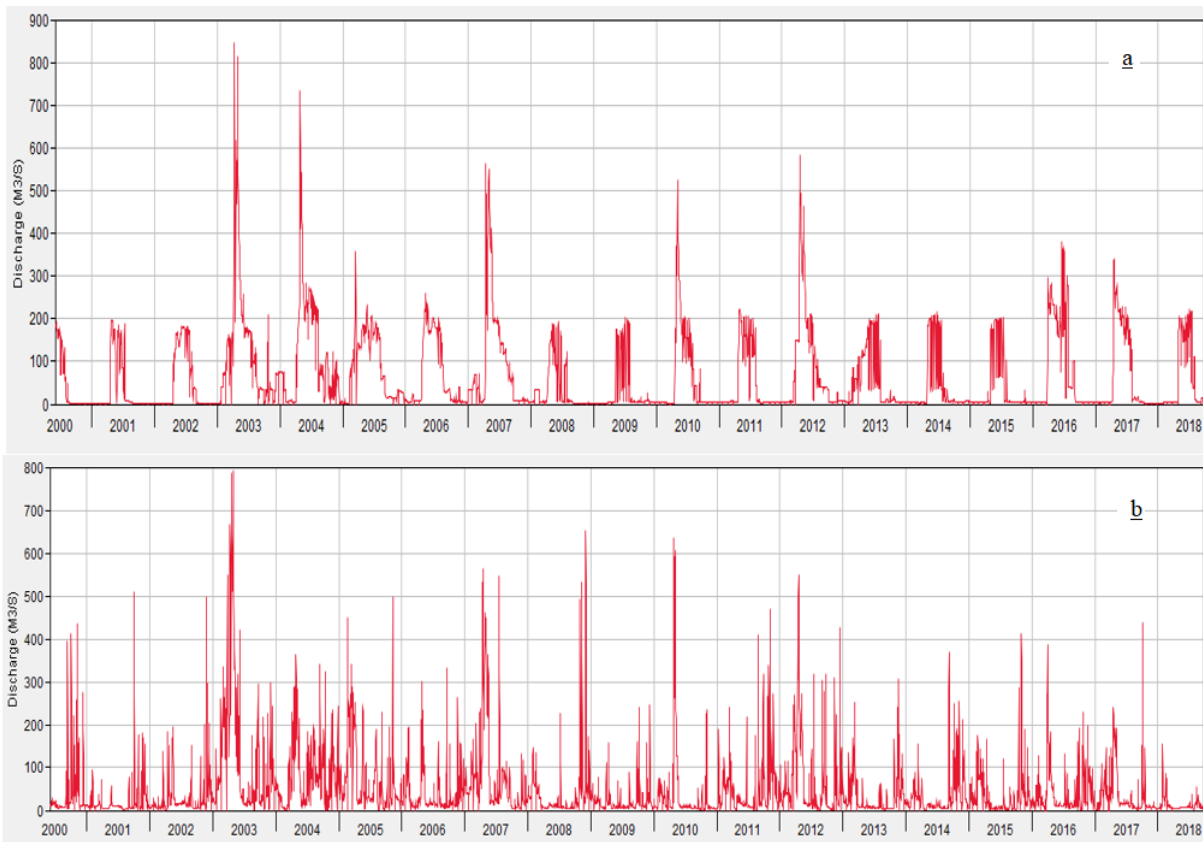
شکل ۵- مقایسه هیدروگراف‌های محاسباتی و مشاهداتی (مرحله اجرای اولیه) (a) و هیدروگراف روزانه مشاهداتی محدوده مطالعاتی (بلندمدت) (b)

Fig 5. Comparison of computational and observational hydrographs (initial implementation stage) (a) and daily observational hydrograph of the study area (long-term) (b)



ادامه شکل ۵- مقایسه هیدروگراف‌های محاسباتی و مشاهداتی (مرحله اجرای اولیه) (الف) و هیدروگراف روزانه مشاهداتی محدوده مطالعاتی (بلندمدت) (ب)

Fig 5. (continued)



شکل ۶- دبی مشاهداتی در ایستگاه ۱۷-۰۴۳ (الف) و دبی مشاهداتی در ایستگاه ۱۷-۰۵۷ (ب)  
 Fig 6. Observed discharge at station 17-043 (a) and observed discharge at station 17-057 (b)

در برآورد سیلاب مرز بسته شده است. هر یک از روش‌های تبدیل جریان‌ات سطحی تحت عناوین شناخته شده و پر

در این پژوهش، یکی از اهداف اساسی اثر انتخاب نوع هیدروگراف‌های تبدیل جریان، بر مقدار خطای محاسباتی

تاخیر در رخداد هر هیدروگراف اوج گرفته در بزرگترین مقدار خود و یا تعجیل در هر مورد، می‌تواند به تغییر در مقدار تلفات جریان، سرعت انتشار سیل و در نتیجه تفاوت حجم سیلاب منجر شود. در نهایت، تفاوت روش‌های روندیابی سیل با تصحیح ضرایب موجود به نتایج مشابهی منجر خواهد شد. با این حال، شکل هیدروگراف انتخابی عملاً بر دبی حاصل شده موثر خواهد بود. به این معنی که در مرحله واسنجی اگرچه خطای جریان تا حد بسیار زیادی کاسته می‌شود، با این حال، این خطا به خودی خود از بین نرفته و بر روی پارامترهای تخمین زده شده توزیع می‌شود.

انتشار خطا بر روی انتشار سیل می‌تواند موثر باشد. در مدلسازی‌های تداومی با توجه به آستانه تنش زمانی یک روزه، نوع صعود و فرود جریان کمتر مورد بررسی است. اما همین امر، عملاً به ایجاد انحرافات محاسباتی منجر می‌شود. بنابراین، بدیهی است که تفاوت ضرایب تخمین زده شده در روش روندیابی ماسکینگام، برای مدل‌های هیدروگرافی متفاوت، متعدد باشد. انتخاب روش تبدیل داده‌های بارش-رواناب در اجرای اولیه با کمترین خطا، به کاهش عدم اطمینان یا بالا بردن قابلیت اطمینان نتایج کمک خواهد کرد.

جدول ۱- مقادیر بیان جریان در نقاط مختلف حوضه

Table 1. Flow balance values in different parts of the watershed

Watershed	Rainfall balance (cm/s)		
	2001	2010	2018
620	250	70	25
360	255	27	25
740	253	23	20
850	190	20	18
960	300	30	26

هر عنصری تا نقطه واسنجی، مجاز به شرکت در این مرحله از واسنجی است. شرط اساسی، استفاده از ضرایب اولیه اجرا شده در مرحله پیش شبیه‌سازی در مدل صفر واسنجی حاضر است. ساختار مدل جریان سطحی در نرم‌افزار HEC-HMS به‌صورتی است که برای تهیه ارقام بهینه، پارامتری که منجر به خروجی تصحیح شده می‌شود، روند سلسله مراتبی داشته و تنها با تکمیل فرایند واسنجی بالادستی، امکان اجرای مرحله بعدی وجود خواهد داشت. شکل ۷، مقایسه هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی محدوده مطالعاتی در دروه واسنجی ۱۴ ساله را نشان می‌دهد.

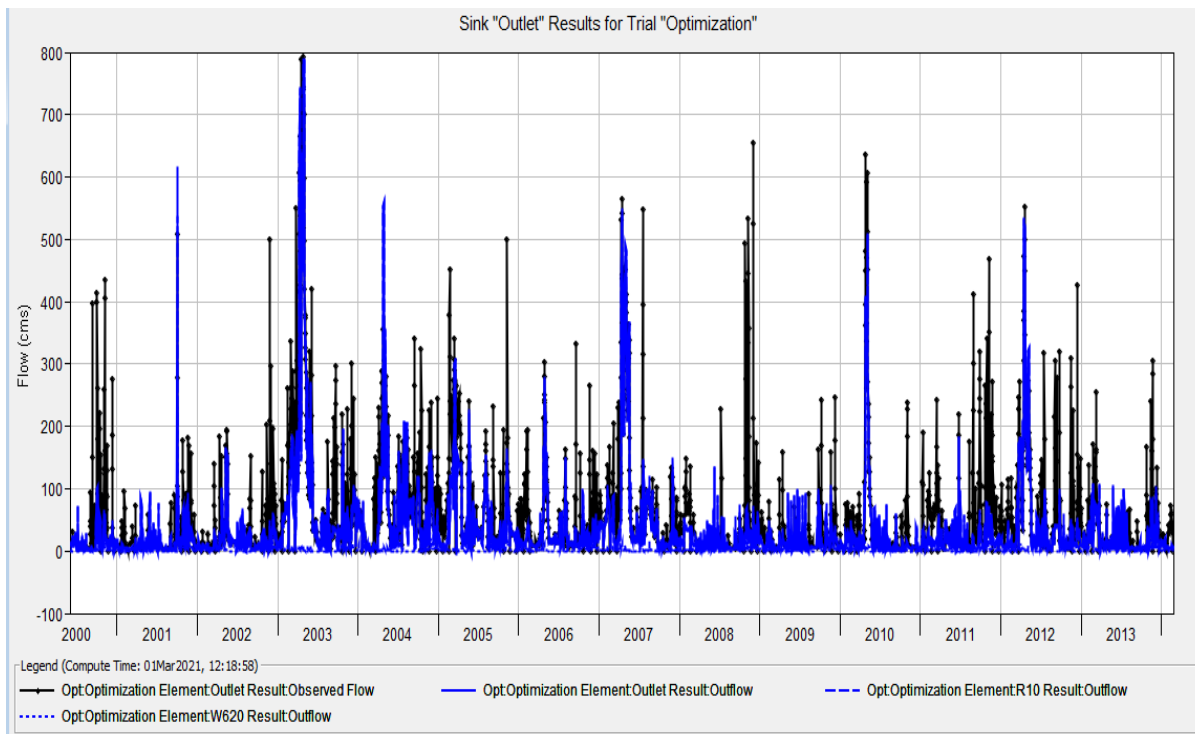
کاربردتر SCS، Clark و Snyder است که دارای محدودیت‌ها، ضعف‌ها و قوت‌هایی هستند که می‌توان آن‌ها را به‌عنوان رگرسیون‌های محلی نیز برای این تبدیل قلمداد کرد. روش SCS، به‌عنوان شناخته شده‌ترین روش، با توجه به محدودیت کمتر آن در مدل‌های با مقیاس متعارف محلی در اندازه حوزه‌های آبخیز درجه سوم، نشان داد که خطای محاسبه شده در آن کمتر از موارد دیگر بوده است. این مقدار خطا به خودی خود قابل پیش‌بینی نیز بوده است.

روش Clark که رویکرد سازه‌ای بیشتری نیز دارد، مانند روش محاسباتی اشنایدر، خطا چه در صورت کلی خود، و چه در مقادیر بیشینه، لحظه وقوع و حجم را با انحراف بیشتری نسبت به رخداد واقعی زمین در ایستگاه هیدرومتری محاسبه می‌کند. به‌خصوص که روش اشنایدر در پیش‌فرض خود برای حوضه‌های بزرگ طراحی شده است. در این مطالعه، مقدار خطا در روش SCS در تابع NASH، RMSE و درصد انحراف به ترتیب به مقدار ۰/۷، ۰/۵۴۰ و ۲۸/۰۱ و برای روش کلارک ۰/۷، ۰/۵۳۳ و ۲۹/۷۱ بوده است. همچنین، در روش اشنایدر نیز تابع NASH به مقدار ۰/۴۷۷ و RMSE به مقدار ۰/۷ و درصد انحراف با مقدار ۳۴/۲۵ محاسبه شده است. این محاسبه از نظر خطاسنجی نیز موید آن است که یکی از بهترین ملاک‌های مشاهده اختلاف نمی‌تواند آماره RMSE باشد.

**بیان جریان:** جدول ۱، مقادیر بیان جریان را در نقاط مختلف حوضه نشان می‌دهد، به‌طوری که نمایش‌دهنده مقادیر جریان، عمق بارش و اعداد نفوذ در هر مورد است.

**اجرای واسنجی مدل:** به‌منظور انجام واسنجی مدل بارش-رواناب منطقه، در هر مورد از داده‌های تخمین سیلاب واقعه به‌وسیله هیدروگراف‌های مشاهداتی، نشانه‌های بالادستی نقطه واسنجی به‌عنوان پارامترهای بهینه‌سازی به مدل معرفی شدند. خروجی بهینه‌سازی با بازه تخمین معقول که به‌وسیله نرم‌افزار تعیین می‌شود، به نزدیکی بالای دبی مشاهداتی و محاسباتی منجر شده است.

در این پژوهش، از بیشینه داده‌های موجود برای اجرای واسنجی بهره‌گیری شده است. واسنجی در این مرحله بر روی نشانه‌های بالادست نقطه منتخب صورت گرفته است.



شکل ۷- مقایسه هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی محدوده مطالعاتی در دوره واسنجی ۱۴ ساله

Fig 7. Comparison of observed and calculated hydrographs of the study area in the 14-year calibration period

مقدار خطای RMSE نیز با بهبود نسبی به عدد ۰/۶ تبدیل شد. درصد انحراف در این مورد برابر ۲۹/۰۹ به دست آمد. در جدول ۲ نیز ضرایب بهینه شده در مرحله واسنجی مدل ارائه شده است.

شکل ۷، می‌تواند نشان دهد که با انتخاب پارامترهای واسنجی، شامل ضرایب KX روش روندیابی ماسکینگام، در تبدیل SCS هیدروگراف، مقدار خطای NASH را تا حدی بهبود داده و این رقم به عدد ۰/۶۲۴ رسیده است. همچنین،

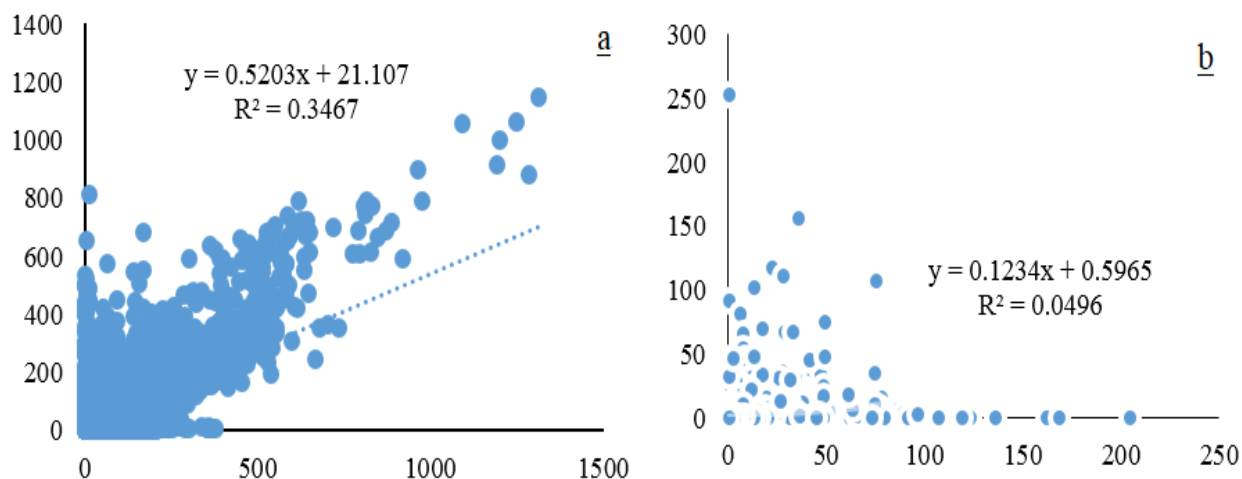
جدول ۲- ضرایب بهینه شده در مرحله واسنجی مدل

Table 2. Optimized coefficients in the model calibration stage

Element	Parameter	Unit	Initial value	Calibration value
Reach-1	Muskingum - K	HR	0.864	1.085
Reach-1	Muskingum - x		0.389	0.498
R290	Muskingum - K	HR	5.446	5.693
R290	Muskingum - x		0.485	0.413
R200	Muskingum - K	HR	0.895	0.775
R200	Muskingum - x		0.440	0.266
R180	Muskingum - K	HR	1.440	1.097
R180	Muskingum - x		0.456	0.127
R150	Muskingum - K	HR	1.456	1.024
R150	Muskingum - x		0.466	0.049
R130	Muskingum - K	HR	4.857	2.324
R130	Muskingum - x		0.488	0.004
R70	Muskingum - K	HR	13.757	5.714
R70	Muskingum - x		0.495	0.035
R10	Muskingum - K	HR	5.761	3.295
R10	Muskingum - x		0.376	0.249

جریان که بخشی از جریان سیلابی را از طریق دشت‌های حاصلخیز شمالی به سمت سواحل منتقل می‌کند، مربوط باشد. تفاوت بارش منحصرا به تغییرات اقلیم در خود محدوده مرتبط است.

شکل ۸ (الف و ب)، همبستگی اندک بین داده‌های هیدرومتری و باران‌سنجی را در محدوده مطالعه بین بالاترین و پایین‌ترین نقطه‌های مکانی را نشان می‌دهد. اگرچه مقدار همبستگی بین داده‌های هیدرومتری اندکی بیشتر بوده است، اما تفاوت فاحش می‌تواند به ناحیه انحراف



شکل ۸- ضریب تشخیص بین داده‌های دو ایستگاه هیدرومتری بالادست و پایین دست محدوده مطالعاتی (الف) و ضریب تشخیص بین داده‌های دو ایستگاه باران‌سنجی بالادست و پایین دست محدوده مطالعاتی (ب)

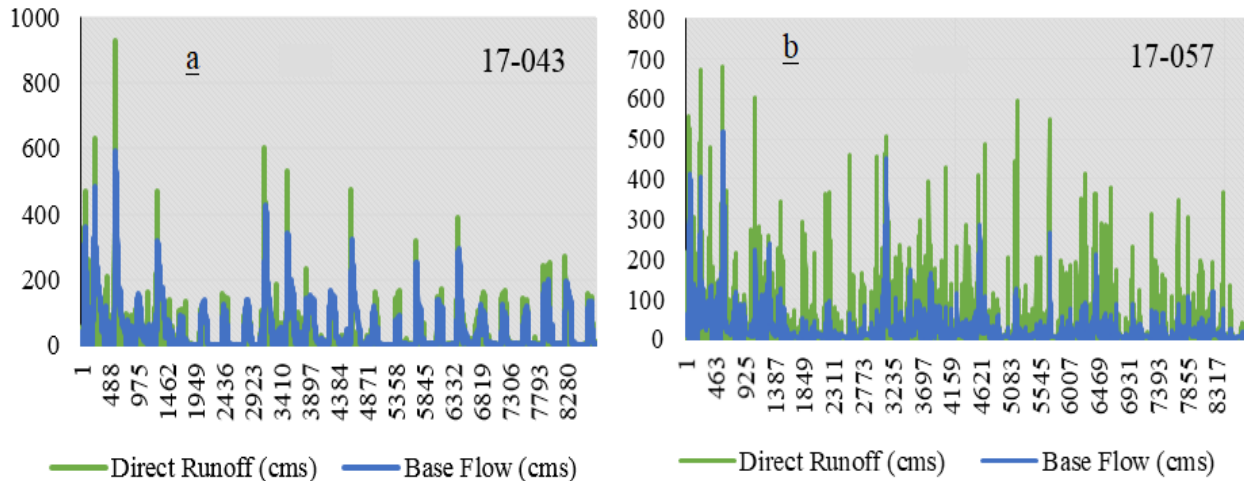
Fig 8. The detection coefficient between the data of two hydrometric stations upstream and downstream of the study area (a) and the detection coefficient between the data of two rain gauge stations upstream and downstream of the study area (b)

داده واقعی از جریان آب در اختیار بوده است، بنابراین، انجام صحت‌سنجی بر اساس اعداد تخمین جریان در یک دوره ۲۵ درصدی از کل بازه زمانی مدل‌سازی (دوره انتهایی از ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۱) میسر بود. در صورت برابری مقدار بارش که از روش مجزایی محاسبه شده است، با مقدار جریان خروجی محاسباتی مدل با ارقام تخمین هیدروگراف در همان دوره تناوب رخداد، می‌توان صحت مدل را دست‌کم در تخمین سیل‌های تداومی تأیید کرد. مقدار خطا در دوره صحت‌یابی شاهد هیچ‌گونه افزایشی نبوده است که کوتاه‌تر بودن دوره صحت‌یابی می‌تواند علت برتری نتایج در این بررسی باشد. شکل ۱۰، هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی در مرحله صحت‌سنجی دوره ۱۱ ساله را نشان می‌دهد.

شکل ۹، استخراج دبی پایه به روش تجزیه و تحلیل هیدروگراف مبتنی بر وب (WHAT)<sup>۱</sup> در ایستگاه هیدرومتری ۱۷-۰۴۳ و ۱۷-۰۵۷ را نشان می‌دهد. در روش WHAT، جداسازی مولفه جریان پایه از یک هیدروگراف جریان متغیر مطرح است که در نسخه سامانه اطلاعات جغرافیایی وب (GIS)، سامانه WHAT با اتصال به سامانه زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS)<sup>۲</sup> داده‌های روزانه روزانه را از سرور وب USGS برداشت کرده و از آن‌ها استفاده می‌کند. در هیچ مورد، همبستگی اندک بین داده‌های هیدرومتری که در بخش قبل به آن اشاره شد، در دو ایستگاه افزایش پیدا نکرد. بنابراین، رویکرد مدل‌سازی تداومی در این پژوهش، مورد استفاده قرار گرفت. **صحت‌سنجی مدل:** با توجه به این که در فرایند مدل‌سازی،

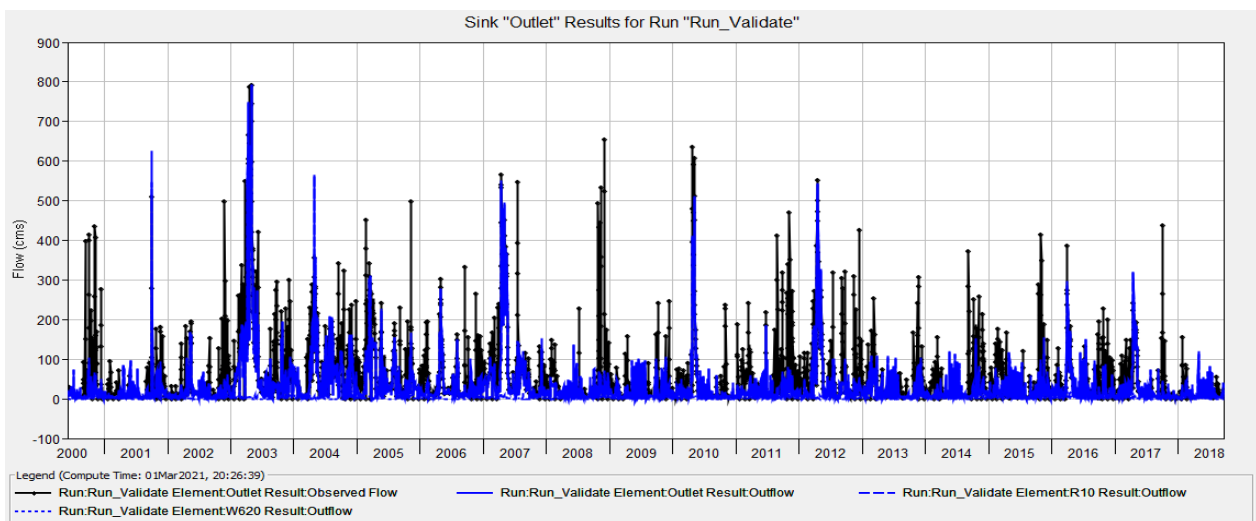
<sup>1</sup> Web-based hydrograph analysis

<sup>2</sup> United States Geological Survey



شکل ۹- استخراج دبی پایه به روش WHAT در ایستگاه هیدرومتری ۱۷-۰۴۳ (الف) و استخراج دبی پایه به روش WHAT در ایستگاه هیدرومتری ۱۷-۰۵۷ (ب)

Fig 9. Extraction of base discharge by WHAT method in hydrometric station 17-043 (a) and extraction of base discharge by WHAT method in hydrometry station 17-057 (b)



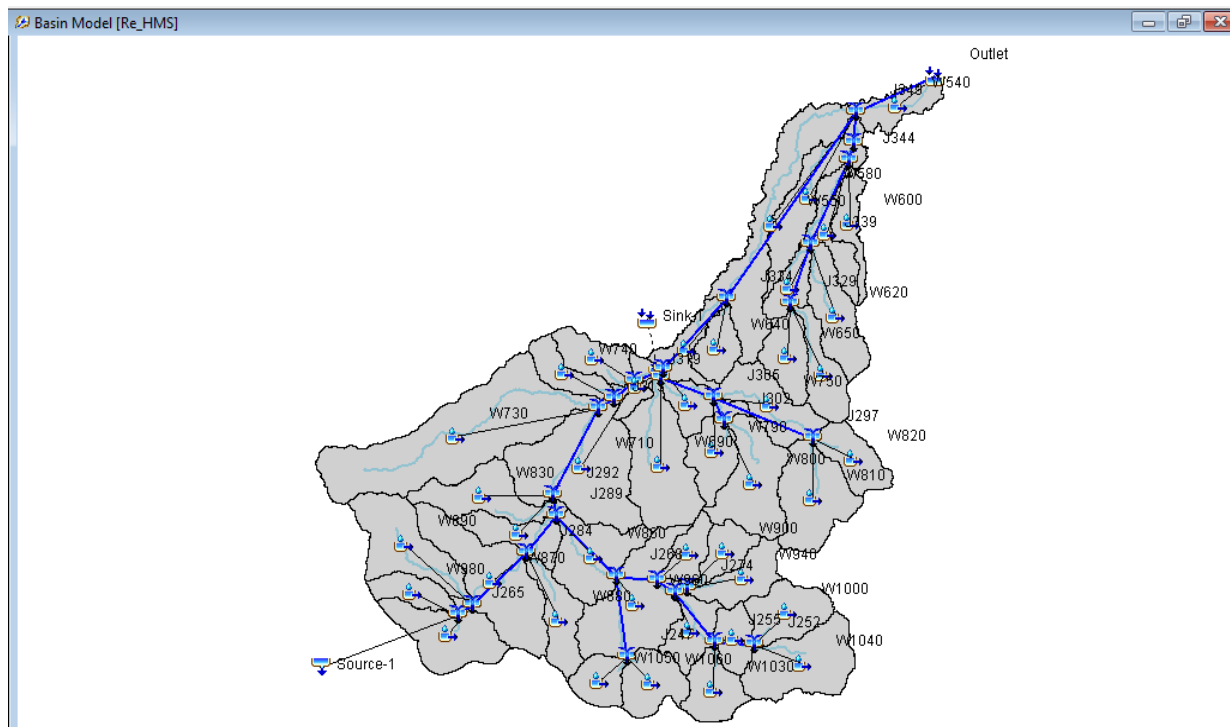
شکل ۱۰- هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی در مرحله صحت‌سنجی - ۱۱ ساله  
Fig 10. Observational and computational hydrographs in the verification phase - 11 years

توسعه مدل جزئی: با توجه به این‌که در اجرای مدل‌های شبیه‌سازی، تجمیع پارامتری به‌عنوان یک اصل برشمرده می‌شود، در این پژوهش، تغییرات منطف‌تر عناصر ورودی در مدل بارش-رواناب محدوده سفیدرود، با تهیه صورت گسترده‌تری از حوزه‌های آبخیز و البته به دنبال آن، تعداد بیشتر ورودی‌هایی نظیر رودها و مسیل‌ها بررسی می‌شود. به معنایی دیگر، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اصل‌های شناخته شده شبیه‌سازی، ساده‌سازی پارامتری می‌تواند به‌صورت

به‌عنوان یک خروجی مهم در محاسبات مدل‌سازی، می‌توان برای هر یک از عناصر مدل، مقدار اوج جریان، لحظه وقوع و حجم آن را به‌دست آورد. در این پژوهش، با توجه به این‌که مقدار جریانات مشاهداتی به‌وسیله ضرایب متعدد تبدیل جریان، نسبت به وقایع روی زمین تهیه شده است، فواصل عناصر تا حد زیادی از کمبود خطا، مقدار درستی از جریانات را نشان می‌دهند.

ارقام در دسترس می‌شود، صحیح است (شکل ۱۱).

مطلوب‌تری، نتایج دلخواه را از مدل‌های عددی به کاربر ارائه کند. این رویکرد تا زمانی که پردازش داده محدود به آمار و



شکل ۱۱- مدل نهایی بدون تجمع حوزه‌های آبخیز

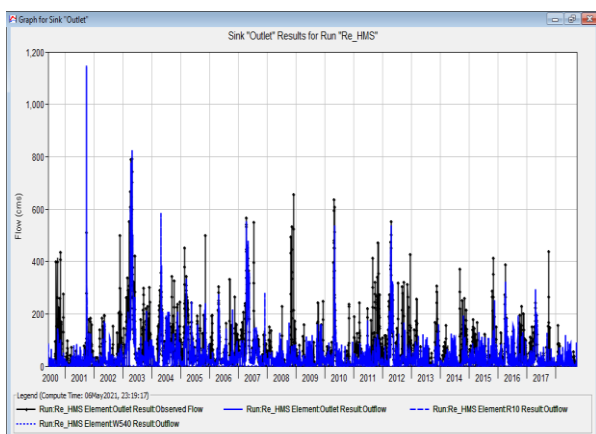
Fig 11. The final model without accumulation of watersheds

کند، با این حال، در داخل هر گروه از زیرحوضه‌های تجمیع شده، اختلاف انتقال جریان به صورت واضحی قابل فهم است.

شکل ۱۲، شرایط دبی‌سنجی حاصل از بارش حدود ۲۰ سال دوره آماری در دسترس را در منطقه مورد مطالعه برای مدل جزیی نشان می‌دهد. در اصل آنچه در این شکل حاصل شده است، نمودار جریانی است که در مدل تجمع شده بررسی شده بود. در مدل حاضر نیز چه از منظر تغییرات دمایی، چه مقدار بارش و چه دیگر پارامترهای شبیه‌سازی، عیناً شرایط پیشین تکرار شده است.

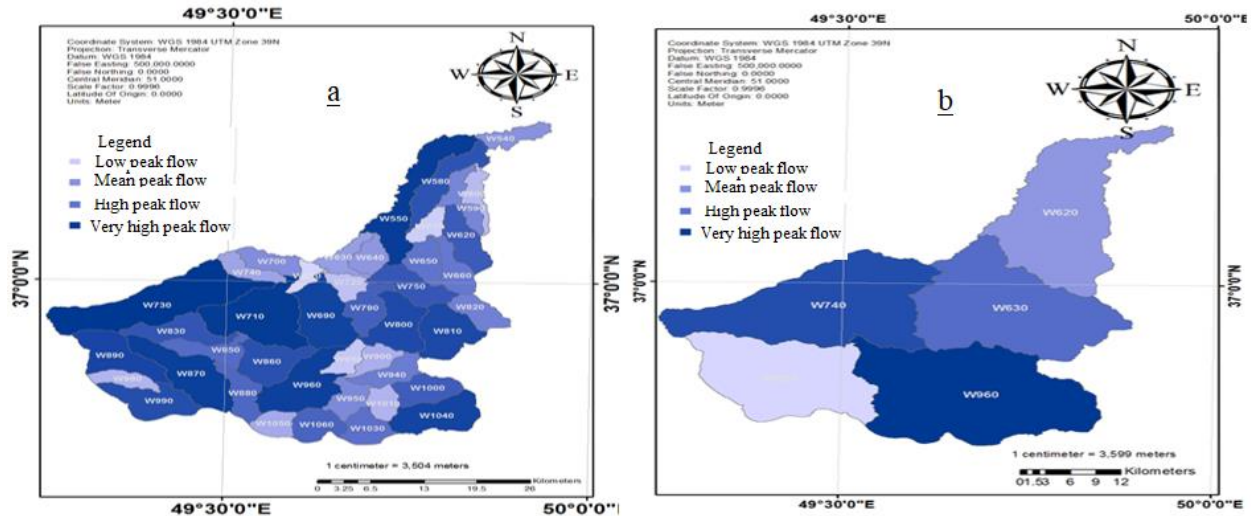
لحظه رخدادهای اوج در طول دوره بلندمدت در هر دو مدل جزیی و کلی، تقریباً یکسان محاسبه شده است. با این حال، لازم است تا برای یافتن تفاوت‌های موجود در هر دو مدل، به بررسی جزیی تری از ارقام بر روی نقشه‌های مکانی پرداخته شود.

با توجه به شکل ۱۳، می‌توان نحوه توزیع سیلاب را بر پهنه حوزه‌های آبخیز مشاهده کرد. اگرچه شکل توزیع سیلاب در هر دو مورد تقریباً از الگوی مشابهی تبعیت می



شکل ۱۲- هیدروگراف سیلاب بلندمدت مدل جزیی

Fig 12. Long-term flood hydrograph of partial model

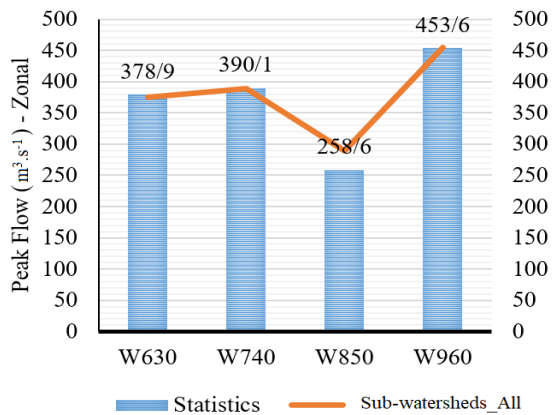


شکل ۱۳- تغییرات دبی اوج زیرحوضه‌ها با استفاده از رنگ‌بندی در محدوده مدل جزئی (الف) و تغییرات دبی اوج زیرحوضه‌ها با استفاده از رنگ‌بندی در محدوده مدل کلی (ب)

Fig 13. The changes in the peak discharge of the sub- watersheds using coloring in the range of the partial model (a) and the changes in the peak discharge of the sub- watersheds using the coloring in the range of the general model (b)

شکل ۱۵، وضعیت تغییرات مقدار دبی سیلاب را در هر دو مدل کلی و جزئی و برای چهار گروه از زیرحوضه‌های بالادستی نشان می‌دهد. بنابر آن چه گفته شد، روند کلی در هر دو مدل مشابه است. اما این تشابه تا زمانی که ساده سازی زمانی مانند ساده‌سازی مکانی باشد، وجود خواهد داشت.

برخلاف نتیجه‌گیری اولیه که از منظر خطاسنجی، چه در جریان و چه در سرعت انتقال، شکل هیدروگراف‌های حاصل شده را شبیه به یکدیگر قلمداد می‌کرد؛ اما اکنون مدل بصری نوع توزیع را در داخل هر گروه از زیرحوضه کاملاً وابسته به واقعیت زمین و یا پارامترهای تجربی روندیابی می‌داند. شکل ۱۴، مقدار دبی اوج در زیرحوضه‌های تجمیعی را نشان می‌دهد.

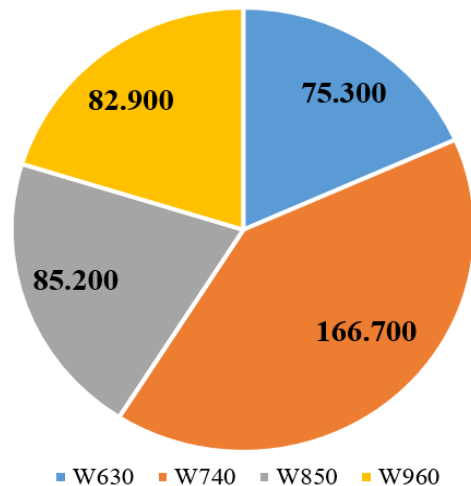


شکل ۱۵- مقایسه دسته دبی‌های اوج در هر دو نوع مدل کلی و جزئی

Fig 15. Comparison of peak flow categories in each type of general and partial model

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اثر انتخاب نوع هیدروگراف‌های تبدیل جریان، بر مقدار خطای محاسباتی در برآورد سیلاب مرز



شکل ۱۴- مقدار دبی اوج در زیرحوضه‌های تجمیع شده

Fig 14. Peak discharge value in aggregated sub-watersheds



مقدار مجموع جریان در مدل تجمیع شده برابر با ۱۹۶۷۲۳۹۵ متر مکعب حاصل شده بود. در حالی که همین پارامتر در مدل جزیی دارای ۲۷۷۶۵۵ متر مکعب اختلاف است.

نتایج موردی شامل موارد زیر است:

۱- تخمین صحیح‌تر پارامترهای روندیابی در مدل‌های با جزییات زیرحوضه بالاتر، به بهبود توزیع سیلاب در عناصر مدل کمک می‌کند.

۲- اجرای مدل‌های تجمیع شده، اگرچه از حجم محاسبات می‌کاهد، اما انعطاف‌پذیری شبیه‌ساز در استخراج نحوه توزیع سیلاب در گره‌های اتصال زیرحوضه‌ها را حد زیادی با انحراف آماری مواجه می‌سازد.

۳- رویکرد همگن واسنجی پارامترهای روندیابی ماسکینگام، عملاً وابسته به تعدد زیرحوضه‌های مفروض است.

۴- انتخاب صحیح رویکرد مدلسازی تداومی، نظیر روش تلفات SMA، می‌تواند در اجرای درست مدل و کاهش خطای کلی موثر باشد.

۵- انتخاب نوع هیدروگراف محاسباتی بین روش‌های پرکاربردتر SCS، کلارک و اشنایدر، نشان داد که روش SCS در مدل‌های منطقه‌ای زیرحوضه‌های درجه سوم، جواب بهتری می‌دهد.

۶- مقدار خطای باقی مانده در مرحله مدلسازی معکوس با بهینه‌سازی پارامترهای KX روش ماسکینگام به بهبود نسبی نتایج منجر شد، که نشان از وابستگی مدل به نحوه توزیع جریان جدای از انتخاب نوع هیدروگراف است.

۷- نوع هیدروگراف انتخابی عملاً به بهبود نتایج مرحله واسنجی با پاسخ بهتر به ضرایب روندیابی سیلاب منجر می‌شود.

۸- تفکیک دبی پایه با روش‌های پیشرفته نظیر WHAT لزوماً نمی‌تواند به افزایش همبستگی بین داده‌های مشاهداتی در یک مدل تداومی کمک کند.

۹- تغییرات همگن ضرایب بهینه‌سازی در مرحله واسنجی، نمایش یک وابستگی همسان در سرتاسر حوضه به پارامترهای غیرقابل تدقیق نظیر دبی‌های هیدرومتری و باران‌سنجی است.

بسته شده، با استفاده از شبیه‌سازی تبدیل بارش به سیلاب در یک دوره بلند آماری حدوداً ۲۰ ساله، بین بازه زمانی ۲۳ ژانویه ۲۰۰۰ تا ۲۳ سپتامبر ۲۰۲۱ میلادی در حوزه آبخیز آستانه-کوچصفهان با نرم‌افزار HEC-HMS، بررسی شد.

تحلیل نتایج نشان داد که هر یک از روش‌های تبدیل جریان‌ات سطحی تحت عناوین شناخته شده و پرکاربردتر، دارای محدودیت‌ها، ضعف‌ها و قوت‌هایی هستند که می‌توان آن‌ها را به‌عنوان رگرسیون‌های محلی نیز برای این تبدیل قلمداد کرد. روش SCS، به‌عنوان شناخته‌شده‌ترین روش، با توجه به محدودیت کمتر آن در مدل‌های با مقیاس متعارف محلی در حدود حوزه‌های آبخیز درجه سوم، نشان داد که خطای به‌دست داده شده در آن کمتر از موارد دیگر بوده است. این مقدار خطا به خودی خود قابل پیش‌بینی نیز بوده است. روش Clark که رویکرد سازه‌ای بیشتری نیز دارد، مثل روش محاسباتی اشنایدر، خطا تا چه در صورت کلی خود، و چه در مقادیر بیشینه، لحظه وقوع و حجم با انحراف بیشتری نسبت به رخداد واقعی زمین در ایستگاه هیدرومتری محاسبه می‌کند. به‌خصوص که روش اشنایدر در پیش‌فرض خود برای حوضه‌های بزرگ طراحی شده است. در این پژوهش، بر خلاف روش SCS که در آن به رقم خطا به صورت تابع NASH به مقدار ۰/۵۴۰ و RMSE به مقدار ۰/۷ و همچنین درصد انحراف با رقم ۲۸/۰۱ اشاره شده، برای روش کلارک تابع NASH به مقدار ۰/۵۳۳ و RMSE به مقدار ۰/۷ و همچنین، درصد انحراف با رقم ۲۹/۷۱ است. همچنین، در روش اشنایدر نیز تابع NASH به مقدار ۰/۴۷۷ و RMSE به مقدار ۰/۷ و همچنین درصد انحراف با رقم ۳۴/۲۵ است. این محاسبه همچنین از نظر خطاسنجی نیز موید آن است که یکی از بهترین ملاک‌های مشاهده اختلاف نمی‌تواند RMSE باشد.

در مدل جزیی تحلیل اثر روندیابی نیز خطای ۰/۵۳۷ در تابع NASH بسیار به رقم محاسبه شده در مورد مشابه (مدل تجمیع شده اولیه) نزدیک است. با این حال، صرف این خطاسنجی نباید منجر به این تلقی شود که ایجاد مدل‌های با جزییات بیشتر، نمی‌تواند به بهبود و یا تخریب ساختار عددی آن منجر شود. زیرا اگرچه تفاوت‌های خطاسنجی به شکل مشخصی قابل چشم‌پوشی است، اما

۱۲- بهترین ملاک خطاسنجی در محاسبات مدلسازی می تواند تابع NASH برای بارش‌های تداومی بوده است. همچنین، تفاوت بین حجم و دبی اوج محاسباتی لزوماً با خطاهای کلی اولیه قابل تشخیص نیست.

۱۳- انحراف مدل‌های جریان متأثر از پارامترهای روندیابی، ممکن است در حجم کلی جریان برای مدل‌های تداومی مخفی باقی بماند.

۱۰- بارش در محدوده مطالعاتی با کد ۱۳۰۱ از نواحی شمالی به سمت نواحی جنوبی بسیار متغیر بوده است و همین امر استفاده از داده‌های بارش ماهواره GPM را با پاسخ بهتری در مدل مواجه کرد.

۱۱- محاسبه دبی‌هایی که تحت عنوان انحراف از شبکه هیدروگرافی در فرایند جریانات سیلابی خارج می‌شوند، شرط اساسی کاهش خطای مدل‌ها فارق از نوع هیدروگراف منتخب در مدل است.

#### منابع مورد استفاده

- Behbahani, M. 2009. Surface water hydrology. University of Tehran Press, 221-250 pages (in Persian).
- Namdorost, J. 2002. Simulation of the effect of hydrological parameters on runoff in some watersheds of Iran. MSc Thesis, Tarbiat Modares University, 82 pages (in Persian).
- Alizadeh, A. 2003. Principles of applied hydrology. Astan Quds Razavi Publications, 22-26 pages (in Persian).
- Forouzandeh, F. 2008. Applied hydrology. University of Tehran Press, 171 pages (in Persian).
- Khaliqi, S.H., M. Mahdavi and B. Saghafian. 2005. Investigation of the effect of land use change in flood-prone lands using NRCS model, case study: Baranduz Basin of West Azerbaijan. Iranian Journal of Natural Resources, 58(4): 742-73 (in Persian).
- Neshat, A. and H. Sadeghi. 2006. Estimation of runoff using soil conservation organization method in Baghmalek Watershed (Khuzestan) using SCS method and HEC-HMS. Journal of Agricultural Sciences, 2(5): 383 (in Persian).
- Najafpour, Kh. 2010. Extraction of the best artificial hydrograph in the country's catchments. MSc Thesis, Islamic Azad University, Shushtar Branch, 150 pages (in Persian).
- Hall, M.J., A.F. Zaki and M.M.A. Shahin. 2001. Regional analysis using geomorphic climatic instantaneous unit hydrograph. Journal of Hydrology and Earth System Science, 5(1): 93-102.
- Kathol, J.P., H.D. Werner and T.P. Trooien. 2003. Predicting runoff for frequency based storm using a prediction-runoff model. American Society of Association Executives, South Dakota, U.S.A., 80 pages.
- Kafle, T.P., M.K. Hazarika, R.M. Shrestha and R. Sharma. 2007. Basin scale rainfall runoff model for forecasts. Proceedings of the 5th Annual Mekong Flooding Forum. Hochi Minh City Vietnam, 245-253 pages.
- Soulis, K.X., J.D. Valiantzas, N. Dercas and P.A. Lonndra. 2009. Analysis of the direct runoff generation mechanism for the investigation of the SCS-CN method applicability to a partial. Journal of Hydrology and Earth System Sciences, 6: 373-400.
- Ebrahimdoust, Y. and A. Mardookhpour. 2022. Numerical study of the efficiency of dimensionless methods in determining flood status, case study: Astana-Koochesfahan Station, Sefidrood River. Journal of Environmental Science and Technology, in Press (in Persian).
- Nasseri, M., B. Zahraie, H. Poorsephaty Samian, M. Khodadadi and N. Dolatabadi. 2021. Evaluation of empirical methods to estimate stream flow in ungauged basins, case study: Sefidrood Watershed. Journal of Geography and Environmental Planning, 32(1): 1-24 (in Persian).
- Malekzadeh, S., A. Arman and A. Azari. 2020. Flood hydrograph routing using Mike11 numerical model and artificial intelligence system, case study: Seymareh River. Journal of Irrigation and Drainage Structures Engineering Research, 21(78): 79-98 (in Persian).