Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Watershed Management Research, Vol. 16, Issue 1, 2025 p: 59-70

OPEN ACCESS

Research Paper

Flood Forecasting of the Tajan Watershed Using the Output of the Numerical Weather Prediction Model (GFS) and the HEC-HMS Hydrological Model

Fatemeh Mehrpourbernety[1], Ramin Fazloula [2], Alireza Emadi [3], Nasrollah Javaheri[4] and Mohammad Ali Gholami Sefidkouh[5]

1- Ph.D. Student, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2- Associate Professor, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, (Corresponding author: r.fazloula@sanru.ac.ir)
3- Associate Professor, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
4- Chief Executive Officer (CEO) of the AOP Engineering Consulting Company, Tehran, Iran
5- Associate Professor, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Received: 26 May 2024 Revised: 05 September 2024 Accepted: 26 September 2024

Extended Abstract

Background: Floods are caused by several reasons, including rainfall intensity, vegetation destruction, and encroachment of rivers. The high power of floods damages buildings, bridges, and existing structures, and also reduces the capacity of the river bed. Moreover, the excessive volume of water leads to human and financial losses and the destruction of animal habitats. Structural measures (such as dam construction) and non-structural measures (such as increased vegetation coverage, forecasting, and flood warning systems) are carried out to deal with a flood and its damage. Flood forecasting is the process of estimating the time and place of flood occurrence and the volume of water and, as an efficient and low-cost tool for flood management and damage reduction, has received a lot of attention in recent years. Rainfall-runoff modeling is one of the measures of flood management. Simulation is done using hydrological models to understand the relationship between rainfall and runoff parameters, as well as to determine the peak discharge value and the time to reach the peak discharge. One of the hydrological software packages in this field is the HEC-HMS software. By considering three components of the basin, meteorological, and control specification models, the value of losses, runoff, base flow, and routing are calculated using existing methods, and finally, optimization is performed to reduce the difference between observed and simulated hydrographs. Precipitation is one of the most important input parameters in simulating floods. Therefore, the correct estimation of its amount is considered necessary and important. Considering the number of rain gauge stations and the lack of sufficient stations in Iran, especially in mountainous areas, the use of numerical weather prediction model information and satellite rainfall data plays an important role in flood forecasting. Numerical weather prediction models predict weather conditions using mathematical models. Forecasts are divided into three short-range, medium-range, and long-range categories, and also, into regional and global models. One of these models is the numerical weather prediction model, called GFS, which predicts and provides data such as temperature, wind, and precipitation. Heavy rainfall, destruction of forests, sand and gravel harvesting, and construction in floodplains are among the causes of floods in Mazandaran Province, especially the Tajan River, in recent years. The main goal of this research was to estimate the value of peak discharge by simulating flood events and evaluating the results using the precipitation information of the GFS model in the Tajan watershed located in Sari City, Mazandaran Province.

Methods: In this research, data were collected from the hydrometric stations of the Tajan watershed, including the hourly measurements of recorded floods, as well as the information required by the evaporation and rain gauge stations in this area, including precipitation obtained by the Mazandaran Regional Water Company for the 10-year period of 2011-2021. Furthermore, precipitation data were received online (from the following webpage: https://openweathermap.org) through the output of the GFS numerical weather prediction model in the mentioned period. The curve number of each subbasin was determined using land use and soil hydrological group layers in ArcGIS software, and the physiographic characteristics of the Tajan watershed were extracted using the HEC-GeoHMS extension. Then, four events 04 October 2011, 01 December 2011, 14 November 2016, and 01 December 2017 were simulated using the physiographic characteristics of the sub-basins, the precipitation data of the Tajan watershed, and the flood discharge obtained by the Mazandaran Regional Water Company in HEC-HMS software. The Soil Conservation Service curve number method was used to calculate losses, the SCS unit hydrograph method was used to calculate the runoff method, and the lag method was used for routing. Subsequently, sensitivity analysis was performed to determine the sensitivity of

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1279]

Copyright ©2025 Mehrpourbernety et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

the curve number, lag time, and initial abstraction parameters. The optimal values of the parameters in the optimization process were determined using nine objective functions available in the HEC-HMS software, including Mean of Absolute Residuals, Mean of Squared Residuals, Peak-Weighted Root Mean Square Error, Peak-Weighted Variable Power, Percent Error in Peak Discharge, Root Mean Square Error, Sum of Absolute Residuals, Sum of Squared Residuals, and Time-Weighted RMSE. In the next step, validation was performed by event 01 December 2017 using the optimal values of the parameters. Finally, after HEC-HMS software optimization and verification, the aforementioned flood events were simulated using the data of the GFS numerical weather prediction model.
Results: The results showed a strong correlation between observed and calibrated hydrographs. Besides, the best objective function was peak-weighted variable power. The results of the sensitivity analysis showed that the peak discharge was more sensitive to the changes in the initial abstraction and curve number parameters. Validation was performed to verify the validity of the results obtained in the calibration process, and the results indicated no significant differences between the averages of the two groups, *viz*. observed and calibrated flow rates. Moreover, the simulation results using the GFS numerical weather prediction model showed no significant differences (at a 95% confidence level) between the observed and simulated hydrographs.
Conclusion: According to the results, using the precipitation data of the GFS numerical weather prediction model and the HEC-HMS rainfall-runoff software makes it possible to simulate the flood with acceptable confidence in predicting the peak discharge of floods.

Keywords: HEC-GeoHMS, Modeling, Numerical weather prediction model, Peak discharge, Sensitivity analysis

How to Cite This Article: Mehrpourbernety, F., Fazloula, R., Emadi, A., Javaheri, N., & Gholami Sefidkouhi, M. A. (2025). Flood Forecasting of the Tajan Watershed using the output of the Numerical Weather Prediction Model (GFS) and the HEC-HMS Hydrological Model. *J Watershed Manage Res*, 16(1), 59-70. DOI: 10.61882/jwmr.2024.1279

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1279]

مقاله پژوهشی

شبیه‌سازی سیلاب حوزه آبخیز تجن با استفاده از مدل پیش‌بینی وضع هوا (GFS) و مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS

فاطمه مهرپور برنتی[۱]، رامین فضل‌اولی[۲]، علیرضا عمادی[۳]، نصراله جواهری[۴] و محمدعلی غلامی سفیدکوهی[۵]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، (نویسنده مسوول: r.fazloula@sanru.ac.ir)
۳- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۴- رییس هیئت مدیره شرکت مهندسی مشاور آب و عمران پردیسان، تهران، ایران
۵- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۶ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۵
صفحه ۵۹ تا ۷۰

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: سیل به‌دلایل متعددی از جمله شدت بارندگی، تخریب پوشش گیاهی و تجاوز به حریم رودخانه‌ها ایجاد می‌شود. قدرت زیاد سیل‌ها به ساختمان‌ها، پل‌ها و سازه‌های موجود آسیب وارد می‌کند و ظرفیت بستر رودخانه را کاهش می‌دهد. همچنین حجم بیش از حد آب، خسارات جانی، مالی و تخریب زیستگاه‌های جانوران را نیز در پی دارد. برای مقابله با سیل و خسارات ناشی از آن، اقدامات سازه‌ای مانند احداث سد و اقدامات غیر سازه‌ای مانند افزایش پوشش گیاهی، پیش‌بینی و سیستم‌های هشدار سیل انجام می‌شود. پیش‌بینی سیل، فرآیند برآورد زمان و مکان وقوع سیل و میزان حجم آب است و به عنوان ابزاری کارآمد و کم‌هزینه برای مدیریت سیلاب و کاهش خسارات ناشی از آن است که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. مدل‌سازی بارش رواناب از جمله اقدامات جهت مدیریت سیلاب است. جهت شناخت ارتباط بین پارامتر بارش و رواناب و هم‌چنین تعیین مقدار دبی اوج و زمان رسیدن به دبی اوج، شبیه‌سازی از طریق مدل‌های هیدرولوژیکی انجام می‌شود. یکی از نرم‌افزارهای هیدرولوژیکی در این زمینه، نرم‌افزار HEC-HMS است. با استفاده از سه مؤلفه مدل حوضه، مدل هواشناسی و مشخصه‌های کنترل، میزان تلفات، رواناب، جریان پایه و روندیابی با روش‌های موجود محاسبه می‌شود و در نهایت عملیات واسنجی جهت کاهش اختلاف هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده انجام می‌گردد. بارش از مهم‌ترین پارامترهای ورودی جهت شبیه‌سازی سیلاب است. بنابراین، برآورد صحیح میزان آن امری ضروری و مهم تلقی می‌گردد. با توجه به تعداد ایستگاه‌های باران‌سنجی و عدم وجود ایستگاه‌های کافی در سطح کشور به‌خصوص مناطق کوهستانی، استفاده از اطلاعات مدل عددی هواشناسی و داده‌های بارش ماهواره‌ای در پیش‌بینی سیل نقش مهمی دارد. مدل‌های عددی هواشناسی با کمک مدل‌های ریاضی، وضعیت آب و هوا را پیش‌بینی می‌کنند. پیش‌بینی‌ها به سه دسته کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت و مدل‌های منطقه‌ای و جهانی تقسیم می‌شوند. یکی از این مدل‌ها، مدل عددی هواشناسی GFS می‌باشد که داده‌هایی مانند دما، باد و بارش را پیش‌بینی و ارائه می‌کند. بارندگی‌های شدید، تخریب جنگل‌ها، برداشت شن و ماسه و ساختمان‌سازی در پهنه‌های سیلابی از جمله دلایل وقوع سیل در مازندران و به‌خصوص رودخانه تجن در سال‌های اخیر هستند. هدف اصلی این پژوهش، برآورد مقدار دبی اوج سیل با شبیه‌سازی وقایع سیلابی و ارزیابی نتایج حاصل از آن با استفاده از اطلاعات بارش مدل عددی هواشناسی GFS در حوضه رودخانه تجن واقع در شهر ساری در استان مازندران بوده است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، داده‌های مورد نیاز ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه آبخیز تجن شامل اندازه‌گیری‌های ساعتی سیلاب‌های ثبت‌شده و هم‌چنین اطلاعات مورد نیاز ایستگاه‌های تبخیرسنجی و باران‌سنجی در این حوضه شامل بارندگی حوزه آبخیز تجن از طریق شرکت آب منطقه‌ای مازندران برای دوره ۱۰ ساله ۱۴۰۰-۱۳۹۰ اخذ گردید. همچنین، اطلاعات بارش از طریق خروجی مدل عددی هواشناسی GFS نیز در دوره مذکور از سایت https://openweathermap.org دریافت شد. با استفاده از لایه‌های کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیک خاک در نرم‌افزار ArcGIS، شماره منحنی هر زیرحوضه تعیین و خصوصیات فیزیوگرافی حوزه آبخیز تجن با استفاده از الحاقیه HEC-GeoHMS استخراج گردید. با توجه به خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه‌ها، اطلاعات مربوط به بارش ایستگاه‌های حوزه آبخیز تجن و دبی سیلاب اخذ شده از شرکت آب منطقه‌ای مازندران، شبیه‌سازی چهار واقعه سیل ۱۳۹۰/۰۷/۱۲، ۱۳۹۰/۰۹/۲۰، ۱۳۹۴/۰۸/۲۳ و ۱۳۹۶/۰۹/۱۰ در نرم‌افزار HEC-HMS انجام شد. از روش شماره منحنی سازمان حفاظت خاک آمریکا برای محاسبه تلفات، جهت محاسبه رواناب از روش هیدروگراف واحد SCS و روندیابی از روش روندیابی تأخیر مورد استفاده قرار گرفت. سپس برای تعیین میزان حساسیت پارامترهای شماره منحنی، زمان تأخیر و تلفات اولیه آنالیز حساسیت انجام شد. در فرآیند واسنجی، جهت تعیین مقادیر بهینه پارامترها از نه تابع هدف موجود در نرم‌افزار HEC-HMS شامل میانگین قدر مطلق باقیمانده‌ها، میانگین مربع باقیمانده‌ها، انحراف معیار وزنی دبی اوج، توان متغیر وزنی دبی اوج، درصد خطای دبی اوج، مجذور میانگین مربعات خطا، مجموع قدر مطلق باقیمانده‌ها، مجموع مربع باقیمانده‌ها و انحراف معیار وزنی زمان اوج استفاده گردید. در گام بعد، صحت‌سنجی (رویداد ۱۳۹۶/۰۹/۱۰) با استفاده از مقادیر بهینه پارامترها انجام شد و در نهایت پس از واسنجی و صحت‌سنجی نرم‌افزار HEC-HMS، وقایع سیلابی مورد نظر با استفاده از داده‌های مدل عددی هواشناسی GFS، شبیه‌سازی شدند.

یافته‌ها: نتایج، همبستگی بالای میان هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و واسنجی شده را در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد ($r > ۰/۹$) نشان دادند. همچنین، بهترین تابع هدف، توان متغیر وزنی دبی اوج بود. نتایج حاصل از آنالیز حساسیت نشان داد که دبی اوج نسبت به تغییرات پارامترهای تلفات اولیه و شماره منحنی حساسیت بیشتری داشت. برای تأیید صحت نتایج به‌دست آمده در فرآیند واسنجی، صحت‌سنجی انجام شد. نتایج حاکی از آن است که میان میانگین‌های دو گروه دبی‌های مشاهده شده و واسنجی شده تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ($P\text{-value} = ۰/۲۱۳$). همچنین، نتایج شبیه‌سازی با استفاده از مدل عددی هواشناسی نشان دادند که میان هیدروگراف‌های مشاهده‌شده و شبیه‌سازی شده توسط داده‌های مدل عددی هواشناسی تفاوت معنی‌داری (در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد) وجود نداشت.

نتیجه‌گیری: مطابق با نتایج به‌دست آمده، با استفاده از داده‌های بارش مدل عددی هواشناسی GFS و نرم‌افزار بارش رواناب HEC-HMS می‌توان شبیه‌سازی سیلاب را با نتایج قابل قبولی در پیش‌بینی دبی اوج سیل انجام داد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز حساسیت، دبی اوج، مدل‌سازی، مدل عددی هواشناسی، HEC-GeoHMS

مقدمه

پیش‌بینی سیل به‌عنوان ابزاری کارآمد و کم‌هزینه برای مدیریت سیلاب، کنترل فرسایش و کاهش خسارات ناشی از

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1279]

سیلاب است که در سال‌های اخیر در کشورهای در حال توسعه دنیا موردتوجه قرار گرفته است (Mahmoudzadeh & Bakoi, 2018). برنامه‌ریزی برای مهار و مدیریت سیلاب و رواناب‌ها و حفاظت از کیفیت و نیز بهره‌برداری مناسب از آن‌ها مستلزم درک صحیح و دقیق از مدل‌سازی بارش رواناب است (Moatamednia *et al.*, 2017). از این‌رو فناوری جمع‌آوری، انتقال و پردازش داده‌های هیدرولوژیکی و پیش‌بینی زمان واقعی از طریق مدل‌سازی پیشرفت چشم‌گیری کرده است (Nohegar *et al.*, 2019). متغیر بارش به‌عنوان ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی تغییرات زمانی و مکانی زیادی دارد. استفاده از تخمین‌های بارش بر اساس تولیدات ماهواره‌ای، قابلیت بهبود و کاهش عدم قطعیت در ورودی‌های بارش و توسعه شبیه‌سازی‌های منابع آب را دارد. برآورد بارش‌های حاصل از تولیدات ماهواره‌ای در حال افزایش است و انتظار می‌رود که جایگزین مناسبی برای برآورد بارندگی در مقیاس زمانی و مکانی در حال حاضر و آینده باشد (Shirmohammadi Aliakbarkhani *et al.*, 2019). مطالعات زیادی در رابطه با پیش‌بینی سیل و شبیه‌سازی بارش–رواناب و به‌خصوص استفاده از داده‌های بارش مدل‌های عددی هواشناسی انجام شده‌اند. آزادی و همکاران به ارزیابی مدل HEC-HMS در پیش‌بینی سیلاب حوزه آبریز قروه پرداختند. در این پژوهش، روش شماره منحنی سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) برای محاسبه تلفات و تولید بارش مازاد، روش دبی ثابت ماهانه برای شبیه‌سازی دبی پایه و روش SCS و اشنایدر برای تبدیل بارش مازاد به رواناب به‌کار برده شده است. نتایج در مرحله صحت‌سنجی نشان دادند که روش SCS در شبیه‌سازی دبی اوج هیدروگراف با داده‌های مشاهداتی تطابق بهتری داشت (Azadi *et al.*, 2013). مزیدی و کوشکی به شبیه‌سازی بارش–رواناب و تخمین سیل در حوزه آبریز خرم‌آباد با نرم‌افزار HEC-HMS پرداختند. نتایج سازگاری خوبی بین هیدروگراف‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در خروجی حوضه را نشان دادند. ضریب نش–ساتکلیف و ضریب واریانس شبیه‌سازی شده به‌ترتیب برابر با ۰/۶۸ و ۰/۰۹ بودند که نشان‌دهنده کارایی بالای مدل در برآورد دبی پیک در حوزه آبریز مورد مطالعه بود (Mazidi & Kooshki, 2015). اسلامی و همکاران از مدل هیدرولوژی NAM برای فرآیند مدل بارش رواناب رودخانه بختیاری در محل احداث سد بختیاری استفاده نمودند و با مدل‌های زمان انتظار، زمان رسیدن به طوفان مشخص تعیین شد. سپس با مدل‌های GFS[1] و MM5 و همچنین مدل‌های زمان انتظار میزان بارش در این منطقه، پیش‌آگاهی آبدهی انجام شد. نتایج نشان دادند که سیستم هشدار سیل در محل احداث کارگاه کارایی لازم را دارا بود و استفاده از آن در دوره ساخت می‌تواند خسارات مالی و جانی را کاهش دهد (Eslami *et al.*, 2014). جوانمرد قصاب و همکاران به ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی بارش GFS و WRF در حوزه آبریز گاوشان پرداختند. این پژوهش برای ۲۷ طوفان منتخب در دوره دو ساله ۹۴ تا ۹۶ انجام شد. نتایج نشان دادند که مدل GFS عملکرد بهتری در خطای متوسط و حداکثر بارش داشت. فراوانی خطای نسبی بالای ۵۰ درصد و کمتر از ۲۰ درصد مدل WRF به‌ترتیب بیشتر از مدل GFS بود و فراوانی خطای نسبی بین ۲۰ تا ۵۰ درصد در مدل GFS در این حوضه کمتر بود (Javanmardghassab *et al.*, 2017). حیدری‌بنی و همکاران در پژوهشی میزان دقت مدل GFS را در پیش‌بینی عناصر اقلیمی دما، بارش، رطوبت و فشار برای ایستگاه سینوپتیک فرودگاهی شهرکرد بررسی نمودند. نتایج نشان دادند که این مدل در پیش‌بینی متوسط دمای ۲ متری و دمای نقطه شبنم در ۸۰ درصد مواقع بیش‌برآوردی داشت و به‌طور متوسط در ۸۸ درصد موارد وجود و یا عدم وجود بارش را به درستی پیش‌بینی کرد (Heidary Beni *et al.*, 2017). دهبان و همکاران پیش‌بینی‌های بارش روزانه مدل GFS را برای صدور پیش‌هشدار سیل در استان لرستان مورد ارزیابی قرار دادند. در محیط برنامه‌نویسی متلب، اجراهای مختلف مدل GFS برای پیش‌بینی‌های ۱ تا ۹ روزه، با دو رویکرد متوسط و حداکثر مقادیر بارش اجرای مدل، با هم ادغام و سری زمانی بارش روزانه پیش‌بینی شده ایجاد شد. نتایج نشان دادند که مدل GFS وقایع بارشی را در سطح استان لرستان به‌خوبی پیش‌بینی کرد اما عملکرد ضعیفی در پیش‌بینی نقطه‌ای بارش داشت (Dehban *et al.*, 2017). ایمانی امیرآباد و همکاران دقت مدل جهانی GFS و مدل منطقه‌ای WRF را به‌صورت مکانی و نقطه‌ای در حوزه آبریز کارون بزرگ و کرخه مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاکی از دقت مناسب پیش‌بینی هر دو مدل در مقیاس مکانی نسبت به نقطه‌ای بودند و همچنین در هر دو روش مدل WRF عملکرد بهتری نسبت به مدل GFS در پیش‌بینی داشت (Imani Amirabad *et al.*, 2019). عفیفی به شبیه‌سازی بارش رواناب و پتانسیل سیل‌خیزی حوزه آبریز رودبال استان فارس با نرم‌افزار HEC-HMS پرداخت. نتایج نشان داد که این مدل دقت بالایی در برآورد دبی پیک حوضه دارد، اما در برآورد حجم سیلاب دقت بالایی نداشت (Afifi, 2020). سریدوی و همکاران به بررسی توانایی پیش‌بینی بارش مدل GFS در هند پرداختند. نتایج نشان دادند که، به‌طور کلی، هر دو مدل GFS T1534 و GFS T574 در پیش‌بینی مناطقی با بارآن‌های سنگین توانایی بالایی داشتند. با این‌حال، دقت در پیش‌بینی مکان و میزان بارندگی نوسانات قابل‌توجهی داشت (Sridevi *et al.*, 2018). دلا فوئنته و همکاران یک مدل پیش‌بینی هواشناسی جهانی با یک سیستم پیش‌بینی کوتاه‌مدت رواناب اجرا نمودند. متغیرهای هواشناسی از طریق GFS دریافت شدند و دو رویکرد مبتنی بر داده برای پیش‌بینی کل سری‌های زمانی جریان ساعتی در آینده نزدیک (۳ روز)، یک شبکه عصبی مصنوعی ساده (ANN) و یک رویکرد یادگیری عمیق (DL) براساس سلول‌های حافظه بلند و کوتاه‌مدت (LSTM) اجرا شد. نتایج نشان دادند که پیش‌بینی‌های هواشناسی و مدل‌های پیش‌بینی آب و هوا رواناب مبتنیبر داده‌ها توانست دو الزام اساسی را که هر سیستم هشدار باید داشته باشد برآورده کند: پیش‌بینی باید از

[1] Global Forecast System

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1279]

قبل ارائه شود و باید دقیق و قابل اعتماد باشد (de la Fuente *et al.*, 2019). موخپادیای و همکاران مدل سیستم پیش‌بینی جهانی مدل گردش عمومی جوی (AGCM) با وضوح افقی ۱۲/۵ کیلومتر (T1534) را ارزیابی نمودند. ایشان بیان کردند که اگرچه مدل مقدار بیشتری را بر روی زمین نشان داد، اما توزیع احتمال (PDF) بارندگی برای باران شدیدتر (۲۰/۴۵– ۱۱/۵۶ سانتی‌متر در روز) بهتر بود (Mukhopadhyay *et al.*, 2019). یوآن و همکاران کارایی داده‌های ماهواره‌ای IMERG و TMPA در تخمین دبی سیلاب و دقت آن‌ها در نقشه پهنه‌بندی سیل را مورد ارزیابی قرار دادند. با توجه به نتایج، تخمین هیدروگراف‌های دبی سیل براساس محصولات IMERG دقت رضایت‌بخشی داشت و پیش‌بینی سیل بر اساس محصولات IMERG می‌تواند نقش مهمی در آمادگی و کاهش مدیریت بلایای سیل داشته باشد (Yuan *et al.*, 2019). رائو و همکاران به بررسی پیش‌بینی ۱ تا ۵ روزه مدل GFS در حوضه رودخانه Nagavali و Vamsadhara پرداختند. با توجه به نتایج، مدل بارندگی را با ضریب همبستگی $> ۰/۳$ پیش‌بینی نمود و احتمال تشخیص برای روزهای اول و سوم $> ۰/۶$ بود. ایشان بیان نمودند که نتایج پژوهش آن‌ها به بهبود قابلیت‌های پیش‌بینی مدل‌های هیدرولوژیکی و به مدیریت مؤثر منابع آب موجود در حوضه‌ها کمک می‌کند (Rao *et al.*, 2022). ونگ و همکاران پیش‌بینی سیل را به‌کمک مدل عددی پیش‌بینی هوا (WRF) و مدل سیلاب شهری (SWMM) مورد بررسی قرار دادند. برای منطقه مورد مطالعه، شهر Zhengzhou در چین، استفاده از داده‌های تفکیک مکانی خوب می‌تواند فرآیند بارش را بهتر پیش‌بینی کند و الزامات شبیه‌سازی سیل شهری را برآورده کند. با این‌حال، عملکرد پیش‌بینی WRF با افزایش زمان کاهش یافت. همچنین، نتایج نشان می‌دهند که مدل WRF می‌تواند اطلاعات هشدار دهنده فرآیند سیل دقیق‌تری را ارائه دهد، بنابراین مرجع مهمی برای هشدار و پیش‌بینی سیل ارائه می‌کند (Wang *et al.*, 2022). یو و همکاران دقت پیش‌بینی‌های میان‌مدت بارش (۱ تا ۱۵ روز) را از طریق GFS بر روی حوزه‌های آبخیز هشت سد اصلی در حوزه رودخانه Niger ارزیابی کردند. ایشان اظهار کردند که دقت پیش‌بینی GFS با افزایش زمان پیش‌بینی کاهش یافت، بنا بر این دقت پیش‌بینی‌های GFS را می‌توان با استفاده از تکنیک‌های پس‌پردازش که شامل محصولات بارش ماهواره‌ای زمان واقعی است، بهبود بخشید (Yue *et al.*, 2022). گودرزی و همکاران به ارزیابی پیش‌بینی سیل حوضه آبریز تالش با استفاده از مدل WRF و مدل هیدرولوژیک HEC-HMS پرداختند. از این‌رو، مدل‌های WRF و HEC-HMS با مقایسه نتایج آن‌ها با داده‌های مشاهده شده در ایستگاه‌های اندازه‌گیری کالیبره شدند. سپس داده‌های بارندگی خروجی مدل WRF وارد مدل HEC-HMS شدند و در نهایت با استفاده از شاخص‌های آماری مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاکی از عملکرد دقیق مدل WRF در کنار HEC-HMS در حوضه آبریز مذکور بودند (Goodarzi *et al.*, 2024).

با توجه به مطالعات انجام‌شده و اهمیت پیش‌بینی سیل، در این پژوهش از طریق داده‌های بارش مدل عددی هواشناسی GFS، اقدام به شبیه‌سازی سیل حوزه آبخیز تجن و واسنجی و صحت‌سنجی مدل بارش–رواناب HEC-HMS شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز رودخانه تجن بین ´۵۶ °۵۲ تا ´۵۹ °۵۴ طول شرقی و ´۵۶ °۳۵ تا ´۴۹ °۳۶ عرض شمالی واقع شده است و محدوده آن از شمال با حوزه رودخانه نکا و از ناحیه غرب با حوزه تالار و کسیلیان و در قسمت شرقی و جنوبی با حوزه رودخانه‌های دامغان هم‌مرز است. بلندترین نقطه ارتفاعی کوه شاه‌دژ با ارتفاع ۳۲۵۰ متر و پایین‌ترین نقطه بندر فرح‌آباد با ارتفاع ۲۶– متر در ساحل دریای خزر هستند. بیش از ۶۰ درصد حوضه از مناطق کوهستانی، حدود ۲۵ درصد آن از اراضی جلگه‌ای و دشت‌های ساحلی و بقیه آن را تراس‌های رودخانه‌ای، اراضی کوهپایه‌ای و تپه‌ماهورها تشکیل می‌دهند. پوشش گیاهی محدوده به سه بخش اصلی جنگلی، مرتع و باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی قابل تفکیک است. وسعت زمین‌های جنگلی، تقریبا معادل ۵۲ درصد از وسعت کل حوضه، وسعت نواحی مرتعی در حدود ۱۳ درصد از وسعت کل حوضه تجن و وسعت زمین‌های کشاورزی و باغ‌ها در حوضه آبریز رودخانه تجن که به‌طور عمده در دشت ساحلی دریای خزر گسترش دارند معادل ۱۱ درصد حوضه هستند. از مهم‌ترین دلایل افزایش سیل در سال‌های اخیر در مازندران و به‌خصوص حوزه آبخیز تجن، بارندگی‌های شدید، برداشت بی‌رویه شن و ماسه، تجاوز به حریم رودخانه و گسترش زمین‌های کشاورزی، کاهش وسعت جنگل و وسعت بالای مراتع هستند (Nodehi & Moghaddas, 2008).

روش پژوهش

مدل سیستم پیش‌بینی جهانی (GFS)، مدل عملیاتی پیش‌بینی آب و هوای جهانی (NWP[1]) است که در مرکز ملی پیش‌بینی محیطی (NCEP[2]) استفاده می‌شود (Lien *et al.*, 2016). GFS داده‌هایی را برای ده‌ها متغیر جوی و زمینی، از جمله دما، باد، بارش و رطوبت خاک تولید می‌کند. در این پژوهش، مقادیر بارش مدل عددی هواشناسی GFS از سایت https://openweathermap.org برای دوره ۱۰ ساله ۱۳۹۰– ۱۴۰۰ دریافت شد. همچنین اندازه‌گیری‌های ساعتی سیلاب‌های ثبت شدند و میزان بارش مربوط به هر سیلاب در حوزه آبخیز تجن و اطلاعات بارش مربوط به همان دوره از طریق شرکت آب منطقه‌ای مازندران اخذ گردید. سپس، با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیک خاک و مدل رقومی ارتفاع با دقت ۳۰ متر که از سایت https://earthexplorer.usgs.gov دریافت شد، خصوصیات فیزیوگرافی حوزه آبخیز تجن تعیین و با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS، شبیه‌سازی سیل برای چهار رویداد در حوزه آبخیز تجن انجام شد.

[1] Numerical Weather Prediction

[2] National Centers for Environmental Prediction

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1279]

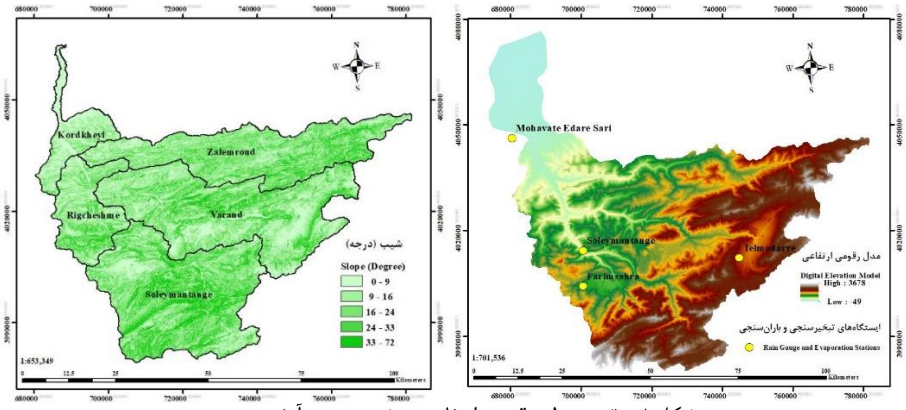
استخراج خصوصیات فیزیوگرافی

فیزیوگرافی در حقیقت مطالعه خصوصیات فیزیکی و وضعیت ریخت‌شناختی یک حوزه آبخیز است که اثر تعیین‌کننده‌ای بر خصوصیات هیدرولوژیک و رژیم آبی آن دارد. برای استخراج خصوصیات فیزیوگرافی حوزه آبخیز تجن، شامل مساحت، محیط و شیب، از نقشه مدل ارتفاعی رقومی حوضه و الحاقیه HEC-GeoHMS نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. برای تعیین شماره منحنی حوضه نیز عمل هم‌پوشانی لایه‌های کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS انجام شد.

جدول۱- مشخصات زیرحوزه‌های حوزه آبخیز تجن

Table 1. Characteristics of the Tajan Watershed Sub-basins

نام زیرحوضه Subbasin	مساحت (کیلومتر مربع) Area (km²)	محیط (کیلومتر) Perimeter (km)	شیب حوضه (درصد) Slope (%)	زمان تأخیر (دقیقه) Lag Time (min)	شماره منحنی Curve Number
کردخیل Kordkheyl	246.48	183.42	15.12	321.33	78
ظالم‌رود Zalemroud	876.84	312.79	33.04	433.06	75
ریگ‌چشمه Rigcheshme	384.65	153.71	29.28	245.79	75
ورند Varand	1200.36	318.60	30.34	420.11	73
سلیمان‌تنگه Soleymantange	1192.44	258.68	39.70	320.38	74



شکل۱- نقشه مدل رقومی ارتفاعی و شیب حوزه آبخیز تجن

Figure 1. DEM and Slope Maps of the Tajan Watershed

نرم‌افزار HEC-HMS

نرم‌افزار HEC-HMS نسخه توسعه یافته HEC-1 و تحت ویندوز است که برای شبیه‌سازی پاسخ رواناب سطحی یک حوزه آبخیز نسبت به بارندگی‌های معین طراحی شده است. این نرم‌افزار حوزه آبخیز را به‌عنوان یک سیستم به‌هم پیوسته با مؤلفه‌های هیدرولوژیکی و شبه‌هیدرولیکی نمایش می‌دهد. هر مؤلفه نرم‌افزار یک جنبه از فرآیند بارش رواناب را در داخل بخشی از حوضه که معمولاً به‌عنوان زیرحوضه در نظر گرفته می‌شود، شبیه‌سازی می‌کند. شبیه‌سازی حوزه‌های آبخیز در نرم‌افزار HEC-HMS توسط سه مؤلفه اساسی شامل مدل حوضه، مدل هواشناسی و مشخصه‌های کنترل انجام می‌گیرد (Tassew *et al.*, 2019).

مؤلفه‌های مدل حوضه

خواص فیزیکی حوزه آبخیز، زیرحوضه‌ها، رودخانه‌ها و تأسیسات وابسته به آن‌ها در مدل حوضه به نرم‌افزار معرفی می‌شوند. در این پژوهش، از روش شماره منحنی سازمان حفاظت خاک آمریکا[1] برای محاسبه تلفات استفاده شد. این روش، میزان بارش مازاد را به‌عنوان تابعی از بارش تجمعی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و رطوبت قبلی خاک حوضه را با استفاده از رابطه زیر بیان می‌کند.

$$P_e = \frac{(P-I_a)^2}{P-I_a+S} \quad (۱)$$

$$I_a = 0.2S \quad (۲)$$

$$S = \frac{25400-254CN}{CN} \quad (۳)$$

در روابط مذکور، P_e بارش مازاد تجمعی در زمان t به میلی‌متر، P بارش تجمعی در زمان t به میلی‌متر، I_a جذب اولیه (تلفات اولیه) به میلی‌متر، S حداکثر گیرش بالقوه (ذخیره سطحی خاک) به میلی‌متر و CN شماره منحنی هستند.

جهت محاسبه رواناب از روش هیدروگراف واحد SCS استفاده شد. سازمان حفاظت خاک (SCS) آمریکا، یک هیدروگراف واحد پارامتری را پیشنهاد می‌کند. نکته عمده مدل هیدروگراف واحد SCS، بدون بعد و تک‌اوجی بودن UH است.

$$U_p = C\frac{A}{T_p} \quad (۴)$$

[1] Soil Conservation Service (SCS)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1279]

$$T_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{lag} \quad (۵)$$

$$t_{lag} = \frac{L^{0.8}(S+1)^{0.7}}{1900y^{0.5}} \quad (۶)$$

$$t_c = 1.67 t_{lag} \quad (۷)$$

که در آن A مساحت حوضه و C ثابت تبدیل (۲/۸۰ در سیستم متریک و ۴۸۴ در سیستم انگلیسی)، Δt زمان تداوم بارش مازاد و t_{lag} زمان تأخیر برحسب ساعت، L طول بلندترین رودخانه حوضه بر حسب فوت، y شیب متوسط حوضه بر حسب درصد و S نمایه نگهداشت آب در داخل حوضه بر حسب اینچ هستند.

جهت روندیابی از روش روندیابی تأخیر[1] استفاده شد. در این روش هیدروگراف جریان خروجی درست همان هیدروگراف جریان ورودی است که با مقدار معینی تأخیر به خروجی منتقل شده است. همچنین دبی پایه با استفاده از روش جداسازی هیدروگراف[2] محاسبه شد.

مدل هواشناسی

داده‌های بارندگی از طریق انتخاب روش بارندگی و معرفی پارامترهای لازم در این بخش انجام خواهند شد. در نرم‌افزار HEC-HMS، نه روش برای انجام محاسبات بارندگی در حوضه‌ها وجود دارد. در این پژوهش از روش هایتوگراف سفارشی[3] استفاده شد. برای استفاده از این روش، لازم است ایستگاه‌های باران‌سنجی و مقادیر ثبت شده آن‌ها به برنامه معرفی شوند. در مناطقی که مقادیر بارش ایستگاه‌ها موجود نباشند، از روش وزن‌دهی به ایستگاه استفاده می‌شود. این روش کنترل کاملی از ایستگاه‌های بارندگی و وزن آن‌ها در حوضه را فراهم می‌کند. وزن هرکدام از ایستگاه‌ها باید به‌صورت دستی، به‌کمک روش‌های معمول مانند روش تیسن یا روش عکس فاصله، محاسبه گشته و به نرم‌افزار HEC-HMS معرفی شود (Mousavi Nadoushani & Danandeh Mehr, 2005). در این بخش، مقادیر دقیقه‌ای ثبت شده بارش در ایستگاه هواشناسی ثبات اداره ساری و همچنین مقادیر بارش هر ایستگاه با توجه به ایستگاه ثبات برحسب میلی‌متر وارد نرم‌افزار شد. در سری دوم محاسبات، از داده‌های مدل عددی هواشناسی برای هر چهار سیل استفاده گردید.

مشخصه‌های کنترل

مشخصه‌های کنترل در کنار مدل حوضه و مدل هواشناسی یکی دیگر از مؤلفه‌های لازم برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه‌ها در نرم‌افزار HEC-HMS هستند. تاریخ و ساعت شروع و اتمام تحلیل و همچنین دسته‌بندی زمان محاسبات (گام زمانی) در این بخش معرفی می‌شوند (Mousavi Nadoushani & Danandeh Mehr, 2005).

اجرای نرم‌افزار HEC-HMS

برای اجرای نرم‌افزار، نقشه حوضه و مشخصات فیزیوگرافی هر زیرحوضه در نرم‌افزار HEC-HMS بارگذاری شدند. ابتدا، مدل با استفاده از داده‌های بارش اخذ شده از شرکت آب منطقه‌ای مازندران واسنجی و صحت‌سنجی شد و سپس شبیه‌سازی با استفاده از داده‌های بارش مدل عددی هواشناسی انجام شد. نقشه مدل حوضه در نرم‌افزار HEC-HMS در شکل ۲ نشان داده شده است.

واسنجی و بهینه‌سازی

نتایج حاصل از مدل‌ها در تصمیم‌گیری‌ها و طرح‌های منابع آب و همچنین مسائل مربوط به سیل و امثال آن کاربرد فراوانی دارند. بنا بر این، همواره درجه اعتبار و صحت آن‌ها مورد سؤال است (Shokri *et al.*, 2012). پس از اجرای شبیه‌سازی در نرم‌افزار، عملیات واسنجی به‌منظور حداقل کردن اختلاف بین هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده انجام می‌شود. فرآیند واسنجی، تصحیح مکرر پارامترها و محاسبه بهترین برازش بین هیدروگراف‌های محاسبه شده و مشاهده شده است. در این پژوهش، ابتدا شبیه‌سازی با استفاده از پارامترهای موجود انجام و سپس جهت تعیین مقادیر بهینه پارامترها فرآیند واسنجی برای سه واقعه سیل انجام شد. با توجه به نه تابع هدف موجود در نرم‌افزار HEC-HMS، بهترین برازش میان هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده انتخاب شد. در نهایت، صحت‌سنجی (رویداد ۱۳۹۶/۰۹/۱۰) با توجه به پژوهش نوری و همکاران (Nouri *et al.,* 2013)، شکری کوچک و همکاران (Shokri *et al.*, 2012) و حیدری چناری و همکاران (Heidari Chenari *et al.*, 2022) با استفاده از مقادیر بهینه پارامترها انجام شد.

آنالیز حساسیت

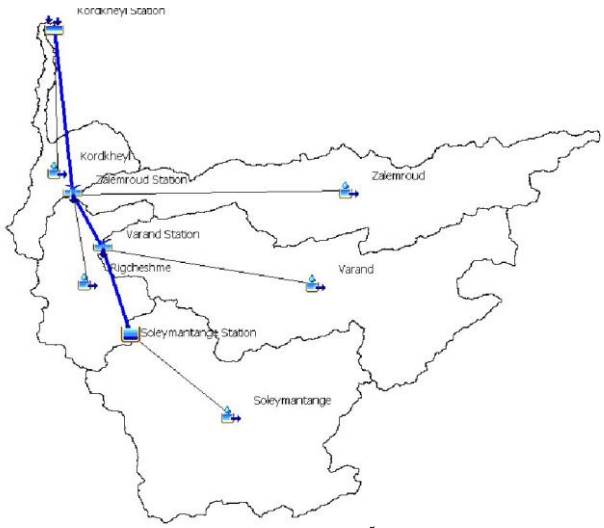
روش‌های جستجو مقادیر بهینه پارامترها را تخمین می‌زنند، اما این‌که کدام‌یک از این پارامترها تأثیر بیشتری بر روی حل نهایی دارند، در هاله‌ای از ابهام قرار دارد (Mousavi Nadoushani & Danandeh Mehr, 2005). میزان حساسیت در واقع بیان‌گر این تأثیر بر حل نهایی است. در پژوهش حاضر، پس از واسنجی، تغییرات دبی اوج بر اساس تغییرات ۲۰- درصد تا ۲۰+ درصد پارامترهای شماره منحنی، تلفات اولیه و زمان تأخیر محاسبه و مقدار حساسیت هر پارامتر نسبت به تابع هدف تخمین زده شدند. برای تعیین حساسیت نرم‌افزار نسبت به تغییر پارامترها از رابطه ۸ استفاده شد.

$$SEN = 100 * \frac{New - Old}{Old|PC|} \quad (۸)$$

که در آن SEN مقدار حساسیت تابع هدف حاصل از تغییر در اندازه پارامتر، New مقدار جدید خروجی نرم‌افزار حاصل از پارامتر جدید، Old خروجی اولیه نرم‌افزار و PC درصد تغییرات پارامتر هستند (Heidari Chenari *et al.*, 2022).

[1] Lag
[2] Hydrograph Separation
[3] Specified Hyetograph

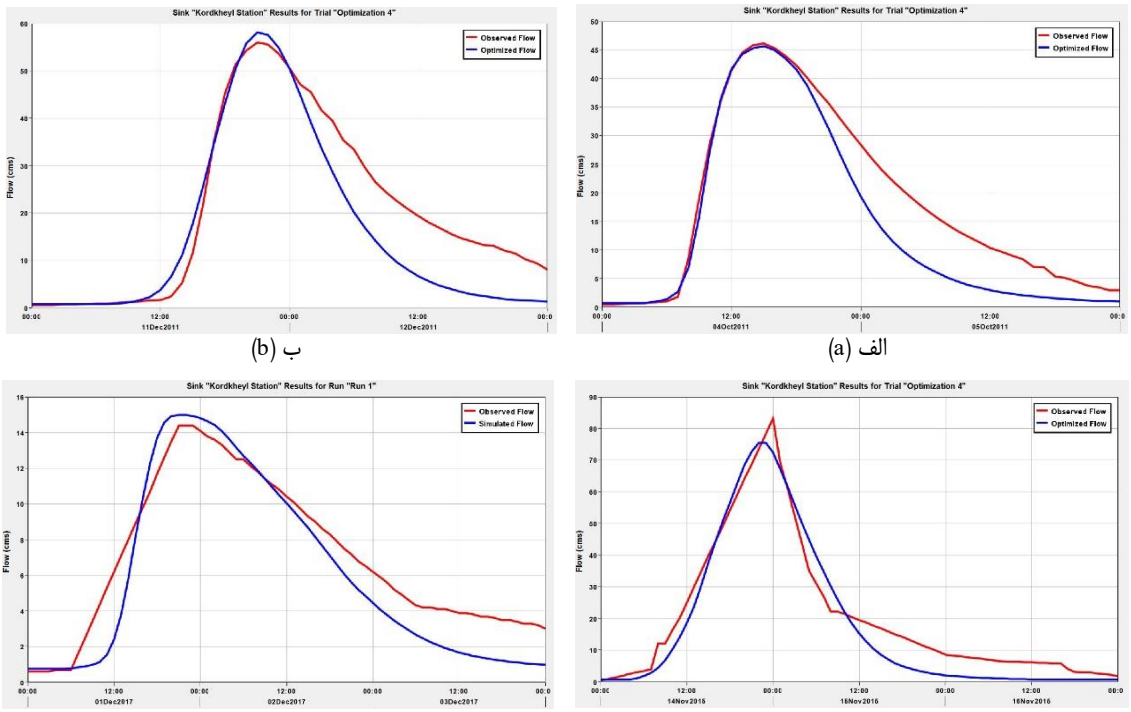
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1279]



شکل۲- مدل حوزه آبخیز تجن در نرم‌افزار HEC-HMS
Figure 2. The Tajan Basin Model in HEC-HMS

نتایج و بحث

نتایج مربوط به واسنجی وقایع ۱۳۹۰/۰۷/۱۲، ۱۳۹۰/۰۹/۲۰ و ۱۳۹۴/۰۸/۲۳ برای زیرحوضه کردخیل به‌عنوان خروجی حوضه در شکل ۳ آمده است. مقادیر بهینه دبی اوج و حجم جریان خروجی طی فرآیند واسنجی در رویداد ۱۳۹۰/۰۷/۱۲ در جدول ۲ آمده‌اند. با توجه به جدول، بهترین تابع هدف، توان متغیر وزنی دبی اوج بود که مقدار دبی اوج را با اختلاف ۰/۴ متر مکعب بر ثانیه برآورد نمود. همچنین ضریب نش–ساتکلیف پس از واسنجی برابر با ۰/۸۶۶ است. برای تأیید صحت نتایج به‌دست آمده در فرآیند واسنجی، صحت‌سنجی رویداد ۱۳۹۶/۰۹/۱۰ انجام شد. مقایسه هیدروگراف‌های مشاهده و محاسباتی در ایستگاه کردخیل در شکل ۳ آمده است. جهت مقایسه دبی‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد از آزمون t مستقل در نرم‌افزار SPSS استفاده شد. در آزمون t نیز، مقدار *P-value* برابر با ۰/۲۱۳ بود. نتایج حاکی از آن هستند که میان میانگین‌های دو گروه دبی‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.



(b) ب (a) الف

(d) د (c) ج

شکل۳- هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی الف)۱۳۹۰/۰۷/۱۲ ب)۱۳۹۰/۰۹/۲۰ ج)۱۳۹۴/۰۸/۲۳ د)۱۳۹۶/۰۹/۱۰
Figure 3. Observed and Calculated Hydrographs a)04Oct.2011 b)11Dec.2011 c)14Nov.2016 d)01Dec.2017

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1279]

جدول۲- مقادیر مشاهده‌ای و بهینه دبی اوج و حجم جریان خروجی طی فرآیند واسنجی (۱۳۹۰/۰۷/۱۲)
Table 2. Observed and optimized values of peak discharge and volume in the calibration process (04 Oct. 2011)

مقادیر مشاهده‌ای Observed Values		مقادیر بهینه Optimized Values		توابع هدف Objective Functions
حجم جریان خروجی Volume (1000 m^3)	دبی اوج Peak Discharge (m^3/s)	حجم جریان خروجی Volume (1000 m^3)	دبی اوج Peak Discharge (m^3/s)	
3194.7	46.1	1610.6	32.9	میانگین قدر مطلق باقیمانده‌ها Mean of Absolute Residuals
		1661.9	30.9	میانگین مربع باقیمانده‌ها Mean of Squared Residuals
		1787.6	42.0	انحراف معیار وزنی دبی اوج Peak-Weighted Root Mean Square Error
		2475.6	45.7	توان متغیر وزنی دبی اوج Peak-Weighted Variable Power
		1635.9	45.9	درصد خطای دبی اوج Percent Error in Peak Discharge
		1607.8	35.8	مجذور میانگین مربعات خطا Root Mean Square Error
		1850.1	40.9	مجموع قدر مطلق باقیمانده‌ها Sum of Absolute Residuals
		1752.9	32.7	مجموع مربع باقیمانده‌ها Sum of Squared Residuals
		1552.2	24.1	انحراف معیار وزنی زمان اوج Time-Weighted RMSE

آنالیز حساسیت

نتایج حاصل از آنالیز حساسیت پارامترهای شماره‌ی منحنی، تلفات اولیه و زمان تأخیر در جدول ۳ آمده‌اند. با توجه به نتایج، پارامترهای تلفات اولیه و شماره‌ی منحنی بیشترین تأثیر را دارند.

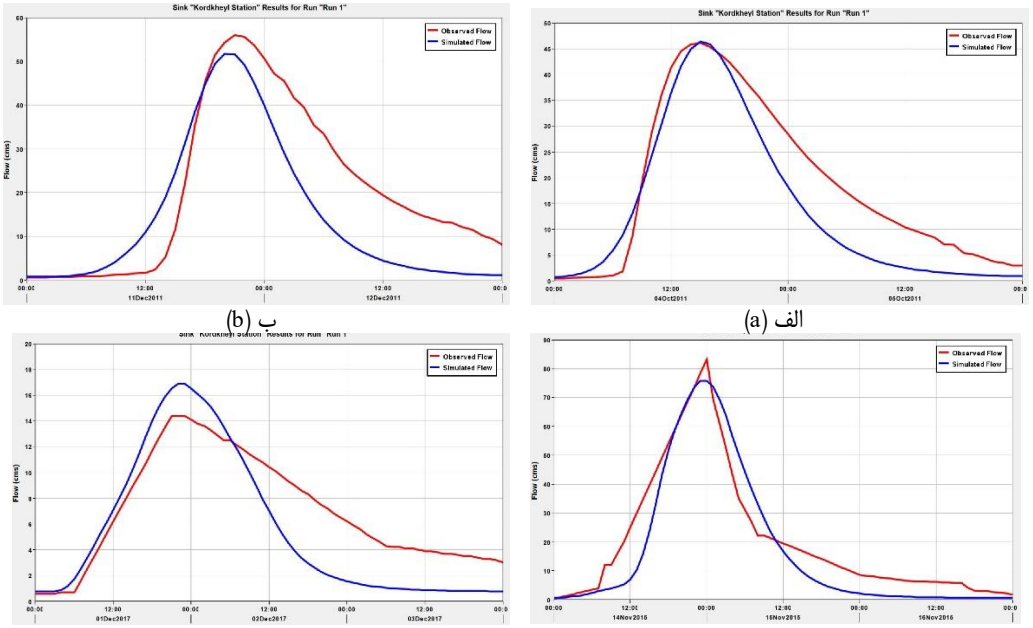
جدول ۳- نتایج آنالیز حساسیت
Table 3. Sensitivity analysis results

زمان تأخیر (دقیقه) Lag time (min)			شماره منحنی Curve Number			تلفات اولیه (میلیمتر) Initial Abstraction (mm)			تغییرات (درصد) Changes (%)
حساسیت Sensitivity	دبی اوج Peak Discharge (m^3/s)	مقدار پارامتر Parameter Value (min)	حساسیت Sensitivity	دبی اوج Peak Discharge (m^3/s)	مقدار پارامتر Parameter Value (min)	حساسیت Sensitivity	دبی اوج Peak Discharge (m^3/s)	مقدار پارامتر Parameter Value (min)	
0.53	61.60	257.06	-1.41	40.10	62.82	0.33	59.50	11.11	-20
0.52	60.20	273.13	-1.38	44.20	66.74	0.41	59.20	11.81	-15
0.73	59.90	289.19	-1.34	48.30	70.67	0.50	58.60	12.50	-10
0.54	57.30	305.26	-0.79	53.60	74.59	0.82	58.10	13.19	-5
0.00	55.80	321.33	0.00	55.80	78.52	0.00	55.80	13.89	0
-1.39	51.90	337.39	0.82	58.10	82.45	-2.58	48.60	14.58	5
-1.34	48.30	353.46	1.20	62.50	86.37	-1.68	46.40	15.28	10
-1.12	46.40	369.53	1.33	67.00	90.29	-1.25	45.30	15.97	15
-1.10	43.50	385.59	1.61	73.80	94.22	-0.96	45.10	16.67	20

شبیه‌سازی با داده‌های مدل عددی GFS

پس از اجرای نرم‌افزار با استفاده از داده‌های شرکت آب منطقه‌ای مازندران، نرم‌افزار HEC-HMS جهت شبیه‌سازی با داده بارش مدل عددی هواشناسی GFS در رویدادهای مشابه آماده شد. مقادیر دبی اوج و حجم جریان خروجی پس از شبیه‌سازی در جدول ۴ و هیدروگراف‌های مشاهده و شبیه‌سازی شده در ایستگاه کردخیل به‌عنوان خروجی حوضه در شکل ۴ آمده‌اند. در این پژوهش، برای شناسایی الگوی پراکندگی و بررسی میزان همبستگی، نمودار پراکندگی مقادیر شبیه‌سازی شده در برابر مقادیر مشاهداتی رسم شد. با توجه به شکل ۵، همبستگی بالایی میان داده‌های مشاهده شده و واسنجی شده وجود دارد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1279]



(b) ب (a) الف

(d) د (c) ج

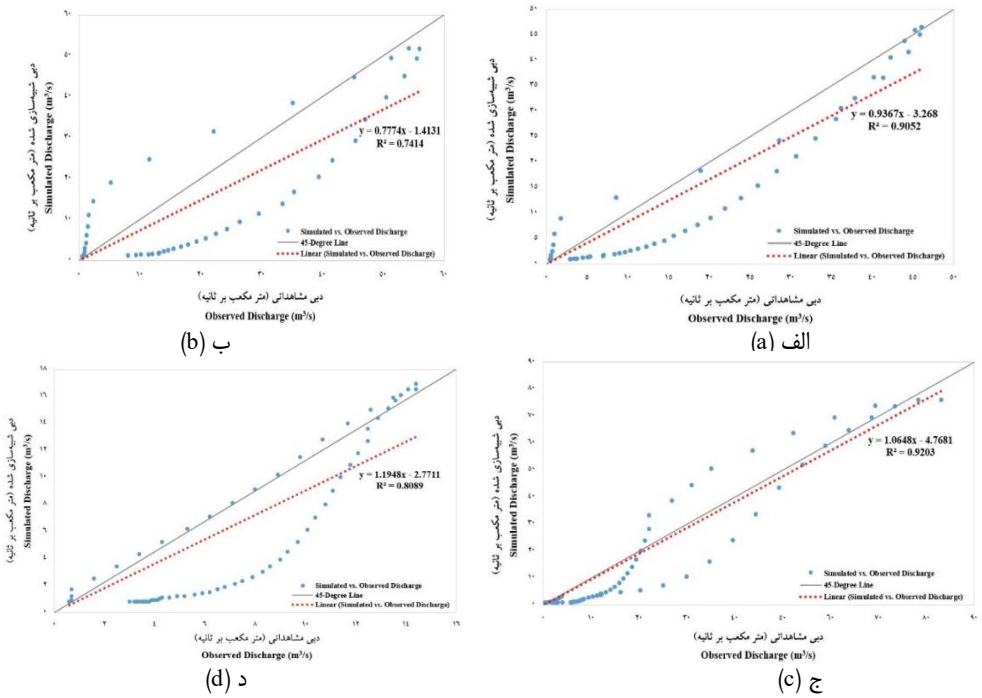
شکل۴- هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده الف)۱۳۹۰/۰۷/۱۲ ب)۱۳۹۰/۰۹/۲۰ ج)۱۳۹۴/۰۸/۲۳ د)۱۳۹۶/۰۹/۱۰

Figure 4. Observed and Simulated Hydrographs a) 04 Oct. 2011 b) 11 Dec. 2011 c) 14 Nov. 2016 d) 01 Dec. 2017

جدول۴- مقایسه مقدار دبی اوج و حجم جریان خروجی

Table 4. Comparison of peak discharge and volume

حجم جریان خروجی (هزار متر مکعب) Volume (1000 m^3)		دبی اوج (متر مکعب بر ثانیه) Peak discharge (m^3/s)		رویداد Event
شبیه‌سازی شده Simulated	مشاهداتی Observed	شبیه‌سازی شده Simulated	مشاهداتی Observed	
2418.2	3194.7	46.4	46.1	04Oct.2011
2542.3	3581.1	51.8	56.0	11Dec.2011
4493.9	5400.2	75.9	83.2	14Nov.2016
1450.5	1820.9	16.9	14.4	01Dec.2017



(b) ب (a) الف

(d) د (c) ج

شکل۵- نمودار پراکندگی دبی شبیه‌سازی شده و مشاهداتی الف) ۱۳۹۰/۰۷/۱۲ ب)۱۳۹۰/۰۹/۲۰ ج)۱۳۹۴/۰۸/۲۳ د)۱۳۹۶/۰۹/۱۰

Figure 5. Scatter plots of Simulated and Observed Discharge a) 04 Oct. 2011 b) 11 Dec. 2011 c) 14 Nov. 2016 d) 01 Dec. 2017

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1279]

با توجه به نتایج، در مرحله صحت‌سنجی با استفاده از آزمون t مشخص شد که تفاوت معنی‌داری میان مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای دبی اوج وجود نداشت که با نتایج حیدری چناری و همکاران مطابقت دارد (Heidari Chenari *et al.*, 2022). همچنین شکری کوچک و همکاران به تخمین آبنمود سیلاب حوزه آبخیز ایدنک با استفاده از نرم‌افزار HEC-HMS پرداختند. نتایج تحقیق ایشان حاکی از کارایی بالای نرم‌افزار HEC-HMS در برآورد رواناب و دبی اوج سیلاب است (Shokri *et al.*, 2012) که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارند. جهت ارزیابی حساسیت نرم‌افزار HEC-HMS نسبت به پارامترهای واسنجی شده، تحلیل حساسیت انجام شد. با توجه به نتایج، پارامترهای تلفات اولیه و شماره منحنی بیشترین حساسیت را دارا بودند که نتایج مطالعه حاضر با نتایج پژوهش اسدی و همکاران (Asadi *et al.*, 2020) مطابقت دارند. در گام بعدی، شبیه‌سازی چهار واقعه سیلابی با استفاده از داده‌های بارش مدل عددی هواشناسی انجام شد. نتایج نشان دادند که میان هیدروگراف‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده توسط داده‌های مدل عددی هواشناسی تفاوت معنی‌داری (در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد) وجود نداشت. بنابراین می‌توان گفت که نرم‌افزار HEC-HMS نتایج قابل قبولی در پیش‌بینی دبی اوج سیل ارائه می‌دهد.

قدردانی

پژوهش حاضر با حمایت مادی و معنوی حوزه معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به عنوان بخشی از فعالیت‌های انجام شده در قالب هسته دانشجویی پژوهش محور با عنوان "مطالعات سیلاب در شهر ساری" و رساله دکتری در دانشگاه مذکور انجام شده است که به‌این‌وسیله مراتب تشکر و قدردانی نویسندگان اعلام می‌شود.

References

Afifi, M. E. (2020). Simulation of rainfall-runoff and flood potential using model HEC-HMS and Fuzzy Logic Case Study of Rudbal Watershed in Fars Province. *Physical Geography Quarterly*, 12(46*)*, 111-127. [In Persian]

Asadi, M., Jabbari, I., & Hesadi, H. (2020). Flood Modeling in Arid and Semi Arid Areas Using HEC-HMS Model (Case Study: Esteghlal Minab Basin). *Quantitative Geomorphological Research*, 8(3), 17-33. [In Persian]

Azadi, M., Ghayoor, H., Masoodian, A., & Nouri, H. (2013). Investigation on Synoptic-Dynamic patterns of Heavy and Convective or No convective Precipitation Events in the Southern Coasts of Caspian Sea Using WRF Model. *Geographical Research*, 28(109), 215-238. [In Persian]

Dehban, H., Imani, S., Farrokhnia, A., & Roozbahani, R. (2017). Evaluation of daily precipitation results of GFS model for issuing flood early warnings; Case study: Lorestan province, Fifth Comprehensive *Conference on Flood Management and Engineering*, Tehran, https://civilica.com/doc/741649

de la Fuente, A., Meruane, V., & Meruane, C. (2019). Hydrological early warning system based on a deep learning runoff model coupled with a meteorological forecast. *Water*, 11(9), 1808.

Eslami, H., Kamali Ardakani, D., Rezaee, N., & Eivazi, M. (2014). Flood Forecasting of Bakhtiari River in the construction site of Bakhtiari dam, *3th Dam and Tunnel Conference and Exhibition*, 13. [In Persian].

Goodarzi, M. R., Poorattar, M. J., Vazirian, M., & Talebi, A. (2024). Evaluation of a weather forecasting model and HEC-HMS for flood forecasting: case study of Talesh catchment. *Applied Water Science*, 14(2), 34.

Heidari Chenari, F., Fazloula, R., & Nikzad Tehrani, E. (2022). Calibration and Evaluation of HEC-HMS Hydrological Model Parameters in Simulation of Single Rainfall-Runoff Events (Case Study: Tajan Watershed). *Journal of Watershed Management Research*, 13(26), 69-81. [In Persian]

Heidary Beni, M., Shiasi, M., & Mobini, S. (2017). Validation of GFS model in forecasting climatic elements (case study: Shahrekord station). *Second National Conference on Hydrology of Iran*. 10 [In Persian].

Imani Amirabad, S., Farokhnia, A., Dehban, H., Hasanli, A., Javadi, F., & Najafi, M. (2019). Evaluation of the performance of WRF and GFS forecasting models in forecasting the recent heavy rains of the country. *7th Comprehensive Conference on Flood Engineering and Management*, 19. [In Persian]

Javanmardghassab, M., Eslami, H., Rezaee, N., & Eivazi, M. (2017). Evaluation of GFS and WRF rainfall forecasting models in Gavshan Watershed. *5th Flood Management and Engineering Conference*, 11. [In Persian]

Lien, G.-Y., Kalnay, E., Miyoshi, T., & Huffman, G. J. (2016). Statistical properties of global precipitation in the NCEP GFS model and TMPA observations for data assimilation. *Monthly Weather Review*, 144*(2)*, 663-679.

Mahmoudzadeh, H., & Bakoi, M. (2018). Flood zoning using fuzzy analysis (case study: Sari city). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 7(18), 51-68. [In Persian]

Mazidi, A., & Kooshki, S. (2015). Simulation of rainfall-runoff process and estimate of flood with HEC-HMSModel in Khorramabad catchment area. *Geography and Development*, 13(41), 1-10. [In Persian]

Moatamednia, M., Nohegar, A., Malekian, A., Saberi, M., & Karimi, K. (2017). Runoff prediction using intelligent models. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 4(4), 955-968. [In Persian]

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1279]

Mousavi Nadoushani, S., & Danandeh Mehr, A. (2005). Hydrologic Modelling System (HEC-HMS). Dibagaran Tehran Cultural-Art Institute, 295. [In Persian]

Mukhopadhyay, P., Prasad, V., Krishna, R. P. M., Deshpande, M., Ganai, M., Tirkey, S., Sarkar, S., Goswami, T., Johny, C., & Roy, K. (2019). Performance of a very high-resolution global forecast system model (GFS T1534) at 12.5 km over the Indian region during the 2016–2017 monsoon seasons. *Journal of Earth System Science*, 128, 1-18.

Nodehi, S., & Moghaddas, N. H. (2008). Investigating the effects of Shahid Rajaei Dam on the Sari-Neka plain aquifer. *Iranian Conference of Engineering Geology and the Environment*, 10. [In Persian]

Nohegar, A., Salehi, E., Alavi Naeini, M., & Alavi Naeini, A. (2019). Prioritizing Different Methods for Participation and Education of People to Predict and Warning Flood in Iran. *Environmental Management Hazards*, 6(3), 259-269. [In Persian]

Nouri, F., Behmanesh, J., Mohammadnezhad, B. A., & Rezaei, H. (2013). Evaluation of WMS/HEC-HMS model in flood forecasting of Ghorve watershed. *Journal of Water and Soil Conservation*, 19(4), 201-210.

Rao, G. V., Reddy, K. V., Sridhar, V., Srinivasan, R., Umamahesh, N., & Pratap, D. (2022). Evaluation of NCEP-GFS-based Rainfall forecasts over the Nagavali and Vamsadhara basins in India. *Atmospheric Research*, 278, 106326.

Shirmohammadi Aliakbarkhani, Z., Saberali, S. F., & Nastari Nasrabadi, H. (2019). Evaluation and Zoning of GPM and TRMM 3B42 V7 Satellite Rainfall Data in Northeast Iran. *Journal of Meteorology and Atmospheric Science*, 2(2), 179-191. [In Persian]

Shokri, S., Behnia, A., Radmanesh, F., & Akhond Ali, A. (2012). Watershed flood hydrograph estimation using HEC-HMS and geographic information system (Case study: Idanak watershed). *Journal of Watershed Management Research*, 3(5), 63-80. [In Persian]

Sridevi, C., Kumar Singh, K., Suneetha, P., Reval Durai, V., & Kumar, A. (2018). Vještina prognoze oborine iznad Indije tijekom ljetnog monsuna 2015. GFS modelom. *Geofizika*, 35(1), 40-52.

Tassew, B. G., Belete, M. A., & Miegel, K. (2019). Application of HEC-HMS model for flow simulation in the Lake Tana basin: The case of Gilgel Abay catchment, upper Blue Nile basin, Ethiopia. *Hydrology*, 6(1), 21.

Yuan, F., Zhang, L., Soe, K. M. W., Ren, L., Zhao, C., Zhu, Y., Jiang, S., & Liu, Y. (2019). Applications of TRMM-and GPM-era multiple-satellite precipitation products for flood simulations at sub-daily scales in a sparsely gauged watershed in Myanmar. *Remote Sensing*, 11(2), 140.

Yue, H., Gebremichael, M., & Nourani, V. (2022). Performance of the Global Forecast System's medium-range precipitation forecasts in the Niger river basin using multiple satellite-based products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 26(1), 167-181.

Wang, H., Hu, Y., Guo, Y., Wu, Z., & Yan, D. (2022). Urban flood forecasting based on the coupling of numerical weather model and stormwater model: A case study of Zhengzhou city. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 39, 100985.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1279]