Gonbad Kavous University
Journal of New Approaches in
Water Engineering and Environment
Volume 1, Issue 1

Evaluating the performance of rainfall forecasting models in estimating discharge and flood volume with the developed NAM model (area of study: West basin)

Hamidreza Eslami[1*], Saeid Jamali[2], Reza Ayoubikia[3], Kamyab Eslami[4]

[1]CEO Payeshgar Tadbir Afzar, Tehran, Iran
[2]Assistant Professor, Central Tehran Branch, Faculty of Civil Engineering and Land Resources, Islamic Azad University, Tehran, Iran
[3]Water Resources Expert - Payeshgar Tadbir Afzar Company, Tehran, Iran
[4]Software Developer Expert - Payeshgar Tadbir Afzar Company, Tehran, Iran
Received: 09.03.2022; Accepted: 31.05.2022

Abstract

Flood assessment and forecasting its potential volume is one of the main problems of catchment managers, which needs more cooperation from flood forecasters, users, managers and water users in the region to prevent financial and human losses. The purpose of this study is to provide an appropriate solution to establish a flood forecasting system based on the cooperation of model developers, users and managers in order to improve management and reduce flood damage. In this study, to predict the flow in 5 basins of Karun 4 Dam, Seymareh Dam, Rudbar Dam, Sardasht Dam and Azad during seven years, meteorological maps of two models, COLA and WRF, were used to predict precipitation. The developed NAM simulation model led to forecasting floods in the coming days of the basin and reducing financial and human losses. The results of the reports indicate that 70% of the forecasts are in the observational flood range.

Keywords: Flood Prediction, Extended NAM, COLA Precipitation, WRF Precipitation

[*] . Corresponding author, Email:eslami@pta.ir

دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط‌زیست"
دوره اول، شماره اول
http:// Nawee.gonbad.ac.ir

ارزیابی عملکرد مدل‌های پیش‌بینی بارش در برآورد دبی و حجم سیلاب با مدل NAM توسعه یافته (محدوده مطالعات:حوضه‌های غرب)

حمیدرضا اسلامی[1*]، سعید جمالی[2]، رضا ایوبی‌کیا[3]، کامیاب اسلامی[4]

[1]مدیر عامل شرکت پایشگر تدبیر افزار (دانش بنیان)، تهران، ایران
[2]استادیار واحد تهران مرکزی، دانشکده مهندسی عمران و منابع زمین، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
[3]کارشناس بخش منابع آب - شرکت پایشگر تدبیر افزار (دانش بنیان)، تهران، ایران
[4]کارشناس بخش نرم افزار– شرکت پایشگر تدبیر افزار (دانش بنیان)، تهران، ایران
تاریخ دریافت:18 /12 /1400؛ تاریخ پذیرش:10 /03 /1401

چکیده

بررسی سیلاب و پیش‌بینی حجم احتمالی آن یکی از مشکلات اساسی مدیران حوضه آبریز است که برای جلوگیری از خسارات مالی و جانی نیاز به همکاری بیش‌تر توسعه‌دهندگان مدل پیش بینی سیلاب، کاربران آن، مدیران و بهره برداران آب در منطقه دارد. هدف از پژوهش حاضر، ارائه راهکاری مناسب به منظور برقراری سامانه پیش‌بینی سیل مبتنی بر همکاری توسعه‌دهندگان مدل، کاربران و مدیران در راستای بهبود مدیریت و کاهش آسیب ناشی از سیلاب است. در این پژوهش، برای پیش‌بینی جریان در 5 حوضه کارون4، سیمره، رودبار، سردشت و آزاد طی هفت سال از نقشه‌های هواشناسی دو مدل پیش بینی بارش WRF COLA برای پیش‌بینی بارش استفاده گردید که در نهایت خروجی آن در مدل شبیه‌سازی NAM توسعه داده شده منجر به پیش‌بینی جریان و سیلاب در روزهای آینده حوضه و کاهش خسارت مالی و جانی شد. نتایج حاصل از گزارش‌ها بیانگر قرارگیری 70 درصد پیش‌بینی‌ها در بازه سیلاب مشاهداتی است.

کلمات کلیدی: پیش‌بینی سیلاب، NAM توسعه داده شده ،پیش بینی بارش COLA، پیش بینی بارش WRF

*. نویسنده مسئول، Email: eslami@pta.ir

مقدمه

سیلاب به عنوان یکی از بلاهای طبیعی در سطح جهان محسوب می‌شود که شناخت هرچه بیشتر آن برای پیش-بینی و کمک به سامانه‌های هشدار دهنده سیل الزامی است (Hoseynzade et al., 2013). اندازه و تکرار سیلاب در هر مکان بستگی به عوامل متعددی دارد که حجم و زمان رواناب سطحی حوضه بالادست و شرایط جریان رودخانه از مهم‌ترین آنها است (Qobadian, 2008). ویژگی‌های فیزیکی، هیدرولوژیکی حوضه مانند بارش، ذخیره، تبخیر و تعرق، نفوذ پذیری و اقدامات عوامل انسانی منجر به تغییر در میزان تشدید سیلاب و خسارات وارده می‌شود (Kafle et al., 2006). شناسایی این عوامل و دسته‌بندی آن‌ها در هر حوضه، از اصول اولیه مدیریت سیلاب است (Vahabi, 2005). با افزایش کاربرد رایانه‌ها در انجام محاسبات پیچیده، مدل‌های مختلفی از اوایل دهه‌ی 1960 توسعه داده شد تا فرایندهای بارش-رواناب را شبیه‌سازی کنند. مدل‌های هیدرولوژیکی اجزای مختلف فرآیند بارش-رواناب را تشریح می‌کنند. مدل، نمایی از کل سامانه حوضه و واقعیت‌های موجود را نشان می‌دهد. مدل‌های هیدرولوژیکی ابزار مهمی در مطالعه اقلیم و فرآیندهای هیدرولوژیکی حوضه هستند که توانایی شبیه‌سازی فرآیندهای سطح زمین را برای بهبود مدیریت منابع آب دارند (Dovonec, 2000). در برنامه‌ریزی و توسعه منابع آب، اندازه گیری منابع آب موجود در سیستم رودخانه ضروری است. در هند، شبکه سنجش رودخانه کافی نیست و دسترسی به داده ها بسیار ضعیف است. در چنین شرایطی، بارش با ایجاد رابطه بین بارندگی و رواناب یا با استفاده از مدل مناسب رواناب، تبدیل به تولید رواناب می‌شود. مدل بارش-رواناب یک مدل ریاضی است که حوضه آبریز را توصیف می‌کند و بین بارش و رواناب ارتباط برقرار می‌کند. به طور معمول، یک مدل رواناب بارندگی هنگامی که بارش به عنوان ورودی داده می‌شود، هیدروگراف رواناب سطحی را تولید می‌کند (Das, 2012). در اکثر مکان‌ها اطلاعات بارندگی وجود دارد اما داده‌های رواناب در دسترس نیست. مدل‌سازی بارش- رواناب اطلاعاتی را برای تصمیم‌گیری در مورد سیاست‌های مدیریت آب ارائه می‌دهد (Chander and Prasad, 2014). یکی از کارآترین مدل‌های بارش- رواناب، مدل مفهومی و یکپارچه NAM است. از ویژگی های این مدل می‌توان به دقت و سرعت پردازش بالا در کنار استفاده از پارامترهای اولیه هواشناسی اشاره کرد. مدل‌های هیدرولوژیکی برای پیش‌بینی دبی رودخانه نیاز به اطلاعات و داده‌های هواشناسی دارند (Goharnejad et al., 2017). مدل هیدرولوژیکی NAM فرآیندهای بارش-رواناب را در مقیاس حوضه شبیه‌سازی می‌کند. NAM بخشی از ماژول بارندگی-رواناب (RR) سیستم مدل سازی رودخانه را تشکیل می‌دهد.

مدل هیدرولوژیکی NAM به طور گسترده در بسیاری از حوضه‌های آبریز با رژیم‌های مختلف هیدرولوژیکی و شرایط آب و هوایی مختلف در سراسر جهان استفاده شده است (Madsen, 2000). در ارتباط با برقراری سامانه‌های هشدار سیل و پیش¬بینی آن در کشورهای مختلف پژوهش‌های مختلفی صورت گرفته است تا حد زیادی جلوگیری از خسارت مالی و جانی به همراه دارد که در ادامه مطالعات انجام شده برای پیش‌بینی حجم سیلاب و کاهش خسارت اشاره می‌شود.

ورنر و همکاران (Werneret al., 2016) گزارشی در مورد پتانسیل استفاده از تأیید اطلاعات پیش‌بینی هیدرولوژیکی با همکاری دیگر ذینفعان از پیش‌بینی سیلاب برای بهبود تصمیم گیری در فرآیند پیش‌بینی و کاهش خسارات ارائه نمودند. مدل‌های عددی در کنار سایر امکانات، مانند تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های راداری در افزایش کیفیت پیش‌بینی‌ها نقش موثری داشته و در سال-های گذشته مورد توجه قرار گرفته‌اند. از جمله روش‌های مورد توجه پیش‌بینی‌کنندگان می‌توان به مدل WRF[1] اشاره کرد این مدل با همکاری سازمان ملی پژوهش جوی NCAR[2]و حدود 150 مؤسسه و دانشگاه آمریکایی توسعه یافته است (Pennelly et al., 2014).

رئوفی و همکاران (Rauofi et al., 2013) با استفاده از مدل شبیه‌سازی NAM رواناب حاصل از ذوب برف، آب معادل برف و مساحت سطح پوشش برف را تعیین نموده

[1] Weather Research and Forecasting

[2] National Center for Atmospheric Research

که در این پژوهش با انتخاب آستانه دمایی مناسب و نمودند. نتایج کالیبراسیون و اعتبارسنجی نشان می‌دهد که مدل آن‌ها قادر به تعریف روند رواناب بارندگی حوضه و در نتیجه پیش¬بینی رواناب روزانه است. در نهایت نتایج مدل توسعه یافته برای پیش‌بینی رواناب در حوضه آرپا نشان می-دهد که توانایی توسعه و مدیریت منابع آب یکپارچه در مقیاس حوضه وجود دارد.

سجادی و همکاران (Sajadi et al., 2020) پژوهشی با هدف ارزیابی عملکرد مدل بارش رواناب هیدرولوژیکی مفهومی MIKE11 NAM در شبیه‌سازی میزان جریان روزانه در حوضه آبریز گنبد انجام دادند. مدل NAM با استفاده از داده‌های جریان سه ایستگاه هیدرومتری حوضه آبریز گنبد کالیبره و اعتبارسنجی شد. بر اساس نتایج، مدل MIKE 11 NAM توانایی شبیه‌سازی میانگین جریان روزانه و میانگین حجم جریان را دارد. لولیانا و پاتل (Loliyana and Patel, 2015) از مدل MIKE11 NAM درشبیه‌سازی رواناب جریان حوضه پورنا بر اساس بهینه‌سازی درصد تعادل آب (WBL ٪) و خطای میانگین مربع ریشه (RMSE) استفاده نمودند. عملکرد مدل با استفاده از شاخص‌های عملکرد آماری ارزیابی شده و نتایج نشان داد که مدل کالیبره شده می‌تواند هیدروگراف‌ها را به طور رضایت بخشی برای سالانه، ماهانه و روزانه شبیه‌سازی کند.

به تخلیه مشاهده شده تأیید شده است. ارتباط بین تأیید پیش‌بینی هیدرولوژیکی، یعنی روند ارزیابی کیفیت پیش-بینی‌های هیدرولوژیکی و بهبود سامانه‌های پیش‌بینی و تصمیمات کاربران با دقت و کیفیت بالایی بررسی شد. ارزیابی کیفیت، تناسب استفاده از پیش‌بینی‌های ذینفعان تحت تأثیر مانند مدیران منابع طبیعی و افراد در معرض خطر را ارزیابی می‌کند. تأیید بر جنبه‌های کیفیت متمرکز است. دلایل تأیید در سه دسته اداری، اقتصادی و علمی قرار می-گیرد (Welles et al., 2007). پس از آگاهی از تأیید و کاربرد آن، کاربران میل شدیدی را برای تأیید اطلاعات پیش‌بینی شده نشان می‌دهند. گزارش از عملکرد پیش‌بینی گذشته به عنوان یکی ازبالاترین اولویت توسعه در نظرسنجی کاربران و اعضای آژانس‌های پیش‌بینی هیدرولوژی کشورهای عضو اتحادیه اروپا و سامانه آگاهی سیل اروپا در حال افزایش و توسعه در مناطق است (Hartmann et al ., 1999). با توجه رده‌بندی

ارتفاعی حوضه، سطح پوشش برف در هر رده ارتفاعی تعیین شد که نتایج مطلوبیت شبیه‌سازی ذوب برف را نمایش می‌دهد.

آهروار و آهروار (Aherwar and Aherwar, 2019) دو مدل مفهومی SCS-CN و NAM را برای مطالعه رفتار هیدرولوژیکی رودخانه توسعه دادند. مقادیر شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهده شده که تناسب خوبی را نشان می دهد، مقایسه شد. مطالعه مقایسه‌ای دو مدل نشان می‌دهد که مدل NAM بر مدل SCS-CN برتری بیش‌تری دارد و برای مطالعه هیدرولوژیکی حوضه رودخانه شیپرا در مادیا پرادش در هند مناسب است. حافظ پرست و همکاران Hafezparast (et al., 2013) پس از کالیبره مدل NAM با داده‌های جریان اندازه‌گیری شده به بررسی پیک و جریان ماهانه حوضه رودخانه ساریسو در شمال غرب ایران پرداختند. نتایج پیک جریان شبیه‌سازی شده در ماه های فوریه در سال 2003 ، 2006 و 2007 با مقادیر تقریبی 6,32 ، 9,35 و 6,13 متر مکعب در متر مربع به ترتیب رخ می دهد. R2 به دست آمده در طول این مطالعه 0,74 است. کومار و همکاران Kumar) (et al., 2019 از روش هیدرولوژیکی مفهومی MIKE 11 NAM برای توسعه یک مدل شبیه‌سازی رواناب برای حوضه آرپا حوضه رودخانه سئوناس در چاتیسگر هند استفاده آردو و همکاران (Aredo et al., 2021) از مدل MIKE 11 NAM در حوضه آبریز شایا در اتیوپی استفاده نموده و نه پارامتر مدل با استفاده از بارندگی مشاهده شده، تبخیر و جریان مشاهده شده در طول کالیبراسیون (1990-2008) مدل بهینه شد. اعتبارسنجی مدل با استفاده از داده‌های مستقل برای دوره 2009 تا 2015 انجام شد. در نهایت نتایج نشان داد که یک رابطه بسیار خوب بین رواناب مشاهده شده و محاسبه شده وجود دارد. جایاپادما و همکاران Jayapadma (et al.,2018) در مطالعه ای بر تعیین عملکرد مدل‌های مفهومی بارش رواناب MIKE 11 NAM در شبیه‌سازی پارامترهای هیدرولوژیکی حوضه رودخانه جین، سریلانکا با استفاده از داده‌های میدانی محلی و داده‌های حوضه متمرکز شدند. رواناب شبیه‌سازی شده نشان دهنده رابطه مستقیم با دبی مشاهده شده است که با کارایی معقول و دقیق برای کارایی نش-ساتکلیف و نسبت حجم رواناب شبیه‌سازی شده

به اینکه پیچیدگی آن بسیار کم‌تر از سرمایه‌گذاری در بهبود مدل فیزیکی است (Pagano, 2014).

ضرورت استفاده از مدل‌های منطقه‌ای پیش‌بینی عددی بارش برای صدور پیش‌بینی سیلاب امری الزامی است، به طوری‌که هر ساله این مدل‌ها در جهان بهبود یافته و متنوع‌تر می‌شوند. در کشور ایران استفاده عملیاتی و تحقیقاتی از مدل‌های منطقه‌ای پیش‌بینی عددی وضع هوا در چند سال اخیر متداول شده است. با وجود این در کشور هنوز پژوهشی برای راستی آزمایی و تایید این پیش‌بینی‌ها با توجه به نتایج حاصل و تصمیم مدیران و کاربران استفاده کننده از پیش‌بینی های ارائه شده صورت نگرفته است و وجود منبعی موثق برای آگاهی از سیلاب‌های آینده برای کاهش زیان و خسارت‌های وارده بسیار حائز اهمیت است. لذا در این پژوهش به بررسی و مقایسه میان نتایج سیلاب‌های حاصل از مدل‌های COLA و WRF طی سال‌های آبی 00-1393 در حوضه آبریز سدهای در حال بهره‌برداری کارون4، سیمره، رودبار، آزاد و سردشت پرداخته شد.

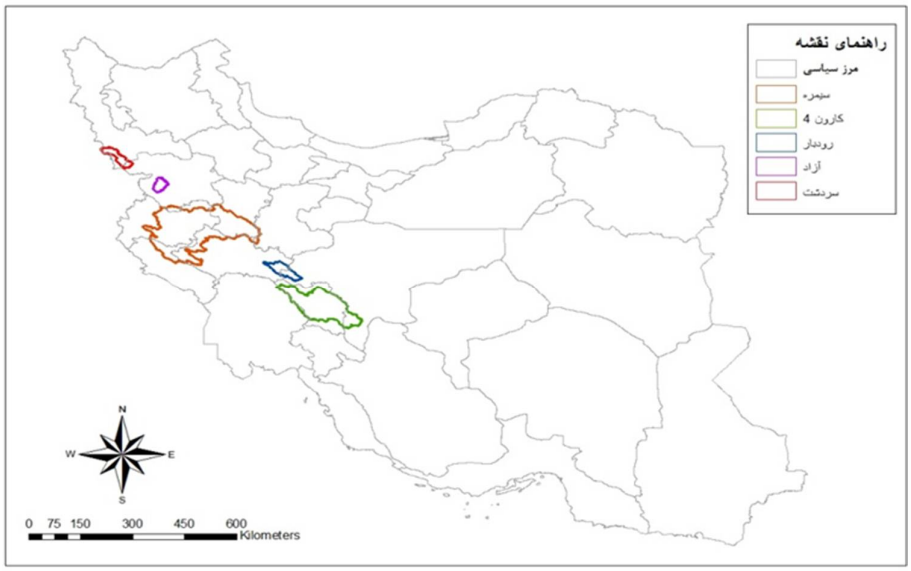
مواد و روش‌ها

مدل پیش‌بینی بارش و رواناب

پس از انتخاب دو مدل COLA و WRF برای استفاده از پیش‌بینی بارش نیاز به نرم‌افزاری برای شبیه‌سازی رواناب داشته که در این پژوهش از نرم افزار تخصصی شرکت دانش بنیان پایشگر تدبیر افزارکه بر اساس مدل NAM پایه‌ریزی و توسعه داده شده استفاده شده است. مدل‌های هیدرولوژیکی به طور معمول حاوی قوانینی کلی هستند که مربوط به بارش، ذوب برف، و تبخیر در رواناب است. این مدل یک مدل ذخیره‌ای است که به صورت کمی شبیه‌سازی می‌نماید و با استفاده از میزان آب موجود در لایه‌های مختلف زمین شروع به شبیه‌سازی می‌کند. این مدل از چهار مخزن و سه جریان که با هم در ارتباط هستند تشکیل شده که 4 مخزن عبارتند از: 1- مخزن برف 2- مخزن زیرین لایه خاک 3- مخزن سطح خاک 4- مخزن آب زیزمینی موجود در حوضه و سه جریان مورد استفاده نیز شامل جریان سطحی، زیر سطحی و جریان آب زیرزمینی است. از طرفی مدل نیاز به داده‌های هواشناسی مانند بارش، تبخیر-تعرق و دما داشته که پس از اجرای آن جریان خروجی به صورت سری زمانی روزانه برای کاربر نمایش داده می‌شود. در مدل NAM توسعه داده شده در مجموعه نرم افزاری سیلابنما از کالیبراسیون خودکار برای پارامترهای مدل با الگوریتم SCE استفاده شد که نتایج نسبتاً مطلوبی حاصل شد (Eslami et al., 2003). همچنین این مدل با استفاده از پارامترهای مشاهده شده برگرفته از ویژگی‌های حوضه آبریز و پارامترهای مفهومی است که با داده های مشاهده شده محلی تنظیم می شوند. در واقع این مدل از کالیبراسیون زمان واقعی برای پیش‌بینی دادهای شش روزآینده استفاده می‌کند و با استفاده از جریان مشاهداتی و داده‌های هواشناسی اقدام به محاسبه و پیش¬بینی مقادیر دبی در آینده می‌کند. نتایج رواناب حوضه بطور مفهومی به جریان سطحی، جریان زیرسطحی و دبی پایه تقسیم می‌شوند که در گزارش‌ها مجموع این سه جریان را به عنوان پیش‌بینی سیلاب به مدیران شرکت مدیریت و توسعه منابع آب و نیرو ایران ارائه می‌گردد تا تصمیمات لازم در جهت مدیریت سیلاب اتخاذ نمایند. تجمع برف و ذوب آن از فرآیندهای مهم هیدرولوژیکی در حوضه‌هایی هستند که تجمع برف مانند یک مخزن عمل می نماید. در فصول سرد بارش بصورت برف در مخزن جمع شده و در طول دوره‌های گرمتر به تدریج ذوب می‌شود. برای محاسبه میزان ذوب برف به داده‌های دما و میزان حجم برف تجمع یافته روی ارتفاعات نیاز است. ذوب برف از روش نیمه توزیعی عمومی که حوضه را به تعدادی ناحیه با پارامترهای مجزا تقسیم کرده و در هر ناحیه ذوب برف را محاسبه می‌نماید استفاده شده است. در مدل بارش برف و ذوب آن وابستگی به تغییرات دمایی در حوضه داشته و برای تعیین شکل بارش اتفاق افتاده در یک رده ارتفاعی، درجه حرارت آستانه‌ای در نظرگرفته می‌شود که خود نیز در پردازش واسنجی خودکار محاسبه می‌گردد.

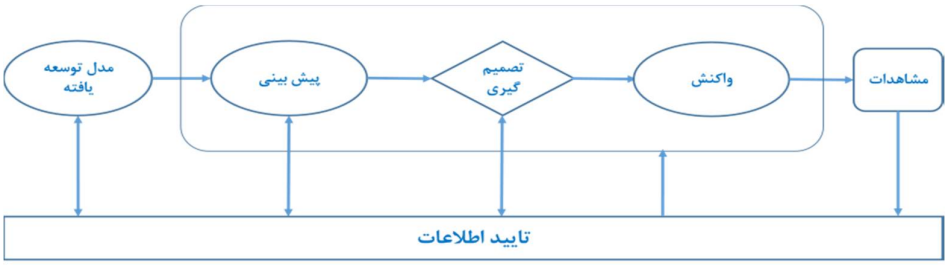
منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش از حوضه آبریز 5 سد در حال بهره برداری کارون4، سیمره، سردشت، رودبارلرستان و آزاد که در غرب و شمال غرب کشور قرار دارند استفاده شد. به لحاظ تقسیمات حوضه‌ای هر 5 زیر حوضه نام برده شده قسمتی از حوضه بزرگ خلیج فارس را تشکیل می‌دهند (شکل 1).



شکل1- موقعیت حوضه‌های آبریز مورد مطالعه

در این پژوهش از اطلاعات هواشناسی و مدل‌های پیش-بینی از سال آبی 94-93 برای سه حوضه آبریز کارون 4، سیمره و رودبار و از سال 95-94 برای حوضه آزاد تا پایان سال آبی 00-99 مورد استفاده قرار گرفت تا جریان خروجی محاسبه و پیش‌بینی شود. برای آنکه بتوان پس از پیش‌بینی جریان از خطرات ناشی از سیلاب جلوگیری کرد می‌بایست یک سامانه مناسب ایجاد نمود. بنابراین همکاری با طیفی از کاربران استفاده کننده از نتایج پیش‌بینی‌ها تعامل ایجاد نموده و با مفهوم‌سازی تأیید اطلاعات ارائه شده، بهبود اثربخشی نتایج پیش‌بینی حاصل می‌گردد. به عنوان نقطه شروع، در این پژوهش از مدل "پیش‌بینی - تصمیم - پاسخ" استفاده شد. در اینجا "پیش‌بینی" به عنوان یک فرآیند واحد شامل چندین فرایند از جمله توسعه مدل و پیش‌بینی زمان واقعی مدل‌سازی می‌شود. نتیجه فرآیند یک پیش‌بینی به مدیر اطلاع داده می‌شود تا یک تصمیم حساس برای پیش‌بینی را اطلاع دهد. با توجه به هدف سامانه پیش-بینی، سیل می‌تواند بالاتر از ارتفاع دریچه‌های آب تا هشدار جامعه در معرض خطر سیل تغییر یابد اما با انتخاب آگاهانه برای انجام پیشگیری نتایج متفاوت است. شکل 2 نقش تأیید را در فرآیند پیش‌بینی - تصمیم – پاسخ و همچنین فرآیندهای توسعه مدل و مشاهده در کنار هم نشان می‌دهد. تأیید اغلب با مقایسه نتایج مدل، پیش‌بینی، یا تصمیمات حساس پیش‌بینی شده با مشاهدات انجام می‌شود. اطلاعات مربوط به کیفیت این موارد به توسعه‌دهندگان مدل، طراحان سامانه پیش‌بینی-تصمیم-پاسخ، پیش‌بینی-کنندگان و یا تصمیم گیرندگان منتقل می‌شود. هدف این است که مدیران براساس صحت پیش‌بینی و کاربرد آن را بهبود بخشند تا مناطق مورد مطالعه کم‌ترین آسیب را متحمل شوند.



شکل 2- نقش تایید اطلاعات در روند کار و پیش‌بینی

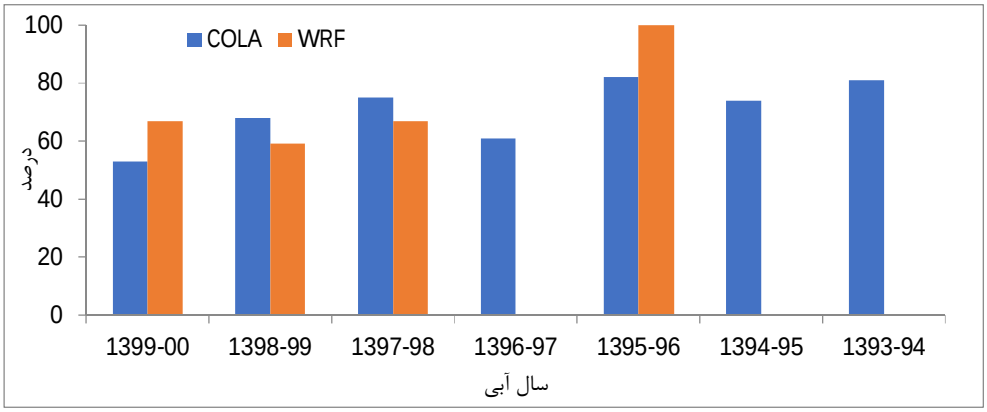
نتایج و بحث

پس از دستیابی به هریک از نقشه‌های مدل COLA و WRFبه ترتیب بارش 6 و 5 روز آینده را می‌توان پیش‌بینی نمود. در زمان ارائه گزارش پیش‌بینی سیلاب با توجه به میزان بارش و دمای پیش‌بینی شده دو مقدار پیش‌بینی معمول بارش و پیش‌بینی بالاتر از معمول بارش (حالت بدبینانه) و همچنین برای دما پیش‌بینی معمول دما و پیش-بینی بالاتر از معمول دما(حالت بدبینانه) در نظر گرفته می شود. حالت بدبینانه در واقع میزان خطای مدل‌های پیش-بینی WRF و COLA را کاهش داده تا در صورت افزایش مقادیر بارش تاثیر آن در سیلاب مشخص شده باشد و از طرفی افزایش دما باعث ذوب حجم بیش‌تری از برف شده و جریان رودخانه حوضه افزایش می‌یابد. در نهایت از ترکیب بارش و دما برای ورودی مدل NAM توسعه داده شده استفاده نموده که چهار ستون دبی (برای پیش‌بینی سیلاب بسته به نوع نقشه COLA یا WRF پیش‌بینی 6 یا 5 روزه) به عنوان خروجی گزارش شده که در نهایت مجموع حجم سیلاب محاسبه می شود. در گزارش ارائه شده کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین مجموع حجم محاسبه شده، به عنوان بازه سیلاب در نظر گرفته شده است. بنابراین بازه سیلاب که با عنوان حجم پیش‌بینی ارائه شده در واقع از کم‌ترین و بیش-ترین مجموع حجم سیلاب در روزهای پیش‌بینی شده به دست می‌آید. در این پژوهش برای هر 5 حوضه کارون 4، سیمره، رودبار، سردشت و آزاد اقدام به جمع‌آوری داده‌های شاهداتی بارش، دما، تبخیر- تعرق و جریان رودخانه نموده و با مقادیر جریان پیش‌بینی شده مقایسه گردید. برای بالا بردن ضریب اطمینان به گزارش‌ها زمانی که مجموع حجم سیلاب مشاهداتی در بازه مجموع حجم سیلاب پیش‌بینی شده قرار گرفت از نتیجه صحیح استفاده شده است اما اگر در بازه مورد نظر قرار نگرفت می‌توان بازه را به میزان 25 درصد از بالا افزایش و از پایین کاهش داد تا با این عمل بازه پیش‌بینی بزرگ‌تری را تحت پوشش قرار دهد. بنابراین، اگر سیلاب مشاهداتی در داخل بازه قرار گیرد یا سیلاب با تاثیر ضریب اصلاحی در داخل بازه قرار گرفت، نتیجه صحیح است در غیر اینصورت دو حالت پیش می آید که یا عدد سیلاب مشاهداتی بیشتر یا کمتر از بازه است. اگر عدد کمتر بود که گزارش با شکست مواجه شده و و سیلاب گزارش شده دسته بالا نتیجه می‌شود اما اگر مقدار سیلاب مشاهداتی بیش‌تر بود گزارش غلط است و از عنوان سیلاب گزارش شده دسته پایین استفاده می‌شود. در بررسی دو مدل هواشناسی COLA و WRF زمانی که میزان بارش پیش-بینی‌شده بیش‌تر از 30 میلیمتر در حوضه‌های مورد مطالعه است کارشناسان پیش‌بینی اقدام به ارائه و تحلیل وضعیت آتی جریان رودخانه در منطقه می‌کنند. بررسی و مقایسه عملکرد دو مدل پیش‌بینی هواشناسی بیانگر آن است که در 5 سال آبی اخیر (1400-1395) میزان گزارش‌های ارائه شده از مدل COLA از لحاظ کمیت بیش‌تر است (جدول 1).

جدول 1- بررسی میزان تعداد گزارش ارائه شده از دو مدل COLA و WRF

سال آبی	COLA				WRF			
	تعداد کل گزارش	تعداد سیلاب گزارش شده صحیح	تعداد سیلاب گزارش شده دسته پایین	تعداد سیلاب گزارش شده دسته بالا	تعداد کل گزارش	تعداد سیلاب گزارش شده صحیح	تعداد سیلاب گزارش شده دسته پایین	تعداد سیلاب گزارش شده دسته بالا
1399-00	42	24	2	19	3	2	0	1
1398-99	81	55	2	24	17	10	0	7
1397-98	81	61	5	15	15	10	1	4
1396-97	41	25	5	11	1	0	0	1
1395-96	51	42	3	6	4	4	0	0

در جدول بالا مشخص گردید که تعداد گزارش‌های مرتبط با WRF در سال‌های اخیر با افزایش تعداد گزارش و افزایش حجم پیش‌بینی سیلاب‌ها رابطه مستقیم داشته که نشان می‌دهد در زمان سیلاب با حساسیت بیش‌تری مورد توجه توسعه‌دهندگان مدل و کارشناسان پیش‌بینی جریان قرار گرفته است. همچنین در سال آبی 00-1399 تنها دو مورد از پیش‌بینی جریان رودخانه پایین‌تر از بازه سیلاب پیش‌بینی شده است که نشان از افزایش اطمینان به گزارش و بهبود در روند توسعه مدل است. نتایج دو مدل در پنج سال بیان‌کننده متوسط عملکرد 71 درصد در COLA و 59 درصد در WRF است که نشان دهنده عملکرد بهتر COLA نسبت به WRF است (شکل 3).



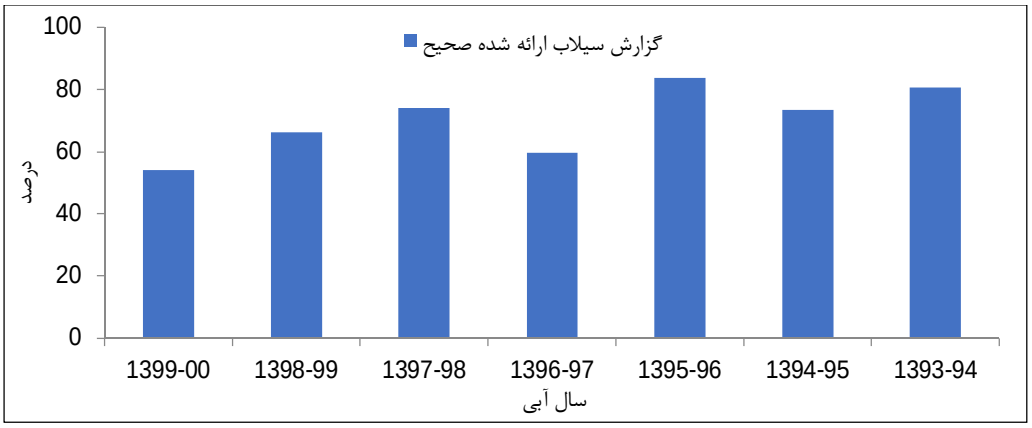
شکل 3- بررسی و مقایسه عملکرد دو مدل COLA و WRF در ارائه گزارش صحیح

در بررسی سالانه گزارش‌ها طی سال‌های آبی 00-1399 مشخص گردید که تعداد 404 گزارش به مدیران و تصمیم‌گیرندگان حوضه آبریز ارائه شد که تعداد 283 عدد از آن در بازه سیلاب مشاهداتی بوده و 26 گزارش بازه‌ای کم‌تر از سیلاب مشاهداتی داشته است (جدول2)

جدول 2- بررسی نتایج سالانه پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها

ردیف	سال آبی	تعداد کل گزارش	تعداد سیلاب گزارش شده صحیح	تعداد سیلاب گزارش شده دسته پایین	تعداد سیلاب گزارش شده دسته بالا
1	1399-00	48	26	2	20
2	1398-99	98	65	2	31
3	1397-98	96	71	6	19
4	1396-97	42	25	5	12
5	1395-96	55	46	3	6
6	1394-95	34	25	4	5
7	1393-94	31	25	4	2
	جمع	404	283	26	95

با مشاهده جدول می‌توان نتیجه گرفت که بیش‌ترین تعداد گزارش به ترتیب در دو سال 99-1398 و 98-1397 ارائه شده است، اما بالاترین درصد گزارش صحیح به کل گزارش مربوط به سال آبی 96-1395 است (شکل4).

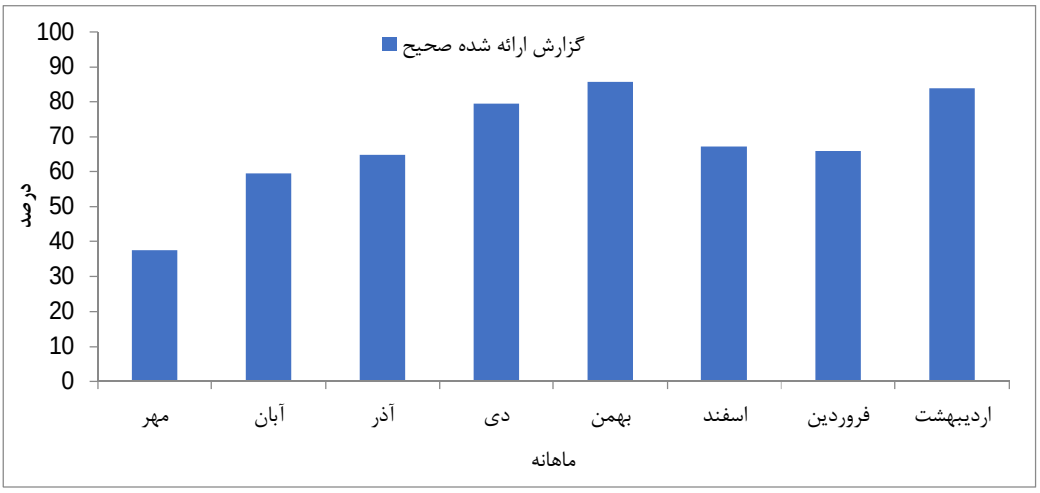


شکل 4- گزارش سیلاب های صحیح در بازه زمانی 7 ساله

ازمقایسه و بررسی نسبت گزارش‌های صحیح به کل گزارش‌ها به تفکیک ماه مشخص شد که در ماه بهمن بیش-ترین تعداد گزارش صحیح نسبت به ماه‌های دیگر در سال ارائه شده است (جدول 3).

جدول 3- نسبت گزارش صحیح هر ماه به کل گزارش همان ماه (درصد)

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت
درصد گزارش صحیح	38	60	65	80	86	67	66	84
تعداد گزارش ارائه شده	8	42	57	44	70	61	85	37

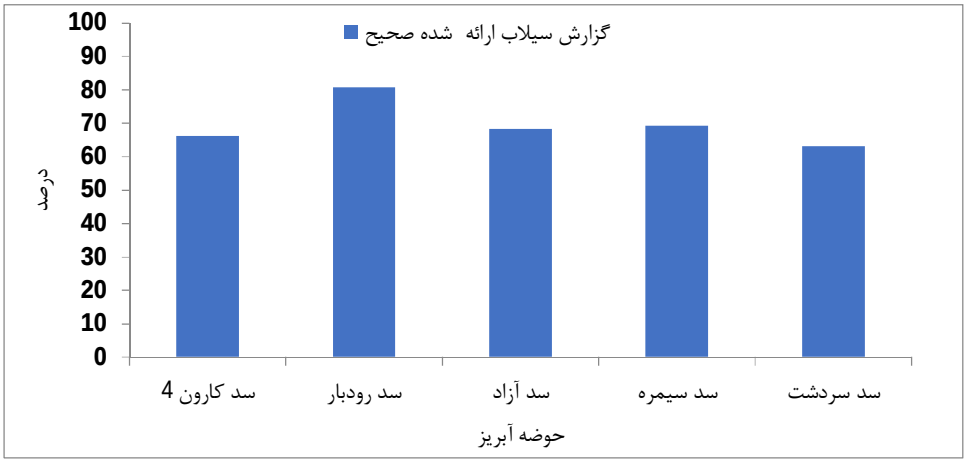


شکل 5- نمودار گزارش‌های صحیح ارائه شده در طول هر ماه (به درصد)

در شکل 5 مقادیر گزارش صحیح هر ماه در طی 7 سال در بازه سیلاب مشاهداتی قرار گرفته و می‌تواند مرجع مناسبی برای تصمیم‌گیری در مواقع بحرانی باشد. اگر گزارش‌های ارائه شده را به تفکیک حوضه‌های آبریز تفکیک نمایش داده شده که بیانگر متوسط 70 درصد پیش‌بینی‌ها نموده مشاهده می‌شود که بیش‌ترین گزارش برای حوضه رودبار بوده که بیش‌ترین گزارش صحیح را نیز به خود اختصاص داده است (جدول 4) (شکل 6).

جدول 4- بررسی نتایج پیش‌بینی جریان به تفکیک حوضه آبریز

ردیف	گزارش	سد کارون 4	سد رودبار	سد آزاد	سد سیمره	سد سردشت
1	تعداد کل گزارش	92	93	79	75	65
2	تعداد سیلاب گزارش شده صحیح	61	75	54	52	41
3	تعداد سیلاب گزارش شده دسته پایین	6	8	4	3	5
4	تعداد سیلاب گزارش شده دسته بالا	25	10	21	20	19



شکل 6 - گزارش‌های صحیح ارائه شده را به تفکیک حوضه‌های آبریز

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مقادیر پیش‌بینی جریان رودخانه و سیلاب‌های 5 حوضه آبریز کارون4، سیمره، رودبار، سردشت و آزاد به تفکیک نمای طرح، ماهانه و سالانه مورد بررسی قرار گرفت. برای پیش آگاهی از تغییرات جریان رودخانه ابتدا نقشه‌های هواشناسی حوضه‌های مورد مطالعه با دو مدل COLA و WRF مورد بررسی قرار گرفت و مقادیر پیش‌بینی بارش بیش از 30 میلی‌متر در مناطق مورد نظر انتخاب شدند. با توجه به داده‌های مشاهداتی بارش، دما و تبخیر و تعرق با مدل توسعه داده شده NAM مقادیر جریان در منطقه شبیه‌سازی شد و نتایج حاصل در طول ماه مقایسه شدند که نشان از افزایش تعداد گزارش و در نتیجه افزایش تعداد و حجم سیلاب در فروردین ماه منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مقایسه سالانه نتایج نیز بیانگر افزایش تعداد گزارش در سال 99-1398 است که در کنار ترسالی بیانگر افزایش حساسیت به سیلاب و هشدار سیل به مدیران آب منطقه‌ای برای اعمال تدابیر لازم را می‌دهد. همچنین مشخص شد که تعداد سیلاب بالاتر از بازه پیش-بینی در حال کاهش است. متوسط عملکرد گزارش‌ها در طول سال آبی 1400-1393 حدود 70 درصد است که عملکرد نسبتاً مناسب نتایج را در طول بازه زمانی و مکانی مورد نظر نشان می‌دهد. درمقایسه نمای طرح نیز بیش‌ترین گزارش صحیح به ترتیب برای سه حوضه آبریز رودبار ، سیمره و آزاد مشخص گردید که به ترتیب 81، 69 و 68 درصد را نمایش می‌دهند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که عملکرد COLA به WRF مناسب بوده و در نهایت ارائه گزارش‌های صحیح با متوسط 70 درصد می‌تواند باعث توسعه مدل و همکاری بیش‌تر بین کاربران، مدیران آب و میزان خسارت مالی، جانی و تاثیر در بهبود روند مدیریت بحران در سیلاب‌های آتی منطقه شود.

پیش‌بینی کنندگان شود. این همکاری می‌تواند منجر به ارائه نتایج دقیق‌تر و کاربردی‌تر برای جلوگیری از افزایش

سپاسگزاری

در پایان از شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران که طی پانزده سال گذشته امکان انجام این پژوهش کاربردی را مهیا نموده؛ بخصوص مدیران و کارشناسان محترم آن شرکت در معاونت فنی و پژوهش ها و طرح های مختلف و زحمات کارشناسان شرکت پایشگر تدبیر افزار (دانش‌بنیان) در بخشهای منابع آب و نرم افزار کمال قدردانی و تشکر را خواهیم داشت.

منابع

Aherwar P., Aherwar H. 2019. Comparison of rainfall runoff simulation by SCS- CN and NAM model in Shipra river basin of Madhya Pradesh, India. J Pharmacogn Phytochem 8(4), pp3419–3427.

Aredo M.R. HatiyeS.D., Pingale S.M. 2021. Modeling the rainfall-runoff using MIKE 11 NAM model in Shaya catchment, Ethiopia. Model. Earth Syst. Environment.

Chander S., Prasad RK. 2014. Water Resource Systems. Jain Brothers, New Delhi.

Das G. 2012. Hydrology and Soil Conservation Engineering, PHI Learning Private Limited, New Delhi, 80-83.

Dovonec E. 2000. A physically base distributed hydrologic model, Msc Thesis, the Pennsylvania State University.

Eslami H.R., Mohamadvalisamani J., Ghaderi K. 2003. Automatic calibration of rainfall-runoff model using SCE. First Water Resources Management Conference, University of Tehran. (In Persion).

Goharnejad H., Mohamadi Naser M., Zakeri Niri M. 2017. The optimization of energy supply systems by sequential streamflow routing method and Invasive Weed Optimization Algorithm; case study: Karun II hydroelectric power plant. Journal of Hydraulic Structures 3(1), pp71-82.

Hafezparast M., Araghinejad S., Fatemi, SE. 2013. A Conceptual Rainfall-Runoff Model Using the Auto Calibrated NAM Models in the Sarisoo River. Hydrol Current Res 4: 148.

Hartmann H., Bales R., Sorooshian S. 1999. Weather, Climate, and Hydrologic Forecasting for the Southwest U.S.

Hoseynzade M.M., Biranvand S., Hoseyni Asl A., Saduq H. 2013. Simulation Kashkan flood river. Iranian Journal of Remote Sensing and GIS, Issue 17, pp71-84.

Jayapadma J.M.M.U., Wickramaarachchi T.N., Silva .G.H.A.C., Hiroshi I., Magome J. 2018. Rainfall-Runoff Modelling Using MIKE 11 (NAM Model): A Case Study of GIN River Basin. nter national Symposium on Advances in Civil and Environmental Engin eering Practices for Sus tain able Development (ACEPS-2018).pp231-238.

Kafle T.P., Hazarica M.K., Shresth K.G. Prathumchai K., Samarakon L. 2006. Integration of remote sensing and GIS with flood simulation model for flood hazard mapping in the Bagmati river, Nepal.

J. Environment management. 13, pp8. 45-57.

Kumar P., Lohani AK., Nema AK. 2019. Rainfall runoff modeling using MIKE 11 NAM model. Curr World Environ 14(1), pp27–36.

Loliyana V.D., Patel P.L. 2015. Lumped conceptual hydrological model for Purna river basin, India. Sadhana 40, pp2411–2428.

Madsen H. 2000. Automatic calibration of a conceptual rainfall–runoff model using multiple objectives. Journal of Hydrology 235, pp 276–288.

Pagano T.C. 2014. Evaluation of Mekong River commission operational flood forecasts, 2000–2012. Hydrol. Earth Syst. Sci. 18(7), pp 2645–2656.

Pennelly C. Reuter G., Flesch T. 2014. Verification of the WRF model for simulating heavy precipitation in Alberta. Atmospheric Research. 135, pp 172-192.

Qobadian R. 2008. Simulate hydraulic flood routing in Gharehsou river using numerical unsteady flow equations. 7th Conference of hydraulic, 21 to 23 November, the utilities industry University of martyr Abbaspoor.

Rauofi Gh., Esmaili A., Aslani H., Eyvazi M. 2013. Snow storage and melting simulation using NAM runoff model, the first national conference on hydrology of semi-arid regions, Sanandaj University. (In Persion).

Sajadi BY., Jahangir P., Hossein S., Navid J. 2020. Performance evaluation of MIKE NAM rainfall-runoff (R-R) model in daily flow simulation (case study: Gonbad catchment in Hamedan). J Appl Eng Sci 10(1), pp1–6.

Vahabi J. 2005. Flood risk mapping using hydrological and hydraulic models (case study Taleqan), the research and construction Journal, Issue 71, pp 33-41.

Welles E., Sorooshian S., Carter G., Olsen B. 2007. Hydrologic verification: a call for action and collaboration. Bull. Am. Meteorol. Soc. 88(4), pp503–511.

Werner K., Verkade J., Pagano T. 2016. Application of Hydrological Forecast Verification Information. Handbook of Hydro meteorological Ensemble Forecasting.