نشریه علمی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

سال هفدهم- شماره ٦٢- پاییز ١٤٠٢

Vol. 17, No. 62, Full 2023

ارزیابی کارایی مدل تلفیقی خوشه‌بندی زمانی بارش و پیش‌بینی اقلیمی در برآورد آبدهی ماهانه

حمیدرضا اسلامی [١]، سعید جمالی [٢]، معصومه عیوضی *[٣] و کامیاب اسلامی [٤]

تاریخ دریافت: ١٤٠١/٠٥/٠٢ تاریخ پذیرش:١٤٠١/١٠/١٨

DOI: 10.22034/17.62.101

چکیده

بارش یکی از متغیرهایی است که بیش‌ترین تأثیر را بر رواناب دارد. در این مطالعه با استفاده از مدل بارش- رواناب NAM و داده‌های گذشته هواشناسی و هیدرولوژی، جریان ورودی سدهای کارون ٤، دز، کارون ٣، رودبار، سردشت و زاینده‌رود مدل‌سازی شد. برای تعیین میزان بارش ورودی مدل، مدل‌های اقلیمی چندگانه گروهی شمال آمریکا دریافت شد. سپس برای انتخاب بهترین مدل پیش‌بینی بارش از روش خوشه‌بندی زمانی بارش و شبکه عصبی مصنوعی با تابع پایه شعاعی استفاده شد. پس از تعیین بارش و پیش‌بینی آبدهی ورودی به سد برای بررسی عملکرد انتخاب مدل بارش، آبدهی ماهانه پیش‌بینی‌شده با آبدهی ماهانه واقعی مقایسه شد. نتایج نشان داد که بیش از ٦٠ درصد مواقع در سد کارون ٤ و سردشت با همکاری بهترین مدل اقلیمی بارش مقادیر آبدهی نزدیک به مشاهده‌ای پیش‌بینی شده است. میزان خطای میانگین نرمال شده، ریشه میانگین مجموع مربعات نرمال شده و نش ساتکلیف در سد کارون ٤ به ترتیب برابر ٠/٠٦٤-، ٠/٠٤٦ و ٠/٦٤٩ محاسبه شده است. نتایج حاصل از این تحقیق اهمیت روش خوشه‌بندی زمانی بارش برای انتخاب بهترین مدل اقلیمی بارش جهت ارتقاء نتایج آبدهی را نشان می‌دهد.

١- مدیر عامل شرکت پایشگر تدبیر افزار (دانش بنیان)و فوق لیسانس منابع آب، دانشکده مهندسی آب، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران.

٢- استادیار دانشگاه گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران و منابع زمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، ایران

٣- نویسنده مسئول، کارشناس بخش منابع‌آب شرکت پایشگر تدبیر افزار (دانش بنیان) و فوق لیسانس منابع آب، دانشکده مهندسی آب، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران پست الکترونیک:

masoomeh.eivazi@gmail.com

٤- کارشناس بخش نرم افزار شرکت پایشگر تدبیر افزار (دانش بنیان)

کلیدواژه‌ها: *پیش‌بینی اقلیمی، NMME، RBF، گروه‌بندی، پیش‌بینی آبدهی.*

مقدمه

بحران آب و کمبود منابع آب شیرین در دهه‌های اخیر منجر به بروز مشکلات زیادی جهت مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب به‌خصوص در طی دوره‌های خشک شده است. در این راستا مخازن آب سطحی سدها، به‌عنوان یکی از زیرساخت‌های ضروری، نقش کلیدی جهت تأمین نیازهای آبی پایین‌دست ایفا می‌نمایند. استفاده مناسب از آب مخازن سدها به‌عنوان تأمین‌کننده اصلی آب بخش کشاورزی، شرب و صنعت در پرتو مدیریت و بهره‌برداری بهینه از این مخازن امکان‌پذیر است و این خود بدون اطلاع از میزان جریان ورودی به مخازن در دوره‌های زمانی آتی ممکن نیست. در این راستا، برآورد هرچه دقیق‌تر مقدار جریان ورودی به مخازن، به دلیل نقشی که در مدیریت و بهره‌برداری از مخازن و تولید انرژی برقابی دارد، از موضوعات با اهمیت در مهندسی آب محسوب می‌شود. بنابراین، به‌منظور مدیریت بهینه منابع آب، تأمین بهینه نیازهای آبی، بهره‌برداری و مدیریت بهینه سیلاب توسط مخزن سد، استفاده از پیش‌بینی آبدهی رودخانه‌ها امری ضروری است [٤].

مدل‌های هیدرولوژیکی ابزار مهمی در مطالعه اقلیم و فرآیندهای هیدرولوژیکی حوزه هستند که توانایی شبیه‌سازی فرآیندهای سطح زمین را برای بهبود مدیریت منابع آب دارند. مدل‌های مختلفی از اوایل دهه ١٩٦٠ توسعه داده شد تا فرآیندهای بارش -رواناب را شبیه‌سازی کنند [٥]. از جمله مدل‌های بارش- رواناب می‌توان به مدل‌های مفهومی یکپارچه NAM اشاره کرد. این مدل در مقابل مدل‌های مفهومی توزیعی، به ورودی‌های کمتری برای شبیه‌سازی بارش- رواناب نیاز داشته و در نتیجه زمان کمتری را صرف شبیه‌سازی می‌کند. بنابراین نتایج با سرعت بیش‌تری به دست خواهند آمد. تاکنون در پژوهش‌های مختلفی از دنیا از مدل یکپارچه NAM برای بررسی مسائل گوناگون در هیدرولوژی استفاده شده است. مادسن [١١] در پژوهشی واسنجی خودکار مدل بارش- رواناب مفهومی NAM را با استفاده از روش اهداف چندگانه بررسی کرد. هدف اصلی در این پژوهش، فرموله کردن استراتژی واسنجی خودکار مدل MIKE NAM و بررسی جنبه‌های متفاوت هیدروگراف برای بهینه‌سازی اهداف چندگانه شامل بررسی و اندازه‌گیری تعادل آب، شکل هیدروگراف، دبی اوج جریان‌ها و کمینه مقدار جریان‌ها بود.

شمس‌الدین و هاشم [۱۶] با استفاده از مدل یکپارچه بارش- رواناب MIKE NAM حوزه آبخیزی در مالزی را شبیه‌سازی کردند. نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل بر اساس دبی مشاهداتی و نیز برآورد شاخص کارایی مدل به میزان ۰/۷۵ و مجذور مربعات خطا به میزان ۰/۰۸ نشان داد که مدل قابلیت مناسبی در شبیه‌سازی حوزه آبخیز با اقلیم مرطوب را دارد. گوش و همکاران [۸] به ارزیابی عملکرد مدل بارش- رواناب MIKE NAM در دشت سیلابی گنگ در هند پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که پارامترهای CQOF، CK11,2 و Lmax در آبدهی‌های بالا حساس می‌باشند. سجادی بمی و همکاران [۱۴] به مقایسه عملکرد مدل‌های AWBM و MIKE NAM در شبیه‌سازی دبی روزانه در حوزه مرتفع گنبد همدان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل MIKE NAM نسبت به مدل AWBM قابلیت بهتری در شبیه‌سازی رواناب روزانه حوزه گنبد همدان دارد. به‌طوری‌که ضریب نش در دوره واسنجی برای مدل MIKE NAM برابر ۰/۸ و برای مدل AWBM برابر ۰/۶ به دست آمد. شهبازی و آخوند علی [۱۵] از مدل MIKE NAM برای پیش‌بینی جریان حوزه آبخیز الله- جوکنک پرداختند. آن‌ها نشان دادند که با متغیر گرفتن الگوی وزن‌دهی برای برآورد بارش متوسط حوزه، نتایج بهتری را خواهد داشت. به‌طوری‌که با استفاده از الگوی متغیر وزن‌دهی در ماه‌های مختلف میزان همبستگی در مرحله واسنجی تا ۱۰ درصد و در دوره صحت‌سنجی ۲۰ درصد نسبت به الگوی ثابت بهتر بوده است. اسلامی و همکاران [۶] با استفاده از مدل بارش- رواناب NAM به مدل‌سازی حوزه آبخیز رودخانه کرخه پرداختند. آن‌ها با استفاده از روش بهینه‌سازی سراسری به نام جوامع تصادفی تکامل‌گرا[1] به واسنجی پارامترهای مدل پرداختند. نتایج آن‌ها حاکی از آن است که روش بهینه‌سازی سراسری SCE در کنار مدل بارش- رواناب NAM رواناب حوزه را به‌خوبی مدل‌سازی کرده است. این امر بیانگر آن است که مدل دارای پایداری و کارایی کافی در پیدا کردن نقاط بهینه دارد. مدل‌های هیدرولوژیکی برای پیش‌بینی دبی رودخانه نیاز به اطلاعات هواشناسی دارند [۹].

روند معمول برای پیش‌بینی آبدهی، تخمین رواناب به کمک اطلاعات بارش و دیگر پارامترهای هواشناسی با استفاده از مدل‌های بارش- رواناب است [۱۰]. بارش یکی از فاکتورهای هر مدل هیدرولوژیکی است که کیفیت و کمیت آن نقش اساسی در اجرای مدل ایفا می‌کند. در صورت برآورد دقیق میزان بارش، میزان آبدهی نیز از دقت بالایی برخوردار خواهد بود. تاکنون، روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی بارش ارائه شده است. از جمله روش‌هایی که محققین اخیراً توجه خاصی به آن داشته‌اند مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا است. در همین راستا برخی از مهم‌ترین مراکز هواشناسی دنیا پیش‌بینی‌های عددی بارش کوتاه‌مدت و بلندمدت را در مقیاس جهانی در اختیار کاربران قرار داده‌اند. پتانسیل پیش‌بینی در مقیاس فصلی به‌ویژه برای جریان آب، باعث افزایش راندمان تخصیص آب و ارائه خدمات بهتر به حوزه‌های مختلف می‌شود. استفاده از چنین پیش‌بینی‌هایی توانایی آماده شدن و مقابله با شرایط پیش‌بینی‌شده در آینده را فراهم می‌کند و به‌طور بالقوه خطرات مربوط به آب‌وهوا را کاهش داده و بستر را برای استفاده درست از فرصت‌ها فراهم می‌کند [۲۰].

با توجه به تنوع مدل‌های پیش‌بینی قبل از اینکه از پیش‌بینی‌های فصلی از جمله پیش‌بینی بارش ماهانه در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب استفاده شود، باید ابتدا دقت نتایج پیش‌بینی‌ها بررسی و مدل مناسب تعیین شود. مطالعات زیادی با استفاده از پیش‌بینی‌های هواشناسی و اقلیم در مدیریت منابع آب در سطح جهان توسط محققین انجام شده است. یه و همکاران [۲۱] به ارزیابی دقت پیش‌بینی‌های میان‌مدت بارش مرکز اروپا[2]در حوزه رودخانه هوای در چین پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که دقت پیش‌بینی‌ها در زیر حوزه‌های مختلف به مساحت، میانگین ارتفاع و متوسط بارش سالانه زیرحوزه بستگی دارد و هر چه مساحت زیرحوزه بزرگ‌تر و میانگین بارش کمتر باشد، پیش‌بینی‌های ECMWF از دقت بیش‌تری برخوردار است. تچینا و همکاران [۱۷] از مدل‌های گروهی چندگانه پیش‌بینی شمال آمریکا[3] در مرکز آفریقا استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل NMME برای بارش‌های فصلی مناسب بوده است. بابایان و همکاران [۱] با استفاده از داده‌های بارش مدل CFSv2 با تقسیم‌بندی حوزه‌ها به سلول‌های مختلف، پیش‌بینی ماهانه خشک‌سالی در حوزه‌های آبخیز کشور را موردبررسی قرار دادند و صحت پیش‌بینی‌ها در مناطق شمال غرب و جنوب حوزه را حدوداً ۷۰ درصد و در مناطق مرکزی و شمال شرق حدوداً ۶۵ درصد برآورد نمودند.

محققین زیادی به بررسی انتخاب بهترین مدل پیش‌بینی بارش در مناطق مختلف پرداخته‌اند به این صورت که بیش‌تر محققین بازه‌ای از گذشته را انتخاب و بررسی بین مدل‌های مختلف را در همان بازه موردبررسی انجام داده‌اند. همچنین انتخاب مدل اقلیمی به‌صورت کاربردی و در زمان واقعی با استفاده از روش خوشه‌بندی زمانی برای پیش‌بینی آبدهی تحقیقی صورت گرفته نشده است. لذا هدف از انجام این مقاله پیش‌بینی آبدهی ورودی سدهای در حال بهره‌برداری کارون ٤، میانی کارون ۳ و ۱، دز، سردشت، رودبار و زاینده‌رود با بهترین مدل پیش‌بینی اقلیمی در زمان واقعی است که جهت انتخاب بهترین مدل پیش‌بینی بارش از روش خوشه‌بندی بارش زمانی در سال‌های مختلف دوره تاریخی انجام شد.

مواد و روش‌ها

حوزه‌های آبخیز موردمطالعه

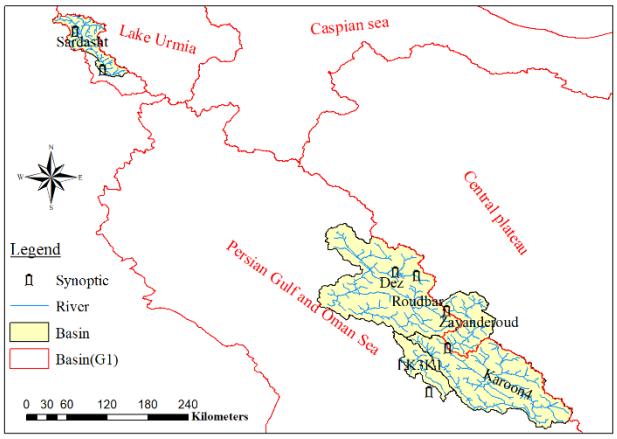
در این پژوهش از حوزه آبخیز شش سد در حال بهره‌برداری کارون٤، میانی کارون ۳ و کارون ۱، دز، سردشت، رودبار و زاینده‌رود

1. Shuffled Complex Evolution (SCE)

2. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)

3. North America Multi-model Ensemble (NMME)

که در غرب و شمال غرب کشور قرار دارند استفاده شد. به لحاظ تقسیمات حوزه‌ای هر شش حوزه آبخیز نام‌برده شده قسمتی از حوزه بزرگ خلیج‌فارس و فلات مرکزی را تشکیل می‌دهند این حوزه‌ها تحت تأثیر رشته‌کوه زاگرس بوده و باعث ایجاد تنوع اقلیمی در این منطقه شده است. شکل ۳ موقعیت مکانی حوزه‌های موردمطالعه را نشان می‌دهد. همچنین در جدول ۱ مشخصات فیزیکی و هیدرولوژیکی سدهای موردمطالعه نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت مکانی حوزه‌های موردمطالعه

Fig 1. Location of the study basins

مدل بارش- رواناب NAM

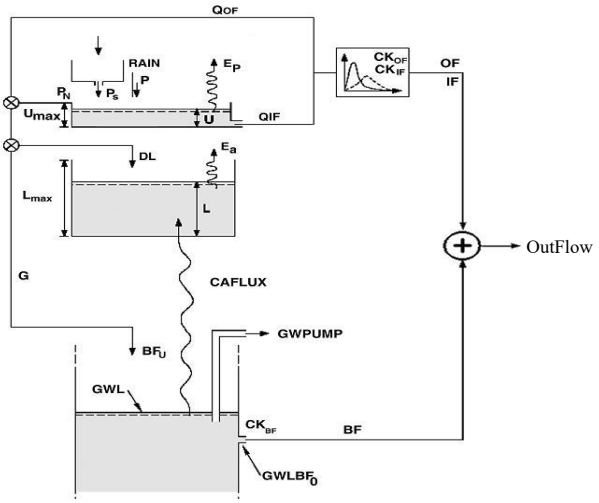
مدل هیدرولوژی NAM، رفتار چرخه هیدرولوژیکی را با استفاده از مجموعه‌ای از دستورات ساده‌شده ریاضی در حوزه موردمطالعه شبیه‌سازی می‌کند. این مدل، بخش‌های مختلف فرآیند بارش- رواناب را در یک محیط پیوسته در چهار مخزن ذخیره مختلف (ذخیره سطحی، زیرسطحی، زیرزمینی و ذخیره برف) و مرتبط با هم در نظر می‌گیرد. شکل ۲، ساختار کلی مدل و ارتباط بین چهار حجم ذخیره‌ای و سه جریان مختلف را نشان می‌دهد. کاربرد موفقیت‌آمیز مدل‌های بارش- رواناب بستگی زیادی به چگونگی تنظیم مدل دارد. در طول سه دهه گذشته تلاش‌های بسیاری در جهت واسنجی مدل‌های بارش- رواناب توسط محققین مختلف انجام شده است. از جمله روش‌های ارائه شده در مدل‌های مفهومی بارش- رواناب، روش بهینه‌سازی است. در این تحقیق از روش بهینه‌یابی سراسری SCE که یک روش بسیار قوی و کارا برای بسیاری از مسائل به‌حساب می‌آید، استفاده شده است. در این روش، جستجو از یک جمعیت تصادفی از نقاط درون فضای امکان‌پذیر شروع می‌شود. این جمعیت به جوامع مختلفی تقسیم‌شده که هرکدام بر اساس ابعاد مسئله دارای تعداد نقاط خاصی است. هر جامعه بر اساس فرآیندهای تولیدمثل که از شکل هندسی پیچیده‌ای استفاده می‌کنند، جستجو را در جهت‌های مناسب هدایت می‌کند. در دوره‌های تناوب تکامل، تمام جوامع دوباره بر زده شده و یک جمعیت دیگر با خصوصیات مناسب‌تر به وجود می‌آید و نهایتاً جمعیت به‌دست‌آمده دوباره در یک سری جوامع تقسیم‌بندی می‌شود. با ادامه دادن جستجو، تمام جمعیت تمایل دارند که به سمت همسایگی بهینه سراسری حرکت کنند [۱۳].

در این تحقیق از مدل ٤ مخزنه توسعه داده‌شده NAM برای شبیه‌سازی بارش- رواناب در گام زمانی روزانه استفاده شد. برای مدل‌سازی ورودی هر سد، دوره مدل‌سازی به دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی تقسیم شد. داده‌هایی که جهت مدل‌سازی بارش- رواناب استفاده شده است عبارت‌اند از داده روزانه بارش، دما، تبخیر، آبدهی ورودی به سد و نقشه تغییرات ارتفاعی [۲۱]. جدول ۲ مشخصات مدل‌سازی بارش- رواناب حوزه‌های آبخیز موردمطالعه را نشان می‌دهد. در مدل توسعه داده‌شده NAM برای پیش‌بینی آبدهی ورودی به سد از یک روش بهینه‌سازی سراسری برای تنظیم خودکار پارامترهای مدل مفهومی بارش- رواناب و روندیابی جریان در رودخانه استفاده شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و هیدرولوژیکی سدهای موردمطالعه

Table 1. Physical and hydrological characteristics of studied dams

حوزه	Basin	مساحت (کیلومترمربع)	محیط (متر)	آبدهی متوسط (میلیون مترمکعب)	متوسط بارش (میلی‌متر)
		Area (km^2)	Perimeter (km)	Mean Flow (MCM)	Mean Rainfall (mm)
کارون ٤	Karoon 4	12858	945	4560	563
میانی کارون ۳ و ۱	L_ Karoon 3, 1	2558	347	1733	675
زاینده‌رود	Zayanderoud	4122	384	1242	478
رودبار	Roudbar	2191	373	628	585
دز	Dez	16107	1038	4976	582
سردشت	Sardasht	2980	486	1355	569



شکل۲- مدل NAM و ارتباط بین لایه‌های مختلف آن [۱۷]

Fig 2. NAM model and the relationship between its different layers [5]

مدل‌های پیش‌بینی اقلیمی

مدل‌های پیش‌بینی فصلی اقلیمی از جمله مدل‌های گردش عمومی جو هستند که پیش‌بینی از چند هفته تا چند ماه از خصوصیات جو را انجام می‌دهند. این مدل‌ها در مقایسه با پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت آب‌وهوا که بسیار وابسته به شرایط اولیه جو هستند [۱۹] وابستگی زیادی به ترکیب سیستم آب و هوایی مثل دمای سطح آب و رطوبت خاک دارند [۱۸]. یکی از مدل‌هایی که در زمینه پیش‌بینی‌های بلندمدت بارش و دما کاربرد دارد، مدل‌های NMME است. NMME پروژه‌ای آزمایشی است که در پاسخ به توصیه‌های ملی آکادمی‌های ایالت متحده برای حمایت از پیش‌بینی آب‌وهوای منطقه‌ای و تصمیم‌گیری در مورد زمان‌بندی‌های فصلی متناسب با زمان‌بندی‌های سالانه تأسیس شد. مشخصات سامانه‌های پیش‌بینی فصلی NMME در جدول ۳ نشان داده شده است.

یکی از پارامترهای ورودی در مدل‌سازی بارش رواناب NAM پارامتر بارش است. برای همین منظور برای پیش‌بینی آبدهی ورودی به مخازن سدها در زمان واقعی (یعنی پیش از ثبت آبدهی ورودی سد) نیاز است که بارش پیش‌بینی‌شده در مدل قرار داده و آبدهی ورودی به سد پیش‌بینی شود. در این تحقیق از مدل‌های گروهی چندگانه پیش‌بینی شمال آمریکا که شامل CFSV2، CMC1، CMC2، GFDL، NASA، NCAR و NMME است استفاده شد. این مدل‌ها از سایت http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/ دریافت شد. مدل‌های اقلیمی زمین مرجع شده و میزان بارش در هر حوزه آبخیز موردمطالعه محاسبه شد.

جدول ۲- مشخصات مدل‌سازی بارش- رواناب حوزه‌های آبخیز موردمطالعه

Table 2. Precipitation-runoff modeling characteristics of the studied basins

حوزه	Basin	ایستگاه			Station			واسنجی		Calibration	
		بارش	تبخیر	دما	Precipitation	Evaporation	Temperature				
کارون ٤	Karoon 4	کوهرنگ	دزک آباد	کوهرنگ	Koohrang	Dezakabad	Koohrang	138507	1389/06	2006-09	2010-08
کارون ۳	Karoon 3	ایذه	دزک آباد	کوهرنگ	Ize	Dezakabad	Koohrang	1393/07	1395/06	2014-09	2016-08
زاینده‌رود	Zayanderoud	فریدونشهر	دزک آباد	فریدونشهر	Fereidoonshar	Dezakabad	Fereidoonshar	1392/07	1394/06	2013-09	2015-08
رودبار	Roudbar	ازنا	دزک آباد	الیگودرز	Azna	Dezakabad	Aligoodarz	1391/07	1393/06	2012-09	2014-08
دز	Dez	الیگودرز	دزک آباد	الیگودرز	Aligoodarz	Dezakabad	Aligoodarz	1392/07	1394/06	2013-09	2015-08
سردشت	Sardasht	پیرانشهر	بریسو	سردشت	Piranshahr	Barisoo	Sardasht	1391/07	1392/06	2012-09	2013-08

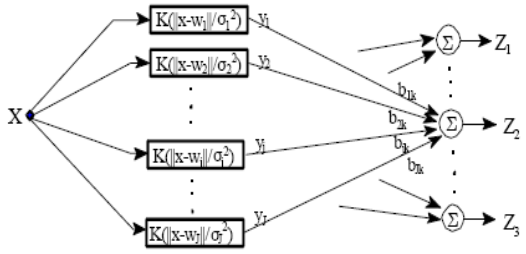
جدول ۳- خلاصه‌ای از ویژگی‌های مدل‌های چندگانه شمال آمریکا

Table 3. Summry of the characteristics of the North American Multi Model Ensemble (NMME)

مدل	دوره قابل‌دسترس	تعداد اعضا	زمان جلو بین (ماه)	مرجع
Model	Available Period	Ensemble size	Lead Times (months)	Reference
CMC1-CanCM3	1981-peresent	10	0.5-11.5	Merryfeld et al. (2013)
CMC2-CanCM4	1981-peresent	10	0.5-11.5	Merryfeld et al. (2013)
NCEP-CFSv2	1982-peresent	10	0.5-11.5	Lawrence et al. (2012)
NCAR-CCSM4	1982-peresent	24 (28)	0.5-9.5	Saha et al. (2014)
GFDL-CMp2.5 (FLORA06)	1982-peresent	12	0.5-11.5	Vecchi et al. (2014)
GFDL-CM2.1(aer04)	1982-peresent	10	0.5-11.5	Zhang et al. (2007)
GFDL-CMp2.5 (FLORB01)	1982-peresent	12	0.5-11.5	Delworth et al. (2006)

شبکه عصبی مصنوعی[1] با تابع شعاعی[2]

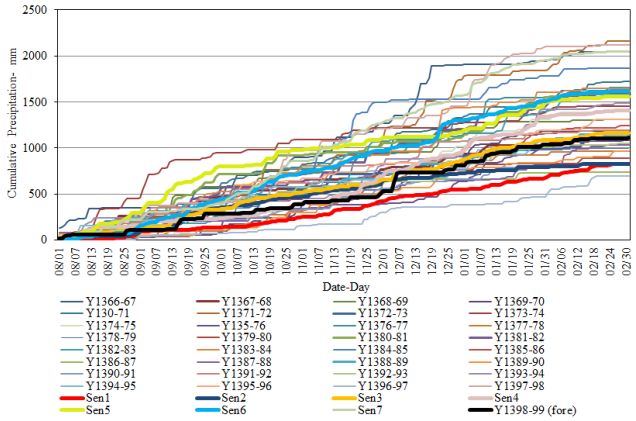
شبکه‌های تابع پایه شعاعی (RBF) که در شکل ۳ نشان داده شده است [۱۲]، از نوع شبکه‌های روبه‌جلو همراه با یک لایه میانی هستند که برای اولین بار توسط Broomhed and Lowe (1988) معرفی شدند [۲]. شبکه‌های عصبی RBF نیازمند نرون‌های بیش‌تری نسبت به دیگر شبکه‌های عصبی می‌باشند ولی اغلب این شبکه‌ها را می‌توان در زمانی کوتاه‌تر آموزش داد [۱۲]. در این روش، در لایه میانی تابع گوسین و در لایه خروجی تابع خطی به‌عنوان تابع انتقال در نظر گرفته شده است [۳]. عموماً آموزش شبکه RBF به دو بخش تقسیم می‌شود. بخش اول عمدتاً یادگیری از نوع بدون نظارت است که با استفاده از روش‌های خوشه‌بندی، پارامترهای توابع پایه (مراکز و عرض‌ها)، با استفاده از اطلاعات ورودی تعیین می‌شود و در بخش دوم که یادگیری از نوع با نظارت است وزن‌های بین لایه میانی و لایه خروجی با استفاده از روش‌های کاهش شیب و رگرسیون خطی تعیین می‌شود.



شکل۳- شبکه عصبی مصنوعی با تابع پایه‌ای‌شعاعی [۱۲]

Fig 3. Artificial neural network with radial basis function [12]

با توجه به تنوع مدل‌های پیش‌بینی بارش و اختلاف زیاد بین مقادیر پیش‌بینی مدل‌ها نیاز است که راهکاری ارائه شود تا فقط یک مدل به‌عنوان مدل پیش‌بینی زمان واقعی انتخاب شود برای انتخاب بهترین مدل پیش‌بینی بارش، از روش خوشه‌بندی زمانی بارش با استفاده از شبکه عصبی RBF استفاده شد. خوشه‌بندی، مجموعه‌ای از اطلاعات را در یک فضای چندبعدی به گروه‌هایی تقسیم می‌کنند که دارای دو ویژگی اساسی باشند. ویژگی اول این است که بیش‌ترین شباهت بین داده‌های قرارگرفته در خوشه‌ها برقرار باشد و از طرف دیگر کمترین شباهت بین خوشه‌ها به‌صورت دو به دو وجود داشته باشد [۲۲] برای خوشه‌بندی زمانی بارش ابتدا داده‌های دوره تاریخی بارش ایستگاه سینوپتیک استفاده‌شده در مدل بارش- رواناب از بدو تأسیس تا انتهای سال آبی در دسترس جمع‌آوری و داده‌های هر سال به‌صورت جداگانه به سری زمانی تجمعی روزانه از اول آبان هر سال آبی تا انتهای اردیبهشت تبدیل شد. شکل ٤ نمونه‌ای از بارش تجمعی ایستگاه کوهرنگ که در ابتدای سال آبی ۹۹-۱۳۹۸ برای پیش‌بینی بارش ۹۹-۱۳۹۸ تهیه شده است را نشان می‌دهد. در ابتدای سال آبی ۹۹-۱۳۹۸ هیچ اطلاعی از میزان بارش رخ داده شده در سال مورد پیش‌بینی وجود نداشت.



شکل ٤- بارش تجمعی ایستگاه کوهرنگ از ابتدای آبان تا پایان اردیبهشت منتهی به سال آبی ۹۸ -۱۳۹۷ برای پیش‌بینی بارش سال آبی ۹۹-۱۳۹۸

Fig 4. Cumulative rainfall of Kohrang station from the beginning of November to the end of May ending the water year 2018-2019 for predict the rainfall of the water year 2018-2019

بعد از تجمعی کردن با استفاده از روش خوشه‌بندی و شبکه عصبی RBF، داده‌های دوره تاریخی بر اساس طول دوره آماری به گروه‌های ۳، ۵ و ۷ طبقه‌بندی شدند. به‌عنوان‌مثال برای برآورد بارش سال آبی ۹۹-۱۳۹۸ ایستگاه کوهرنگ، بارش دوره تاریخی یعنی سال آبی ٦٧-١٣٦٦ لغایت ۹۸-۱۳۹۷ به ۷ طبقه بارش از زیر نرمال تا بالای نرمال گروه‌بندی شد. گروه‌بندی داده‌های تجمعی بارش در نرم‌افزار Nero Solution با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی RBF انجام شد. بعد از گروه‌بندی، با استفاده از معیار شباهت بهترین گروه بارش برای سال آبی مورد پیش‌بینی تعیین شد. به این صورت که بارش تجمعی رخ داده شده در انتهای آذر ماه در سال آبی مورد پیش‌بینی محاسبه و فاصله آن با گروه‌های بارش تعیین شد. گروهی که حداقل فاصله را داشت به‌عنوان بهترین گروه برای تعیین الگو و میزان بارش در پنج ماه آتی یعنی دی، بهمن، اسفند، فروردین و اردیبهشت انتخاب شد. در همین راستا با توجه به میزان بارش و الگوی بارش گروه انتخابی، مدلی که میزان بارش و الگوی بارش را نزدیک به گروه انتخابی گفته باشد انتخاب شد. در نهایت بارش حوزه‌ای مدل اقلیمی منتخب به بارش در محل ایستگاه تبدیل و به‌عنوان یکی از ورودی‌های مدل بارش- رواناب در مدل جایگذاری و مقدار آورد ورودی به سد پیش‌بینی شد.

لازم به ذکر است که پارامتر دما نیز همانند پارامتر بارش جزء ورودی‌های مدل بارش- رواناب بوده و نیاز است که مقدار آن

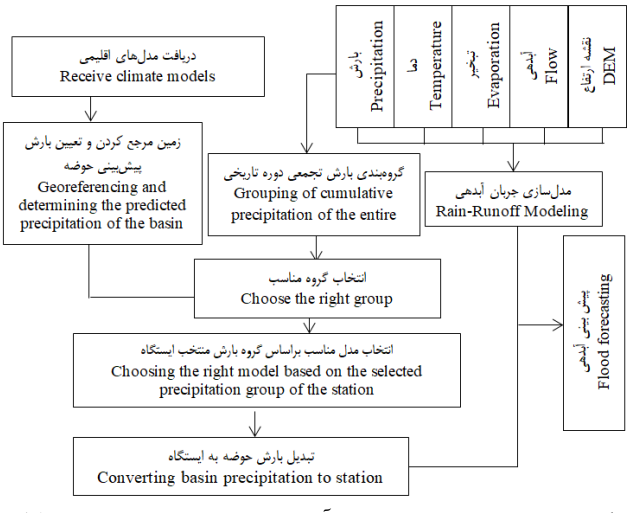
1. Artificial Neural Network (ANN)
2. Radial Basis Function(RBF)

جدول ٤- مقادیر خطای محاسبه‌شده در دوره واسنجی و صحت‌سنجی سدهای موردمطالعه

Table 4. Calculated error values in the calibration and validation period of study dams

حوزه	Basin	دوره	Period	NME	NASH SUTCLEIF	NRMSE
کارون ٤	Karoon 4	واسنجی	Calibration	0.02	0.756	0.487
		صحت‌سنجی	Validation	0.07	0.712	0.542
میانی کارون ۳و ۱	Local Karoon 3, 1	واسنجی	Calibration	-0.189	0.758	0.424
		صحت‌سنجی	Validation	-0.008	0.700	0.595
زاینده‌رود	Zayanderoud	واسنجی	Calibration	-0.038	0.867	0.345
		صحت‌سنجی	Validation	0.116	0.734	0.428
رودبار	Roudbar	واسنجی	Calibration	-0.069	0.806	0.323
		صحت‌سنجی	Validation	0.108	0.703	0.468
دز	Dez	واسنجی	Calibration	-0.284	0.564	0.983
		صحت‌سنجی	Validation	0.073	0.623	0.744
سردشت	Sardasht	واسنجی	Calibration	-0.108	0.859	0.366
		صحت‌سنجی	Validation	0.003	0.858	0.373

پیش‌بینی و در مدل جایگذاری شود. در این تحقیق در تمامی سال‌ها و تمامی سدهای موردبررسی از مدل پیش‌بینی CFSv2 استفاده شد. به این صورت که مقدار آن تعیین و با دمای دوره تاریخی ایستگاه سینوپتیک استفاده‌شده مقایسه شد. درصورتی‌که دمای پیش‌بینی برابر با دمای متوسط باشد مقدار عددی متوسط در مدل به‌عنوان دمای پیش‌بینی لحاظ شد ولی چنانچه دمای پیش‌بینی کاهش یا افزایش نسبت به دوره تاریخی داشته باشد مقدار افزایش یا کاهش در داده‌های دمای متوسط لحاظ و سپس در مدل قرار داده شد. شکل ۵ مراحل انجام پیش‌بینی آورد ورودی به سدهای موردمطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۵- مراحل انجام پیش‌بینی آورد ورودی به سدهای موردمطالعه

Fig 5. The stages of forecasting the inflow to the studied dams

آماره‌های ارزیابی مدل‌ها

به‌منظور ارزیابی نتایج مدل‌ها از سه معیار خطای میانگین نرمال شده[1]، ریشه میانگین مجموع مربعات نرمال شده[2] و نش ساتکلیف[3] استفاده شد. هر چه مقدار NME و NRMSE به صفر و NSE به یک نزدیک‌تر باشد جواب بهتری برای مدل حاصل شده است [٦].

$$NME = \frac{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_{io}-y_{ip})}{n}}{\bar{y}_o} \quad (۱)$$

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_{io}-y_{ip})^2}{n}}{\bar{y}_o}} \quad (۲)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_{io}-y_{ip})^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_{io}-\bar{y}_o)^2} \quad (۳)$$

در روابط (۱)، (۲) و (۳)، y_{io} داده‌های مشاهداتی، y_{ip} داده‌های محاسباتی، $\bar{y}_o$ متوسط داده‌های مشاهداتی، $\bar{y}_p$ متوسط داده‌های محاسباتی و n تعداد کل داده‌ها است.

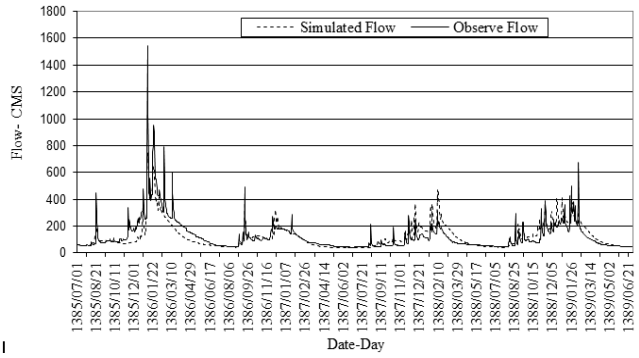
نتایج

واسنجی و صحت سنجی مدل بارش- رواناب NAM

جدول ٤ نتایج معیارهای ارزیابی برای هر دو دوره واسنجی و اعتبارسنجی سدهای موردمطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به‌استثنای سد دز در تمامی سدهای موردمطالعه مقدار نش در دوره واسنجی بیش‌تر از ۰/۷۵ محاسبه شده است به‌طوری‌که سردشت و زاینده‌رود به ترتیب با مقادیر نش ۰/۸۵۹ و ۰/۸٦۷ نسبت به دیگر سدهای موردمطالعه در دوره واسنجی بیش‌تر بوده است. هم‌چنین در دوره صحت‌سنجی نیز سد دز کمتر از ۰/۷ بوده است. ولی دیگر سدهای موردمطالعه بیش‌تر بوده‌اند.

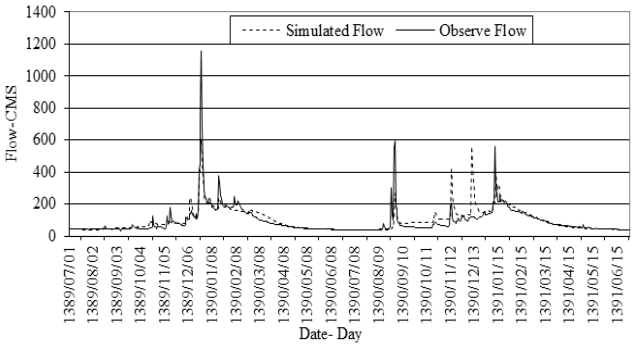
1. Normalized Mean Error (NME)
2. Normalized Root Mean Square Error (NRMSE)
3. NASH SUTCLEIF

به‌منظور ارزیابی و بررسی عملکرد مدل مورد آزمون و تعیین میزان دقت مدل طراحی‌شده علاوه بر استفاده از سه پارامتر ارزیابی خطا، جریان خروجی شبیه‌سازی‌شده همراه با مقادیر مشاهده‌شده در طول دوره آماری واسنجی و صحت‌سنجی رسم شد. شکل‌های ٦ و ٧ نتایج دوره واسنجی و صحت‌سنجی حوزه آبخیز منتهی به سد کارون ٤ را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که مدل واسنجی شده توانسته است مقادیر خوبی را هم در دوره‌های خشک و هم در دوره‌های تر شبیه‌سازی نماید. به‌طوری‌که هیدروگراف‌های شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی دارای تطابق نسبتاً کاملی با هم می‌باشند با توجه به بالا بودن حجم اطلاعات، از آوردن سایر حوزه‌ها خودداری شده است.



شکل ٦- مقایسه مقادیر دبی روزانه مشاهداتی و شبیه‌سازی دوره واسنجی در حوزه آبخیز منتهی به سد کارون ٤

Fig 6. Comparison of observed and simulated daily discharge values in the catchment area leading to Karun Dam 4

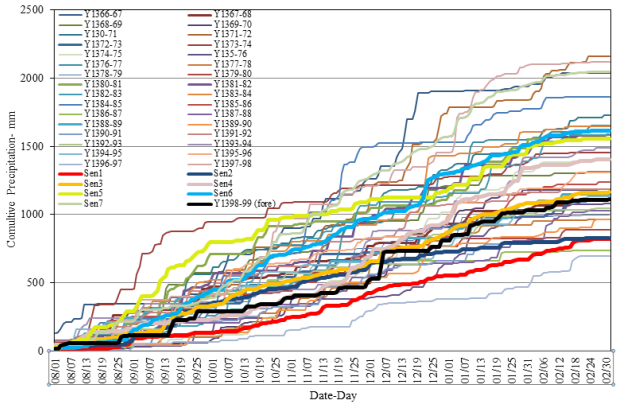


شکل ٧- مقایسه مقادیر دبی روزانه مشاهداتی و شبیه‌سازی دوره اعتبارسنجی در حوزه آبخیز منتهی به سد کارون ٤

Fig 7. Comparison of observed daily discharge values and simulation of the validation period in the catchment area leading to Karun Dam 4

خوشه‌بندی زمانی بارش دوره تاریخی

با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی RBF بارش دوره تاریخی ایستگاه‌های سینوپتیک استفاده‌شده در مدل بارش- رواناب، گروه‌بندی شدند. شکل ٨ مقادیر بارش تجمعی سال‌های ٦٧-١٣٦٦ لغایت ٩٨-١٣٩٧ ایستگاه کوهرنگ به همراه گروه‌بندی که در آذر سال آبی ٩٩-١٣٩٨ انجام شد را نشان می‌دهد. مطابق با شکل ٨ بارش سالانه رخ داده شده در طی سال آبی ٦٧-١٣٦٦ لغایت ٩٨-١٣٩٧ از کمتر از ١٠٠٠ میلی‌متر تا بیش‌تر از ٢٠٠٠ میلی‌متر متغیر بوده است. با توجه به طول دوره آماری ایستگاه کوهرنگ (٣٢ سال) داده‌های بارش به ٧ گروه ١ تا ٧ از زیر نرمال تا بالای نرمال گروه‌بندی شدند. مطابق با شکل ارائه‌شده بارش رخ داده شده در انتهای آذر ماه سال آبی ٩٨-١٣٩٧ با گروه ٣ کمترین فاصله را داشته است. لذا در ابتدای این سال یعنی آذر ماه سال آبی ٩٩-١٣٩٨، با توجه به معیار شباهت از بین گروه‌ها، گروه ٣ منتخب شد. شکل ٩ بارش تجمعی سال‌هایی که در گروه ٣ قرار گرفته است را نشان می‌دهد. مطابق با شکل، بارش رخ داده شده در سال آبی ٩٩-١٣٩٨ در دو ماه دی و بهمن از گروه منتخب کمتر بوده ولی در ماه اسفند اختلاف جبران شده به‌گونه‌ای که تا انتهای اردیبهشت از نظر الگو و میزان بارش با گروه ٣ مطابقت داشته است.



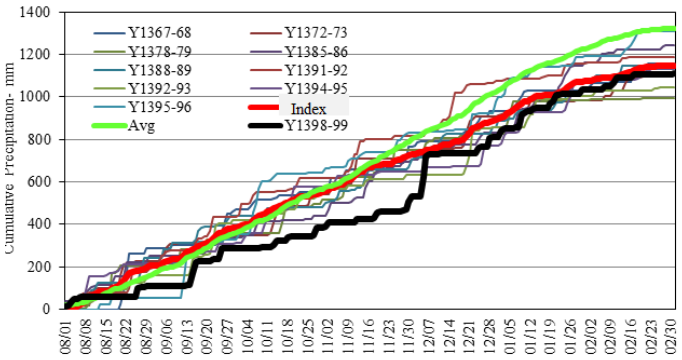
شکل٨- مقادیر بارش تجمعی سالانه دوره تاریخی ایستگاه کوهرنگ به همراه گروه‌بندی در سال آبی ٩٩-١٣٩٨

Fig 8. Annual cumulative rainfall values of the historical period of Kohrang station along with grouping in the water year 2018-2019

مدل‌های اقلیمی بارش

بعد از زمین مرجع کردن تصاویر پیش‌بینی میزان بارش مدل‌های پیش‌بینی در حوزه‌های آبخیز موردمطالعه تعیین شد. جدول ٥ نتایج مربوط به بارش ماهانه پیش‌بینی‌شده مدل‌های گروهی چندگانه پیش‌بینی شمال آمریکا در سطح حوزه آبخیز کارون ٤ در سال آبی ٩٩-١٣٩٨ را نشان می‌دهد. مطابق با این جدول بیش‌ترین بارش پیش‌بینی‌شده مربوط به دو مدل CFSv2 و GFDF با مقدار ٤٥٠ و ٤٧٥ میلی‌متر است همچنین کمترین بارش پیش‌بینی در دو مدل CMC1 و GFDL با مقادیر ١٢٢ و ١٨٤ مشاهده می‌شود.

مطابق با جدول ارائه‌شده دو مدل CFSv2 و GFDF الگو و میزان



شکل ۹- بارش تجمعی ایستگاه کوهرنگ از ابتدای آبان تا پایان اردیبهشت ماه سال آبی ۹۹-۱۳۹۸ به همراه سال‌های منتخب و مورد انتظار سال آبی ۹۹-۱۳۹۸

Fig 9. Cumulative rainfall of Kohrang station from the beginning of November to the end of May of the water year 2018-2019 along with selected and expected years of the water year 2018-2029

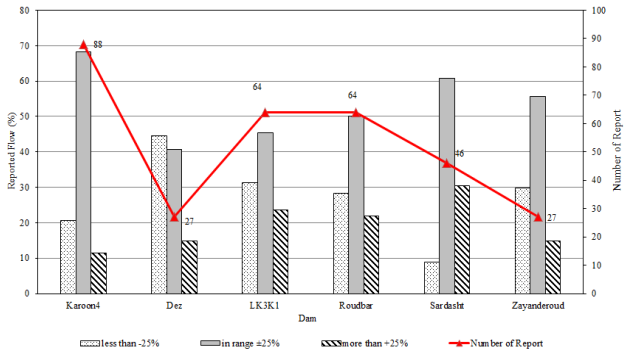
جدول ۵- نتایج مربوط به بارش مشاهده‌ای و پیش‌بینی‌شده مدل‌های گروهی چندگانه شمال آمریکا در حوزه آبخیز کارون٤

Table 5. The results related to the observed and predicted rainfall of the NMME in the Karun 4 catchment area

نام مدل Model Name	دی January	بهمن February	اسفند March	فروردین April	اردیبهشت May	جمع Sum
مشاهده‌ای Observational	99	118	307	221	79	825
گروه ۳ Group 3	230	136	161	206	78	811
CFSv2	115	80	61	92	102	450
CMC1	51	32	16	9	14	122
CMC2	45	37	39	34	29	184
GFDF	95	82	79	115	104	475
GFDL	48	30	19	18	30	145
NASA	58	61	34	42	47	242
NCAR	82	75	55	43	48	303
NMME	71	57	43	50	53	274

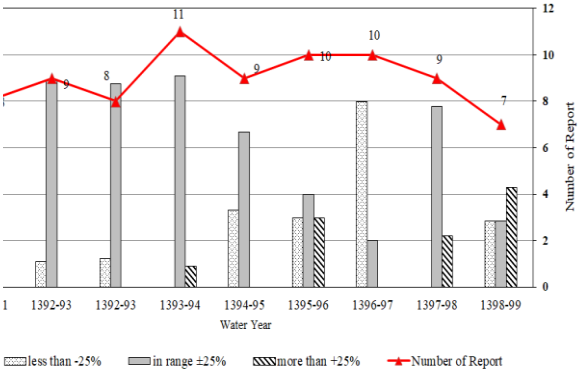
بارش نزدیک‌تری را به گروه ۳ داشته است. در این حالت مدلی که در سال‌های گذشته استفاده‌شده باشد انتخاب خواهد شد. لذا در ابتدای دی مدل پیش‌بینی CFSv2 به‌عنوان بهترین و مناسب‌ترین مدل پیش‌بینی بارش در ماه‌های آتی برای حوزه آبخیز منتهی به سد کارون ٤ برگزیده شد. با استفاده از این روش بهترین و مناسب‌ترین مدل پیش‌بینی بارش برای بقیه ایستگاه‌های موردمطالعه و در دیگر سال‌های آبی دیگر به دست آمد.

بعد از اینکه بارش پیش‌بینی‌شده در سطح حوزه تعیین شد، به بارش ایستگاه تبدیل و در مدل بارش- رواناب برای پیش‌بینی آبدهی ورودی به سدهای موردمطالعه قرار داده شد. لازم به ذکر است که برای تبدیل بارش حوزه به ایستگاه، بارش پیش‌بینی‌شده در سطح حوزه آبخیز در ضریب بارش بلندمدت ایستگاه سینوپتیک به بارش بلندمدت حوزه آبخیز ضرب شد. شکل ۱۰ وضعیت پیش‌بینی ورودی به سدهای موردمطالعه نسبت به تعداد گزارش‌های در ۳ ماهه تجمعی را نشان می‌دهد. مطابق با شکل ارائه شده از بین سدهای موردمطالعه سد کارون ٤ با مقدار ٦٨ درصد و سد سردشت با مقدار ٦١ درصد نسبت به چهار سد دیگر بهترین پیش‌بینی را داشته است. سد دز با ٤١ درصد و سد کارون ۳ با ٤٥ درصد کمترین مقدار را داشته‌اند. به‌استثنای سد سردشت در تمامی سدهای پیش‌بینی آبدهی، درصد تعداد پیش‌بینی‌های دسته پایین بیش‌تر از درصد تعداد پیش‌بینی‌های دسته بالا بوده است.



شکل ۱۰- مقایسه عملکرد پیش‌بینی آبدهی در حوزه‌های آبخیز موردمطالعه

Fig 10. Comparison of watershed prediction performance in the studied watersheds

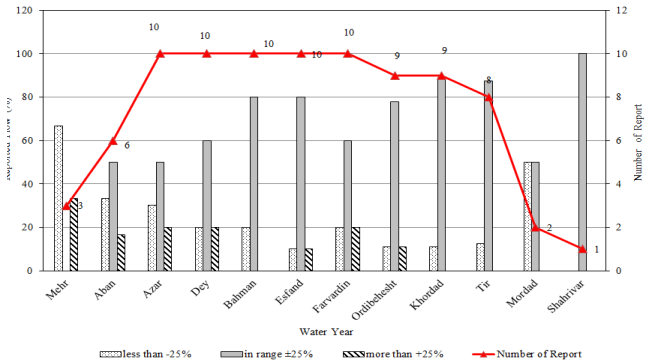


شکل ۱۱- مقایسه عملکرد پیش‌بینی ۳ ماهه آبدهی حوزه آبخیز منتهی به سد کارون ٤ در سال‌های آبی مختلف

Fig 11. Comparison of the 3-month prediction performance of the catchment area leading to the Karun 4 dam in different water years

شکل ۱۱ عملکرد پیش‌بینی ۳ ماهه آبدهی حوزه آبخیز منتهی به سد کارون ٤ در سال‌های آبی مختلف را نشان می‌دهد. مطابق با این شکل در سال‌های آبی۹۲ -۱۳۹۱ لغایت ۹۵-۱۳۹٤ پیش‌بینی سه ماه آتی در بیش‌تر از ۸۰ درصد مواقع در محدوده ۲۵± درصد مقادیر واقعی بوده است. به‌طوری‌که در سال آبی ۹۲-۱۳۹۱ تمامی پیش‌بینی‌ها در محدوده ۲۵± درصد مقادیر واقعی بوده است. سال‌های آبی ۹٦-۱۳۹۵ و ۹۹-۱۳۹۸ نیز پیش‌بینی سه ماه آتی در بیش‌تر از ٦۰ درصد مواقع در محدوده ۲۵± درصد مقادیر واقعی بوده است. در بین سال‌های موردمطالعه ۹۷-۱۳۹٦ و ۹۸-۱۳۹۷ و ۱٤۰۰-۱۳۹۹ نتایج ضعیفی را داشته است به‌طوری‌که پیش‌بینی سه ماه آتی در بیش‌تر از ٦۰ درصد مواقع در خارج محدوده ۲۵± درصد مقادیر واقعی بوده است.

شکل ۱۲ عملکرد پیش‌بینی ۳ ماهه آبدهی حوزه آبخیز منتهی به سد کارون ٤ در ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. مطابق با شکل



شکل ۱۲- مقایسه عملکرد پیش‌بینی ۳ ماهه آبدهی حوزه آبریز منتهی به سد کارون ٤ در ماه‌های مختلف سال

Fig 12. Comparison of the 3-month forecast performance of the catchment area leading to the Karun 4 dam in different months of the year

در ماه‌های بهمن، اسفند، اردیبهشت، خرداد، تیر و شهریور نتایج خوبی ارائه شده است به‌گونه‌ای که بیش از ۷۵ درصد پیش‌بینی‌ها در محدوده ۲۵± درصد مقادیر واقعی بوده است.

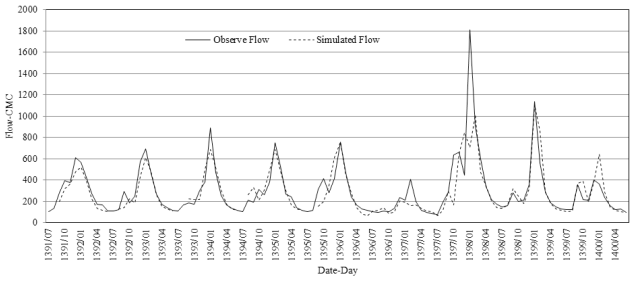
برای نشان دادن کارایی روش به‌کاربرده شده در این مقاله مقادیر آبدهی پیش‌بینی‌شده بر اساس بارش پیش‌بینی‌شده با مقادیر آبدهی مشاهده‌ای مقایسه و میزان خطا با استفاده از سه پارامترNME، NASH SUTCLIF و NRMSE تعیین شد. جدول ۶مقادیر خطا آبدهی در بازه پیش‌بینی (۹۱-۱۳۹۰ لغایت ۱٤۰۰-۱۳۹۹) در سد کارون ٤ را نشان می‌دهد. مطابق با این جدول مقادیر NME، NASH SUTCLIF و NRMSE در دوره واسنجی به ترتیب ۰/۰٦٤، ۰/٦٤۹ و ۰/۰٤٦ است. با توجه به نتایج میزان پارامتر نش از ۰/۷ کمتر بوده است که به دلیل نتایج ضعیف پیش‌بینی در سه سال آبی ۹۷-۱۳۹٦، ۹۸-۱۳۹۷ و ۱٤۰۰-۱۳۹۹ نسبت به سال‌های دیگر بوده است.

جدول ٦- نتایج پیش‌بینی آورد سد کارون ٤

Table 6. Prediction results of Karun dam 4

NME	NASH SUTCLEIF	NRMSE
-0.064	0.649	0.046

برای ارائه بهتر کارایی این روش در حوزه آبریز کارون ٤ سری زمانی مقادیر آبدهی ماهانه و پیش‌بینی‌شده حوزه آبخیز کارون ٤ از سال آبی ۹۲-۱۳۹۱ لغایت ۱٤۰۰-۱۳۹۹ در شکل ۱۳ ارائه شد. مطابق با شکل ۱۳، آبدهی پیش‌بینی به‌استثنای چند ماه در بیش‌تر ماه‌های سال‌های آبی با مقادیر واقعی مطابقت داشته به‌طوری‌که هم در بازوی بالارونده و هم در بازوی پایین‌رونده اختلاف ناچیزی داشته است.



شکل ۱۳- مقایسه مقادیر آبدهی ماهانه مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده در حوزه آبخیز منتهی به سد کارون ٤

Fig 13. Comparison of observed and predicted monthly water discharge values in the catchment area leading to Karun Dam 4

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از مدل بارش- رواناب NAM جریان ورودی به سدهای کارون ٤، میانی کارون ۳ و ۱، زاینده‌رود، رودبار، دز و سردشت مدل‌سازی شد. برای برآورد و پیش‌بینی بارش به‌عنوان پارامتر اصلی در مدل بارش- رواناب داده‌های دوره تاریخی بارش استفاده‌شده در مدل بارش- رواناب با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی با تابع پایه‌ای شعاعی (RBF) گروه‌بندی و گروه موردنظر با توجه به شرایط اقلیمی پیش‌بینی‌شده تعیین شد. در نهایت با توجه به گروه تعیین‌شده مدل پیش‌بینی بارش از بین مدل‌های NMME تعیین و میزان آبدهی ورودی به سدها برآورد شد. با توجه به نتایج پارامترهای ارزیابی و مقدار نش محاسبه‌شده در دوره واسنجی و رسم نمودار آبدهی در دوره واسنجی و صحت‌سنجی، مدل بارش- رواناب NAM به همراه روش بهینه‌یابی سراسری SCE به‌خوبی توانسته است آبدهی ورودی به سدهای موردمطالعه به‌استثنای سد دز را مدل‌سازی نماید. برتری نتایج را می‌توان به دلیل استفاده از روش بهینه‌سازی سراسری SCE در واسنجی پارامترهای مدل دانست که با نتایج قادری و همکاران [۱۳] مطابقت دارد. همچنین نتایج ضعیف حوزه آبخیز سد دز را می‌توان به دلیل عدم انتخاب مناسب ایستگاه بارش توجیه کرد. با توجه به شکل و مساحت حوزه آبخیز دز و جانمایی ایستگاه بارش که در بخش شرقی حوزه آبخیز قرار گرفته است، ایستگاه الیگودرز نماینده مناسبی برای بارش در سطح حوزه آبخیز نبوده است که این نتیجه تحقیق با نتایج شهبازی و آخوند علی [۱۵] در حوزه الله- جوکنک مطابقت دارد.

با خوشه‌بندی زمانی که بر روی داده‌های بارش ایستگاه کوهرنگ در اوایل سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد داده‌های دوره تاریخی به ۷ گروه از زیر نرمال تا بالای نرمال طبقه‌بندی شد. بر اساس معیار شباهت در ابتدای سال آبی پیش‌بینی شد که الگو و میزان بارش سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ شبیه گروه ۳ باشد لذا گروه ۳ یعنی بارش زیر نرمال در ابتدای سال آبی ۹۸- ۱۳۹۷ انتخاب شد. نتایج این بخش نشان‌دهنده پتانسیل استفاده از روش خوشه‌بندی در پیش‌بینی بارش است که با نتایج زهرایی و روزبهانی [۲۲] همسو بوده است. بارش ماهانه پیش‌بینی‌شده مدل‌های گروهی چندگانه پیش‌بینی شمال آمریکا (NMME) در حوزه آبخیز کارون ٤، مدل پیش‌بینی CFSv2 را به‌عنوان بهترین مدل بارش در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ تشخیص داد که با نتایج باباییان و همکاران [۱] مطابقت داشته است.

طبق نتایج به‌دست‌آمده از پیش‌بینی آورد ورودی به سدهای موردمطالعه در زمان واقعی، سد کارون ٤ با مقدار ٦٨ درصد و سد سردشت با مقدار ٦١ درصد نسبت به دیگر سدها نتایج بهتری را داشته‌اند. همچنین سد دز نسبت به دیگر سدهای موردمطالعه نتایج ضعیف‌تری را نشان داده است. با توجه به نامناسب بوده مدل بارش- رواناب ساخته‌شده برای حوزه آبخیز دز نمی‌توان انتظار پیش‌بینی دقیقی داشته باشیم. طی سال‌های آبی ۹۲-۱۳۹۱ لغایت ۱٤۰۰-۱۳۹۹ به‌استثنای سال‌های آبی ۹۷-۱۳۹٦، ۹۸-۱۳۹۷ و ۱٤۰۰-۱۳۹۹ در بقیه سال‌ها (٦ سال) بیش از ٦٧ درصد مواقع آورد ورودی پیش‌بینی‌شده در بازه مشاهداتی پیش‌بینی شده است. به‌طوری‌که در سال آبی ۹۲-۱۳۹۱ دقت ۱۰۰ درصدی را داشته است. همچنین بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از پیش‌بینی آورد ورودی به سد کارون ٤ در ماه‌های مختلف، به‌استثنای ماه‌های مهر، آبان، آذر و مرداد در بقیه ماه‌ها بیش از ٦۰ درصد مواقع نتایج درستی ارائه شده است. با بررسی آمار درازمدت ایستگاه‌های موجود در حوزه مشخص شد که تأثیر ایستگاه‌ها در ماه‌ها و سال‌های مختلف در رواناب خروجی حوزه متفاوت است و نمی‌توان از یک الگوی ثابت وزن‌دهی برای کل سال جهت برآورد بارش متوسط حوزه‌ای استفاده کرد که با نتایج شهبازی و آخوند علی [۱۵] همسو بوده است.

منابع

1. Babaeian, I.Khazanedari, L.Abbasi, F.Modirian, R.Karimian, M. and Malbusi, S. 2018. Monthlyprediction of drought over southwestern basin of Iranusing CFSv.2 model. Iran-Water ResourcesResearch 14(3),133-145. (In Persian)

2. Broomhed, D.S. and Lowe, D. 1988. Multivariate functional interpolation and adaptive networks. Complex system. 321-355.

3. Dibike, Y.B. Solomatin, D. P. and Abbot, M. B. 1999. On the encapsulation of numerical- Hydrulic models in artificial neural networks. Journal of the hydraulic research. 37(2), 147-161.

4. Dong, X. Dohmen-Janssen, F.M. Booij, M. and Hulscher, S. 2006. Effect of flow forecasting quality on benefits of reservoir operation – a case study for the Geheyan reservoir (China). Hydrology and Earth System Sciences Discussions.3,3771-3814.

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

6. Eslami, H.R. and Qaderi, K. 2005. Combin catchments flood forecasting using shuffled complex evolution (SCE) method. In:

Proc. Of International conference on innovation, advances and implementation of flood forecasting technology, Tromsø, Norway.

7. Eslami, H.R. Mahzarnia, Sh. and Eivazi, M. 2012.Simulation and hydrologic monitoring of basin Karun 4 dam as management support in during construction period and Dehydration. In: Proc. The First International Conference on Dams & Hydropower, 8-9 Feb, Tehran, Iran. (In Persian)

8. Ghosh, A. Roy, M.B, and Roy, P.K. 2022. Evaluating the performance of MIKE NAM model on rainfall-rounoff in lower Gagetic floodplain, West Bengal, India, Journal of the Modeling Earth Systems ndEnviroment, 1-17.

9. Goharnejad, H. MohamadiNaser, M. and ZakeriNiri, 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),71-82. (In Persian)

10. Kibena, J. Nhapi, I. and Gumindoga, W. 2014. Assessing the relationship between water quality parameters and changes in landuse patterns in the Upper Manyame River, Zimbabwe. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C 67,153-163.

11. Madsen, H. 2000. Automatic calibration of a conceptualDownloaded from mcej.modares.ac.ir at 11:58 IRDT on Saturday August 7th 2021rainfall-runoff model using multiple objectives. Journalof Hydrology, 235: 276-288.

12. Markopoulos, A.P. Georgiopoulos, S. and Manolakos, D. 2016. On the use of back propagation and radial basis function neural networks in surface roughness prediction. Journal of Industrial Engineering International, 12, 389-400.

13. Qaderi, K. Mohammad valiSamani, J. Eslami H.R. and Saghafian, B. 2006. Auto calibration of a rainfall- runoff model based on SCE method. Journal of Iran-Water Resources Research. 2(2),39-52. (In Persian)

14. SajadiBami, Y. Porhemmat, J. Sedghi, H. and JalalKamali, N. 2020. Comparison of MIKE NAM and AWBM models performance in simulation of daily runoff in mountainous regions, Journal of Soil and Water Resources Protection, 10(3):1-14.(In Persian)

15. Shahbazi, A. Akhoond Ali, A. 2009. Presenting the calibration algorithm of MIKE NAM conceptual rainfall-runoff model in basins without sufficient meteorological data (Case study of Abriz Allah-Jokanak basin). The first international conference on water resources with a regional approach.

16. Shamsudin, S. and Hashim, N. 2002. Rainfall runoffsimulation using MIKE NAM. Journal of CivilEngineering, 15(2), 26-38.

17. Tchinda, A.F. Tanessong, R.S. Mamadou, O. and Orou, J.B.C. 2022. Assessing precipitation seasonal forecasts in Central Africa using North American Multimodel Ensemble (NMME). Theoretical and Applied Climatology, 1-17.

18. Troccoli, A. 2010. Seasonal climate forecasting. Meteorological Applications, 17(3), 251-268.

19. Vitart, F. Buizza, R. Balmaseda, M. A. Balsamo, G. Bidlot, J. R. Bonet, A. Fuentes, M. Hofstadler, A. Molteni, F. and Palmer, T. N. 2008. The new VAREPS monthly forecasting system: A first step towards seamless prediction. Journal of the Royal Meteorological Society, 134(636), 1789-1799.

20. Vitart, F. Robertson, A. W. and Anderson, D. L. 2012. Subseasonal to Seasonal Prediction Project: Bridging the gap between weather and climate. Bulletin of the World Meteorological Organization, 61(2).1-8.

21. Ye, J. He, Y. Pappenberger, F. Cloke, H.L. Manful, D.Y. and Li, Z. 2014. Evaluation of ECMWFmedium-range ensemble forecasts of precipitation for river basins, Quarterly. Journal of the RoyalMeteorological Society, 140(682), 1615-1628.

22. Zahraie, b. Roozbhani, A. 2007. Clustering of meteorological signals according to rainfall changes (Case study: Rainfall forecasting in Sistan and Baluchistan Province). Iran- Watershed Management Science &Enginnering. 1(2), 2-10.

نشریه علمی
علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

Vol. 17, No. 62, Full 2023
سال هفدهم- شماره ٦٢- پاییز ١٤٠٢

Evaluating the Effectiveness of the Integrated Model of Precipitation Time Clustering and Climate Forecasting in Estimating Monthly Flow

H.R. Eslami[1], S.Jamali[2], M.Eivazi[3]* and K.Eslami[4]
Received: 24-07-2022 Accepted: 08-10-2023

Abstract

Rainfall is one of the variables that have the most impact on runoff. In this study, the inflow of Karun 4, Dez, Karun 3, Rudbar, Sardasht and Zayandeh-Roud dams was modeled using the NAM rainfall-runoff model and past meteorological and hydrological data. In order to determine the amount of rainfall input to the model of North America were received. Then, to select the best precipitation forecasting model, precipitation temporal clustering method and artificial neural network with radial basis function were used. After determining the rainfall and predicting the inflow to the dam to check the performance of the rainfall model selection, the predicted monthly inflow was compared with the actual monthly inflow. The results showed that more than 60 percent of the time in Karun 4 and Sardasht dams, with the cooperation of the best climate model, the rainfall values are close to the observed values. The normalized mean error rate, normalized root mean sum of squares and Nash Sutcliffe in Karun Dam 4 are calculated as -0.064, 0.046 and 0.649, respectively. The results of this research show the importance of rainfall time clustering method to choose the best rainfall climate model to improve irrigation results.

Keywords: Climatic forecasting, RBF, NMME, Grouping, Discharge forecast.

1. Managing Director of Paishgar Tadbir Azar Company (Danesh Basian) and Master of Water Resources, Faculty of Water Engineering, University of Agriculture and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Civil Engineering and Land Resources, Islamic Azad University, Tehran Branch, Center, Iran
3. Corresponding author, expert in the water resources department of Paishgar Tadbir Azar company (Danesh Banyan) and a master's degree in water resources, Faculty of Water Engineering, University of Agriculture and Natural Resources, Gorgan, Iran masoomeh.eivazi@gmail.com
4. Software expert – Payeshgar Tadbir Afzar Company (Knowledge Base)