پیش‌بینی گروهی جریان با استفاده از مدل هیبرید بارش رواناب
(مطالعه موردی حوضه آبریز رود زرد)

علی شهبازی[1]، علی محمد آخوندعلی[2*] و فریدون رادمنش[3]

۱- دانشجوی دکتری هیدرولوژی دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲*- نویسنده مسئول، استاد گروه هیدرولوژی و منابع آب دانشگاه شهید چمران اهواز akhali@scu.ac.ir

۳- دانشیار گروه هیدرولوژی و مهندسی منابع آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

تاریخ دریافت:۹۲/۷/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۴/۶/۲۵

چکیده

یکی از مهمترین اطلاعات در بهره‌برداری مطلوب از منابع آب، اطلاعات مربوط به پیش‌بینی آبدهی در آینده است. دراستفاده از اطلاعات پیش‌بینی جریان در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود از اهمیت به سزایی برخوردار است. پیش‌بینی گروهی جریان یکی از روشهایی است که عدم قطعیت پیش‌بینی به دلیل عدم اطلاعات دقیق پدیده‌های هواشناسی را پوشش می‌دهد. هدف از این تحقیق تولید و ارزیابی پیش‌بینی گروهی جریان ماهانه برای حوضه آبریز رود زرد در ایران می باشد. برای تولید پیش‌بینی گروهی از دو مدل استفاده شد: توسعه یک مدل بارش رواناب به روش تانک مدل (CRFM) و تلفیقمدل CRFM با سیستم استنتاج فازی تطبیقی و توسعه مدل هیبرید. در ادامه روش اصلاح اریبی واقعه‌ای روی پیش‌بینی‌های گروهی اعمال و نتایج هر سه پیش‌بینی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد دقت مدل شبیه سازی جریان رودخانه تاثیر قابل توجهی در کیفیت نتایج پیش‌بینی گروهی دارد به گونه‌ای که امتیاز احتمالاتی رتبه‌ای در مدل هیبرید که دقت بالاتری نسبت به مدل CRFM داراست از ۰/۵۶ به ۰/۳۸ کاهش یافته و ماه‌های با پیش‌بینی مناسب(امتیاز مهارت مثبت) از ۸۲ به ۱۱۵ ماه و در صورت اعمال اصلاح اریبی به ۱۱۹ ماه از کل ۱۸۲ ماه دوره شبیه افزایش می یابد.

کلید واژه‌ها: پیش‌بینی جریان به روش گروهی، مدل بارش رواناب، مدل هیبرید، اصلاح اریبی.

Ensemble Stream Flow Prediction (ESP) Using Hybrid Rainfall Runoff Model (Case study: Roud Zard Basin)

A. Shahbazi[1], A. M. Akhond Ali[2*] and F. Radmanesh[3]

1- Ph.D Student of Hydrology, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

2*- Corresponding Author, Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

3- Associate Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

Received:6 October 2013 Accepted:16 September 2015

Abstract

One of the most important information which is effective in desirable utilization of water resources is the information related to predicting the future available water in the catchment. Considering the existing uncertainty it is of significant importance when streamflow forecasting information is used. The ensemble stream flow prediction (ESP) is one of the methods in considering the forecast uncertainty. The goal of this research is to develop and evaluate monthly ESP for Roud Zard basin in Iran. Two models have been used to produce ESP: A conceptual

Archive of SID

www.SID.ir

river flow model based on Tank method (CRFM), and Combining the CRFM model with the adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS) to develop a hybrid model. Following, the Event bias correction method is employed on generated ESP's and the results of the three predictions have been evaluated. The results show that the precision of base stream flow simulation model had considerable effects in the quality of the ensemble prediction as far as RPS in hybrid model that had higher precision than CRFM model has decreased from 0.56 to 0.38 and the months with suitable prediction (positive skills score) increased from 82 to 115 months and in case of employing bias correction, there will be an increase to 119 months from the total 182 months of simulation period.

Keywords: Ensemble Stream flow Prediction (ESP), Rainfall Runoff model, Hybrid model, Event bias correction method.

مقدمه

استفاده از اطلاعات پیش‌بینی جریان یکی از قدیمی ترین موضوعات در زمینه بهره برداری و مدیریت منابع آب می باشد(یه و همکاران[۱]،۱۹۸۲). مطالعات زیادی به بررسی روش‌های بکارگیری پیش‌بینی جریان و عدم قطعیت‌های آن در مدل‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی سیستم‌های منابع آب پرداخته است(یائو و گئورکاکائوس[۲]، ۲۰۰۱؛ چیو و همکاران[۳]، ۲۰۰۳؛ کیم و پالمر[۴]، ۱۹۹۷؛ هیونگ و همکاران[۵]، ۲۰۱۱). اطلاعات پیش‌بینی جریان معمولا به سه روش ارائه می گردد: پیش‌بینی های قطعی، پیش‌بینی های احتمالاتی و پیش‌بینی‌های سناریویی. پیش‌بینی‌های قطعی از دیر باز انتخاب سنتی بهره برداران منابع آب بوده است و دلیل آن سادگی به‌دست آوردن و به‌کار گرفتن آنها می‌باشد. نقطه ضعف این روش پیش‌بینی در نظر نگرفتن عدم قطعیت‌های پیش‌بینی می‌باشد. پیش‌بینی جریان به روش گروهی[۶] (ESP) از جمله روشهایی است که عدم قطعیت پیش‌بینی را کاهش می دهد. در این روش گروه‌ها و یا خوشه‌های جریان تولید شده تابعی از شرایط اولیه هیدرولوژیکی در زمان پیش‌بینی و مدل بارش رواناب است. از این رو این تکنیک به عنوان یک روش شبیه سازی مونت کارلو شرطی شناخته می‌شود(دی[۷]،۱۹۸۵). دقت پیش‌بینی سناریویی جریان تا حد زیادی به دقت مدلهای بارش رواناب مورد استفاده ارتباط دارد(جیونگ و کیم[۸]، ۲۰۰۲). با پیشرفت روش‌های مدل‌سازی و امکانات کامپیوتری امروزه پیش‌بینی گروهی جریان به عنوان مولفه کلیدی قرن ۲۱ برای خدمات پیش‌بینی پیشرفته هیدرولوژی در سرویس هواشناسی ملی آمریکا[۹] می‌باشد(شایک و همکاران[۱۰]، ۲۰۰۴). به طور کلی از این روش پیش‌بینی با توجه به اطلاعات زیادی که در زمینه جریان آینده تولید می‌کند در طیف وسیعی از مسائل منابع آب از جمله مدیریت سیلاب، مدیریت خشکسالی و کاربرد در غالب سیاست-های بهره برداری میان مدت و بلند مدت سیستم های منابع آب استفاده می‌گردد.

برای اولین بار فابر و استدینگر[۱۱] (۲۰۰۱) از روش پیش‌بینی گروهی جریان به صورت هفتگی در قالب الگوریتم بهینه سازی به روش برنامه ریزی پویایی استوکاستیک نمونه‌ای[۱۲] که توسط کلمن و همکاران[۱۳] (۱۹۹۰) پیشنهاد شده بود استفاده کردند. رگوندا و همکاران[۱۴] (۲۰۱۳) به بررسی راهکارهای تولید پیش‌بینی گروهی جریان از پیش‌بینی‌های قطعی پرداختند. در این تحقیق تابع توزیع احتمال شرطی مورد استفاده قرار گرفت که پارامترهای ورودی آن پیش‌بینی قطعی بارش، پیش‌بینی قطعی جریان و آخرین

آبدهی‌های مشاهداتی رودخانه بود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد پیش‌بینی گروهی تولید شده در افق مطلوب مدل هیدرولوژیکی قطعی دارای دقت مناسبی می‌باشد ولی این روش در حوضه های آبریز کوچک بسیار ضعیف عمل می‌کند و علت آن افق پیش‌بینی موثر بسیار کوتاه مدل‌های هیدرولوژیکی قطعی در این حوضه های آبریز می‌باشد.

رنر و همکاران[۱۵] (۲۰۰۹) به ارزیابی استفاده از پیش‌بینی‌های گروهی سیلاب در رودخانه راین پرداختند. در این مقاله با استفاده از معیارهای مختلف ارزیابی پیش‌بینی‌های گروهی به مقایسه عملکرد این روش در زیرحوضه‌های مختلف رودخانه راین پرداخته شده است. جئونگ و کیم (۲۰۰۵) به توسعه مدل شبکه عصبی مصنوعی برای تولید پیش‌بینی‌های گروهی جریان پرداختند. با توجه به اینکه پایه پیش‌بینی‌های گروهی جریان بر مدل‌های مفهومی می‌باشد، دقت خروجی ها نیز تا حدود زیادی به دقت مدل‌های مورد استفاده وابسته است. در مقاله اشاره شده به جای

1 - Yeh *et al.*
2 - Yao and Georgakakos
3 - Chiew *et al.*
4 -Kim and Palmer
5 - Hyung *et al.*
6 -Ensemble Streamflow Prediction
7 -Day
8 - Jeong and Kim
9 - National weather service
10 - Schaake *et al.*
11 - Faber and Stedinger
12 -Sampling Stochastic Dynamic Programming
13 - Kelman *et al.*
14 - Regonda *et al.*
15 - Renner *et al.*

Archive of SID

www.SID.ir

مدل بارش رواناب مفهومی از یک مدل با پایه شبکه عصبی به نام شبکه عصبی گروهی[1] استفاده گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از این نوع مدل‌سازی دقت پیش‌بینی‌ها را تا حد زیادی نسبت به استفاده از مدل‌های بارش رواناب مفهومی افزایش می‌دهد. برون و سئو[2] (۲۰۰۹) یک روش غیرپارمتری برای کاهش اریبی پیش‌بینی‌های گروهی هیدرولوژیکی و هواشناسی ارائه نمودند. بر خلاف سایر مطالعات صورت گرفته در این خصوص که یک توزیع آماری پیش فرض وابسته به پارمترهای آماری را در نظر می‌گیرند در این تحقیق فرض بر این قرار گرفته است که هیچ دیدگاهی نسبت به توزیع احتمالی حاکم بر پیش‌بینی‌ها وجود ندارد. روش مورد استفاد در این تحقیق مشابه روش کوکریجینگ در مباحث زمین آمار می‌باشد. نتایج کاهش قابل ملاحظه اریبی پیش‌بینی‌های با این روش را نشان می‌دهد. یکی از مسائل مهم در بهره‌برداری از مخازن سدها در سیلاب و خشکسالی در اختیار داشتن پیش‌بینی‌های با دقت بالا است. وانگ و همکاران[3] (۲۰۱۲) به توسعه یک ساختار بهره‌برداری بهینه بهنگام از مخازن سدها در شرایط سیلابی پرداختند. توسعه این سیاست بهره‌برداری بر پایه پیش‌بینی‌های گروهی تولید شده توسط موسسه هواشناسی ژاپن صورت گرفت. پیش‌بینی‌های هواشناسی تولید شده توسط یک مدل هیدرولوژیکی به پیش‌بینی‌های گروهی با افق هشت روزه تبدیل شده و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد دقت پیش‌بینی‌ها نسبت به حالت قطعی بهبود قابل ملاحظه‌ای پیدا نمود و راندمان عملکرد مخزن در شرایط سیلابی بسیار بهبود می‌یابد. یانگو و همکاران[4] (۲۰۱۳) اثر ترکیبی شرایط اولیه، پیش‌بینی‌های هواشناسی و عدم قطعیت مدل هیدرولوژیکی در پیش‌بینی‌های گروهی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل اثر شرایط اولیه در فصول خشک می‌تواند تا ۹۰ روز نتایج مدل را متاثر سازد. علاوه بر این یک پارمتر بدون بعد برای بررسی افق مطلوب پیش‌بینی تعریف شد. یکی از مسائل قابل توجه در این تحقیق این است که نتایج نشان می‌دهد کیفیت پیش‌بینی‌های گروهی در شرایط انتقالی از فصول خشک به تر کمتر از شرایط انتقالی از فصول تر به شرایط خشک است. نتایج تحقیق حاضر نیز موید این مطلب است.

در این تحقیق با توجه به نبود مدل‌های آماده در تولید پیش بینی های گروهی ماهانه ابتدا یک مدل مفهومی بارش رواناب توسعه داده شد و با استفاده از روش‌های متدوال آماری عملکرد آن مورد ارزیابی قرار گرفت. از مدل توسعه داده شده برای شبیه سازی شرایط اولیه در حوضه آبریز از جمله رطوبت خاک، وضعیت آب‌های زیرزمینی، پوشش برفی و ... استفاده گردید. در ادامه با استفاده از تلفیق مدل شبیه سازی جریان رودخانه با سیستم استنتاج فازی تطبیقی یک مدل هیبرید تهیه گردید تا بدینوسیله دقت مدل افزایش یابد. در نهایت با استفاده از سناریوهای هواشناسی تاریخی پیش‌بینی‌های گروهی برای حوضه مورد مطالعه با استفاده از هر دو مدل تولید گردیده و نتایج مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در روش پیش‌بینی گروهی جریان از مدل‌های هیدرولوژیکی مفهومی و فیزیکی بارش رواناب به همراه شرایط اولیه (مانند رطوبت خاک، جریان رودخانه و حجم ذخیره مخزن) و اطلاعات هواشناسی گذشته برای پیش‌بینی جریان آینده استفاده می‌شود. در این روش فرض بر این است که سناریوهای هواشناسی تاریخی، می تواند در آینده نیز اتفاق بیفتد و به عبارتی، معرف شرایط محتمل در آینده هستند. برای پیش‌بینی در هر گام زمانی اطلاعات هواشناسی تاریخی به همراه شرایط اولیه حوضه آبریز، در یک مدل بارش-رواناب قرار داده می‌شود تا یک دنباله محتمل جریان حاصل شود. در این تحقیق دو روش پایه برای تولید پیش‌بینی‌های گروهی مورد استفاده قرار گرفت که عبارتند از: استفاده از مدل مفهومی شبیه سازی جریان رودخانه[5] (CRFM) و استفاده از مدل هیبرید. در ادامه یک روش اصلاح اریبی به نام اصلاح اریبی واقعه‌ای[6] بر روی نتایج اعمال گردید و نتایج هر سه روش با استفاده از روش‌های آماری مربوطه مورد ارزیابی قرار گرفت.

توسعه مدل مفهومی شبیه سازی جریان رودخانه (CRFM)

مدل مفهومی شبیه سازی جریان رودخانه که از این پس به اختصار CRFM نامیده می‌شود یک مدل بارش رواناب مفهومی و یکپارچه به روش مخزن می‌باشد. هسته محاسباتی اولیه مدل مانند مدل نم[7] (براون و سئو،۲۰۱۰) در نظر گرفته شده است. مدل در محیط زبان برنامه نویسی متلب نسخه ۲۰۱۱ توسعه داده شده است.

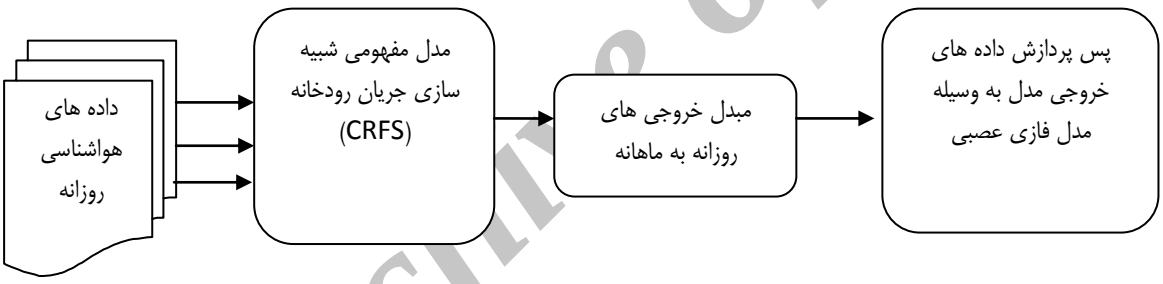
1 -Ensemble neural network
2 - Brown and Seo
3 -Wang *et al.*
4 - Yang *et al.*
5 -Conceptual River Flow Model
6 -Event Bias Correction Method
7 - Nedbor-Afstromings-Model

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۱- مولفه های بکار گرفته شده در مدل CRFM

مؤلفه های مدل CRFM	معادلات
نرخ تبخیر و تعرق واقعی هنگامی که ذخیره سطحی نتواند ان را تامین کند و باقیمانده از ذخیره ناحیه ریشه برداشت شود.	$E_a = (E_P - U)\frac{L}{L_{\max}}$
جریان به صورت رواناب سطحی و پارامترهای موثر در آن	$QOF = \begin{cases} CQOF\frac{L/L_{\max} - TOF}{1-TOF} & L/L_{\max} > TOF \\ 0 & L/L_{\max} \le TOF \end{cases}$
جریان زیر سطحی	$QIF = \begin{cases} (CKIF)^{-1}\frac{L/L_{\max} - TIF}{1-TIF}U & L/L_{\max} > TIF \\ 0 & L/L_{\max} \le TIF \end{cases}$
ثابت زمانی برای روندیابی جریان در حوضه	$CK = \begin{cases} CK_{12} & OF < OF_{\min} \\ CK_{12}(\frac{OF}{OF_{\min}})^{-\beta} & OF \ge OF_{\min} \end{cases}$
میزان تغذیه سفره های آب زیر زمینی	$G = \begin{cases} (P_N - QOF)\frac{L/L_{\max} - TG}{1-TG}U & L/L_{\max} > TG \\ 0 & L/L_{\max} \ge TG \end{cases}$



شکل ۱- طرح شماتیک بکارگیری مدل هیبرید شبیه سازی جریان رودخانه

مدل ریاضی- هیدرولوژیکی توسعه داده شده از مجموعه‌ای روابط ریاضی مرتبط تشکیل شده که فاز زمینی سیکل هیدرولوژی را مدل می‌کند. اساس شبیه‌سازی فرایند بارش-رواناب در مدل، به‌کارگیری قانون پیوستگی بین چهار مخزن متصل به یکدیگر (که هر یک نماینده خصوصیات فیزیکی مختلف حوضه است) می‌باشد. چهار مخزن تعریف شده در مدل عبارتند از ذخیره برف، ذخیره سطحی، ذخیره منطقه ریشه و ذخیره آب زیرزمینی. مولفه‌های مختلف فرایند بارش-رواناب از طریق محاسبه پیوسته مقدار آب موجود در چهار مخزن مختلف که با یکدیگر در ارتباط می باشند محاسبه می‌گردد. هر مخزن نماینده و در برگیرنده بخش‌های مختلف فیزیکی حوضه می‌باشد. مدل CRFM هم برای شبیه سازی یک رویداد خاص و هم برای شبیه سازی یک سری زمانی پیوسته می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. داده‌های پایه مورد نیاز برای مدل عبارتند از پارامترهای مدل، شرایط اولیه، داده‌های هواشناسی و داده‌های هیدرومتری جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل. از آنجا که مدل CRFM یک مدل یکپارچه است هر حوضه را به صورت یک واحد در نظر می‌گیرد، بنابراین پارامترها و متغیرها بیانگر متوسط هر مقدار در کل حوضه می‌باشند. مولفه‌ها و روابط پایه بکار گرفته شده در جدول(۱) نشان داده شده است. پارامترهای به کار گرفته شده در جدول(۱) عبارتند از: u: ذخیره سطحی، L: ذخیره زیر سطحی، Ep: تبخیر و تعرق پتانسیل، CQOF: ضریب رواناب سطحی، TOF: مقدار آستانه برای شروع جریان سطحی، CKIF: ثابت زمانی جهت روند یابی جریان زیر سطحی، TIF: مقدار آستانه برای شروع جریان زیر سطحی، CK12: ثابت زمانی برای روندیابی جریان در حوضه، PN: بخشی از بارش که نفوذ می‌کند و TG: مقدار آستانه شروع تغذیه سفره های زیر زمینی. برخی پارامترهای مدل را می‌توان از داده‌های موجود و شرایط فیزیکی حوضه به‌دست آورد، اما پارامتر های نهایی باید از طریق واسنجی در طول سری زمانی مشاهدات هیدرولوژیکی محاسبه گردد. بهینه سازی به صورت

Archive of SID

www.SID.ir

خودکار و با استفاده از روش اختلاط تکاملی مجموعه‌ها[1] (SCE) صورت می‌پذیرد. روش SCE (دون و همکاران[2]، ۱۹۹۲) یک روش جستجوی کلی، خصوصا در زمینه یافتن اپتیمم‌های قطعی می‌باشد. این روش به گونه‌ای طراحی شده که در اپتیمم های محلی گرفتار نشود.

توسعه مدل هیبرید شبیه سازی جریان روخانه

با توجه به اهمیت دقت و کیفیت مدل شبیه ساز جریان رودخانه در پیش‌بینی‌های گروهی، برای کاهش خطاها و تطابق هر چه بیشتر خروجی‌های مدل CRFM با داده های ثبت شده یک مدل هیبرید از تلفیق سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی[3] (جنگ، ۱۹۹۳) و مدل CRFM توسعه داده شد. در حقیقت نقش مدل فازی عصبی در این مرحله پس پردازش[4] داده های خروجی مدل بارش رواناب می باشد. طرح شماتیک تلفیق خروجی های مدل CRFM و مدل فازی عصبی در شکل(۱) نشان داده شده است.

با تلفیق دو مدل مذکور علاوه بر استفاده از توانایی مدل مفهومی بارش رواناب CRFM در مدل‌سازی فرایند های فیزیکی موثر در جریان رودخانه تا حدامکان، از قابلیت آموزش پذیری مدل جعبه سیاه فازی-عصبی در شبیه سازی خطاهای موجود در مدل استفاده می گردد.

- **داده‌های ورودی مدل هیبرید**

به علت اینکه در این تحقیق پیش‌بینی‌های گروهی جریان در گام زمانی ماهانه تولید می‌شود، مدل فازی-عصبی مورد استفاده دارای گام زمانی ماهانه می‌باشد. برای توسعه مدل هیبرید ورودی های در نظر گرفته شده در دو دسته اصلی طبقه بندی می شوند:

دسته اول: داده های مربوط به شرایط هیدرولوژیکی حوضه در زمان شبیه سازی مانند دبی مشاهداتی گام زمای قبل، مجموع بارش در ماه قبل از گام زمانی شبیه سازی و بارش در گام زمانی شبیه سازی

دسته دوم: داده‌های خروجی مدل CRFM که در حقیقت به عنوان یک داده منطبق با فیزیک فرایندهای دخیل در جریان رودخانه در نظر گرفته می‌شود. در اینجا جریان شبیه سازی شده به عنوان خروجی مدل بارش رواناب در نظر گفته شده است.

روش مورد استفاده جهت اصلاح اریبی

یکی از عوامل موثر در کاهش دقت پیش‌بینی‌های گروهی اریبی پیش‌بینی‌های می‌باشد. یک پیش‌بینی گروهی را در نظر بگیرید که با استفاده از شرایط اولیه هیدرولوژیکی در تاریخ پیش‌بینی تولید شده است. هر یک از سناریوهای پیش‌بینی گروهی با استفاده از سناریوهای هواشناسی متفاوتی که به مدل هیدرولوژیکی وارد می شود ایجاد می‌گردد. فرض کنید Y_{ij} پیش‌بینی گروهی برای ماه j باشد که با استفاده از سری‌های زمانی هواشناسی برای سال i تولید شده است. بسته به تاریخ پیش‌بینی، Y_{ij} می‌تواند بازه‌ای به میزان یک تا چند ماه آینده را مورد پیش‌بینی قرار دهد. مقادیر اصلاح شده Z_{ij} با استفاده از تابع تبدیل زیر حاصل می گردد:

$$Z_{ij}=f_j(Y_{ij}) \qquad (۱)$$

در رابطه بالا $f_j()$ از یک ماه به ماه دیگر تغییر می کند. در عمل تابع تبدیل بر روی تمام سناریوهای پیش‌بینی گروهی اعمال می‌شود. پس از این مرحله تحلیل فراوانی روی پیش‌بینی‌های گروهی که اریبی آنها با استفاده ار تابع تبدیل اصلاح شده است صورت می گیرد.

روش مورد استفاده در این تحقیق برای حذف اریبی پیش بینی ها، روش اصلاح اریبی واقعه‌ای[5] (اسمیت و همکاران[6]، ۱۹۹۲) نام دارد. در این روش فرض اساسی این است برای یک سناریوی هواشناسی خاص یک اریبی ثابت و به صورت ضربی وجود دارد که در هر بار استفاده از این سناریوی هواشناسی برای تولید پیش‌بینی گروهی جریان باید اعمال گردد. این ضریب بدون در نظر گرفتن شرایط اولیه در زمان شبیه سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین اصلاح اریبی که روی پیش‌بینی گروهی اعمال می‌گردد به صورت زیر خواهد بود:

$$Z_{ij}=B_{ij}.Y_{ij} \qquad (۲)$$

در رابطه بالا B_{ij} ضریب اریبی مربوط به سناریو هواشناسی و Y_{ij} سناریو جریان تولید شده در ماه j و سال i می باشد. اسمیت و همکاران ضریب تصحیح اریبی را با استفاده از داده های شبیه سازی و مشاهداتی در کل دوره تاریخی به صورت زیر تخمین زدند:

$$B_{ij}= Y_{ij}/\text{Ɏ}_{ij} \qquad (۳)$$

در رابطه بالا Y_{ij}: آورد رودخانه مشاهداتی و Y_{ij}: آورد شبیه سازی شده در ماه j و سال i می باشد. ویژگی منحصر به فرد این روش محاسبه ضریب تصحیح اریبی در این است که این ضریب تنها به سناریو هواشناسی مورد استفاده وابسته است نه مقدار جریان شبیه‌سازی شده در پیش‌بینی گروهی. به عنوان نمونه در سناریوهای جریان شبیه سازی شده اگر چه مقدار دبی می‌تواند مشابه باشد ولی لزوما ضریب تصحیح اریبی آنها یکسان نیست.

1 - Shuffled complex evolution
2 -Duan *et al.*
3 -Adaptive Neuro Fuzzy Inference System
4- Data assimilation
5 - Event bias correction method
6 -Smith *et al.*

Archive of SID

www.SID.ir

بنابراین جریان اصلاح شده توسط این روش یک تابع یکنواخت[1] از جریان شبیه سازی نمی باشد.

مطالعه موردی

منطقه مورد مطالعه در ناحیه جنوب غربی ایران و در منطقه شرق و شمال شرقی شهر رامهرمز در محدوده جغرافیایی ´۳۸-°۴۹ تا ´۲۹-°۵۰ طول شرقی و ´۰۶-°۳۱ تا ´۴۴-°۳۱ عرض شمالی واقع شده است. شکل۲ موقعیت حوضه مورد مطالعه را نشان می دهد. در این حوضه دو رود رودخانه اعلا و زرد قرار گرفته است. روی رودخانه زرد ایستگاه های هیدرومتری متعدد قرار گرفته است در حالی که در روی رودخانه اعلا تا ایستگاه هیدرومتری جوکنک هیچ ایستگاه آبسنجی قرار ندارد.

محدوده مورد مطالعه دارای بیش از ۲۰ ایستگاه هواشناسی شامل باران سنج می باشد که در فرایند واسنجی مدل بارش رواناب مورد استفاده قرار گرفتند. در خروجی حوضه آبریز ایستگاه هیدرومتری ماشین قرار دارد که دارای طول آماری مناسبی می‌باشد.

نتایج و بحث

- **صحت سنجی عملکرد مدل مفهومی CRFM**

با توجه به اهمیت دقت مدل مفهومی در پیش‌بینی های گروهی ابتدا مدل توسعه داده شده برای یک دوره ۳۰ ساله در حوضه آبریز رود زرد مورد واسنجی قرار گرفت. از ۳۰ سال دوره آماری ۵ سال جهت واسنجی و ۶ سال جهت ارزیابی مورد استفاده قرار گرفت. جهت ارزیابی عملکرد از معیارهای آماری استفاده شد. در جداول۲ و ۳ به ترتیب نتایج واسنجی و ارزیابی مدل آورده شده است.

صحت سنجی عملکرد مدل هیبرید

پس از شبیه سازی جریان در دوره آماری ۱۳۵۳ تا ۱۳۸۰ خروجی های مدل CRFM به صورت ماهانه تبدیل و مجموعاً ۳۲۳ داده ماهانه تولید گردید. خروجی‌های تولید شده به همراه متغیرهای معرف شرایط هیدرولوژیکی حوضه آبریز مانند دبی متوسط و بارش در ماه قبل از پیش‌بینی به عنوان متغیرهای ورودی به مدل انفیس در نظر گرفته شد. از داده‌های استخراج شده ۶۵ درصد داده‌ها برای آموزش و ۳۵ درصد برای ارزیابی مورد استفاده قرار گرفت. جدول (۴) نتایج آموزش و صحت سنجی مدل هیبرید را نشان می‌دهد. همچنین شکل‌های (۳) و (۴) پراکنش داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نشان داده شده است.

تولیدپیش‌بینی های گروهی

برای تولید پیش‌بینی‌های گروهی در هر گام زمانی با توجه به شرایط اولیه محاسبه شده توسط مدل شامل رطوبت خاک، وضعیت پوشش برفی، جریان سطحی و... سناریو های هواشناسی محتمل در گام‌های زمانی بعد تا افق پیش‌بینی مورد نظر به مدل وارد می شود. در این تحقیق افق پیش‌بینی یک ماه در نظر گرفته شده است. سناریوهای هواشناسی به دو صورت می تواند تولید شود: استفاده از سناریو های هواشناسی تولید شده توسط سازمان هواشناسی و استفاده از سناریوهای هواشناسی تاریخی که در گذشته اتفاق افتاده است. با توجه به اینکه هم اکنون در ایران سناریوهای هواشناسی احتمالاتی توسط سازمان هواشناسی تولید نمی‌شود در این تحقیق از سناریوهای هواشناسی تاریخی استفاده گردید و قابلیت این سناریوها در تولید پیش‌بینی گروهی جریان در حوضه مطالعاتی مورد ارزیابی قرار گرفت. پیش‌بینی‌ها برای ماه-های آپریل، می و نوامبر تا دسامبر و در طول ۲۷ سال آماری ایجاد شد. در سایر ماه ها از یک سو به دلیل عدم بارش در منطقه و غالب بودن آب زیرزمینی در آبدهی حوضه و از سوی دیگر افق یک ماهه در پیش‌بینی‌های تولید شده در این تحقیق، اعمال سناریوهای مختلف هواشناسی به مدل نتایج یکسانی را ایجاد می‌کند و تولید این پیش‌بینی‌ها معنی‌دار نمی‌باشد. پیش‌بینی‌های تولید شده به دو صورت ایجاد گردید. در خصوص استفاده از مدل هیبرید یک محدودیت در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه مدل‌های با پایه سیستم‌های استنتاج فازی فقط در محدوده داده‌های آموزش معتبر هستند در شرایطی که ترکیب داده‌های ورودی خارج از محدوده اعتبار مدل باشد از مدل CRFM به تنهایی استفاده می‌گردد.

ارزیابی پیش‌بینی های گروهی

در پیش‌بینی به روش گروهی برای هر یک از سناریوهای جریان پیش‌بینی یک احتمال در نظر گرفته می شود. این احتمال می‌تواند از توزیع‌های آماری تئوری که بر آنها برازش داده می‌شود به‌دست آید و یا از توزیع تجربی محاسبه گردد. پس از محاسبه احتمال سناریوها می‌توان احتمال وقوع جریان در چندک‌های مختلف جریان که معمولاً به صورت حالت خشک، مرطوب و تر در نظر گرفته شود و از سری زمانی مشاهداتی جریان محاسبه می‌شود، به‌دست می‌آید. با توجه به اینکه پیش‌بینی گروهی از نوع پیش‌بینی‌های احتمالاتی می‌باشد، ارزیابی آن با روش‌های معمول متفاوت است. یکی از روش‌های متداول ارزیابی استفاده از معیار امتیاز احتمالاتی رتبه‌ای(RPS[2]) می باشد. این روش در حقیقت مجموع مربعات اختلاف تجمعی مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی می‌باشد(ویلکس[3]،۱۹۹۵). رابطه محاسبات به شکل زیر می باشد:

$$RPS = \sum_{l=1}^{L} (P_l - O_l)^2$$
$$P_k = \sum_{k=1}^{m} p_k / \; O_k = \sum_{k=1}^{m} o_k \quad m = 1/2/\ldots./L \qquad (۴)$$

1 - Monotonic

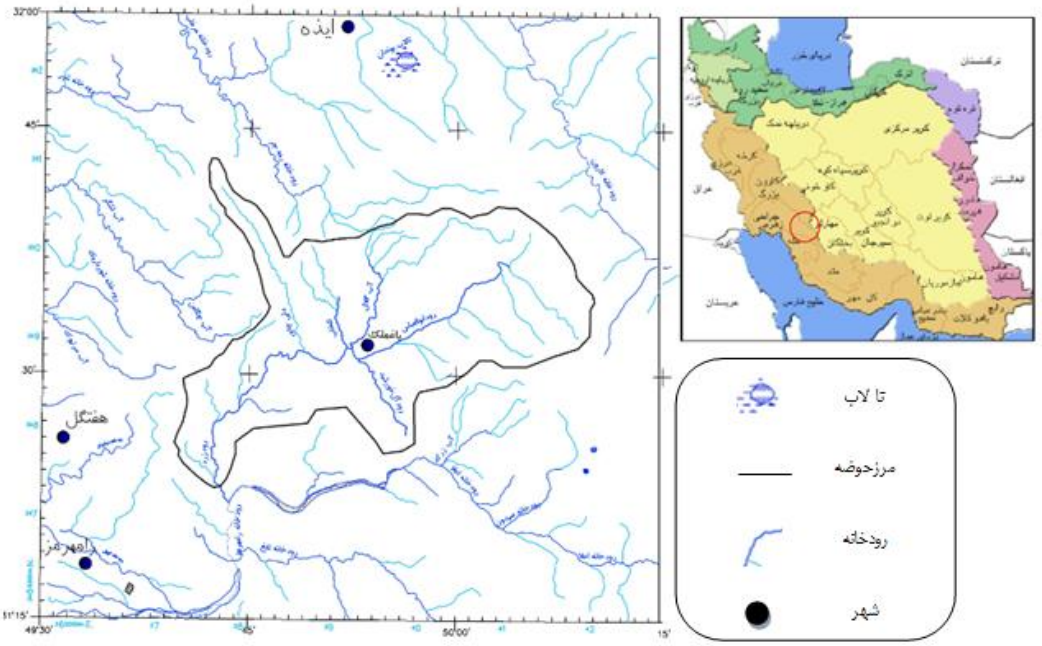
2 -Rank Probability Score
3 - Wilks

Archive of SID
www.SID.ir

که در رابطه بالا، p_k و o_k: بیانگر احتمال پیش‌بینی و مشاهده در طبقه k جریان می‌باشد. در این مطالعه سه طبقه بر اساس مقادیر چندک جریان (q) شامل جریان کم ($q<Q_{33.3}$)، جریان نرمال ($Q_{33.3}<q<Q_{66.7}$) و جریان زیاد ($q>Q_{66.7}$) استفاده شده است. اساس این روش ارزیابی بر این استوار است که هر چه فراوانی پیش‌بینی گروهی در محدوده‌ای که جریان واقعی اتفاق می افتد بیشتر باشد، پیش‌بینی از دقت بالاتری برخوردار است. در یک پیش‌بینی دقیق احتمال pi برابر یک خواهد بود و احتمال متناظر سایر رویدادها پیش‌بینی گروهی برابر صفر. در این شرایط امتیاز احتمالاتی رتبه‌ای برابر صفر می‌گردد. در بدترین حالت مقدار امتیاز احتمالاتی رتبه‌ای برای دسته بندی با سه کلاس جریان برابر دو می‌شود که بیانگر بیشترین فاصله بین پیش‌بینی گروهی و جریان اتفاق افتاده می‌باشد. در جدول (۴) مقادیر متوسط ماهانه امتیاز احتمالاتی رتبه‌ای برای پیش‌بینی صورت گرفته در حوضه آبریز رود زرد نشان داده شده است. علاوه بر معیار امتیاز احتمالاتی رتبه‌ای برای مقایسه سه روش تولید سناریوهای پیش‌بینی گروهی از معیار امتیاز مهارت به صورت زیر استفاده شده است:

$$RPSS = \frac{RPS_f - RPS_{cl}}{0 - RPS_{cl}} \qquad (۵)$$

در رابطه بالا، RPSS: امتیاز مهارت برای مقایسه عملکرد سه روش تولید پیش بینی های گروهی جریان، RPSf و RPSc: به ترتیب امتیاز رتبه ای احتمالات مربوط به پیش‌بینی و کلیماتولوژی می‌باشند. مقادیر امتیاز مهارت مثبت نشان دهنده پیش‌بینی دارای مهارت و مقادیر منفی پیش‌بینی‌های فاقد مهارت را نشان می‌دهند. جدول (۴) نتیجه مقایسه سه روش تولید پیش‌بینی گروهی جریان نشان داده شده است. شکل (۵) محدوده تغیرات معیارها در طول سری زمانی شبیه سازی را نشان می‌دهد.



شکل ۲- موقعت حوضه آبریز رود زرد

جدول۲-مقایسه معیارهای آماری رواناب روزانه شبیه سازی شده و واقعی دوره واسنجی

سال	ضریب تبیین	مجذور میانگین مربعات خطا	اختلاف حجمی(درصد)	اختلاف بیشینه(درصد)
۱۳۵۴-۵۵	۰/۸۸	۸/۹۸	-۱۰/۱	-۳۲
۱۳۵۵-۵۶	۰/۸۹	۳/۳۱	-۲۷/۵	۰/۶۲
۱۳۵۶-۵۷	۰/۸۶	۳/۴	-۹/۱۹	۲/۹۵
۱۳۵۷-۵۸	۰/۸۵	۶/۵۶	-۲۹/۹	-۲۷/۷۵
۱۳۵۸-۵۹	۰/۸۷	۷/۷۸	۷/۷۴	-۵/۳۱

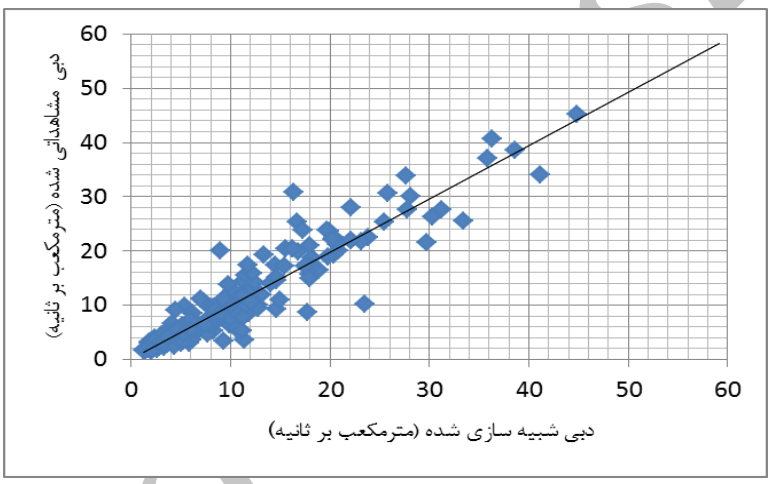
www.SID.ir

جدول۳- نتایج مدل بارش رواناب در دوره صحت سنجی

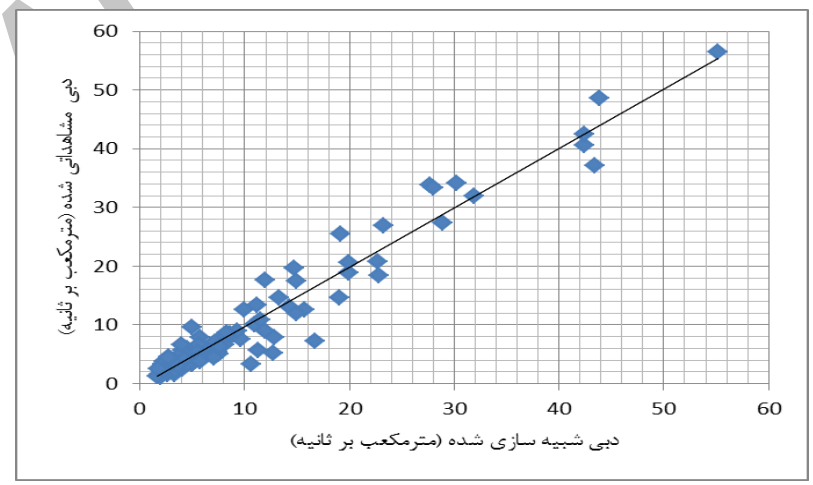
سال	ضریب تبیین	مجذور میانگین مربعات خطا	اختلاف حجمی(درصد)	اختلاف بیشینه (درصد)
۱۳۶۰-۶۱	۰/۹۲	۳/۴۵	-۷/۵۱	-۱۰/۲۷
۱۳۶۱-۶۲	۰/۸۵	۳/۱۱	۹/۳۰	۳/۶۶
۱۳۶۳-۶۴	۰/۸۴	۶/۸۶	-۲۴/۸۷	-۱۱/۹۲
۱۳۶۴-۶۵	۰/۸۲	۴/۸۵	-۲۷/۶۷	-۱۴/۹۷
۱۳۷۱-۷۲	۰/۸	۱۴/۹۰	-۹/۲۶	-۳۱/۳۱
۱۳۷۴-۷۵	۰/۸۳	۱۲/۶۹	-۹/۴	-۲/۸

جدول٤-نتایج مدل فازی-عصبی در دوره آموزش و صحت سنجی

مرحله آماده سازی مدل	تعداد داده	ضریب تبیین	مجذور میانگین مربعات خطا	اختلاف حجمی(درصد)
آموزش	۲۱۰	۰/۹	۲/۹	۰/۱۱
ارزیابی	۱۱۳	۰/۹۴	۲/۵۹	-۱/۱۸



شکل۳- پراکنش داده های واقعی و شبیه سازی شده در دوره آموزش

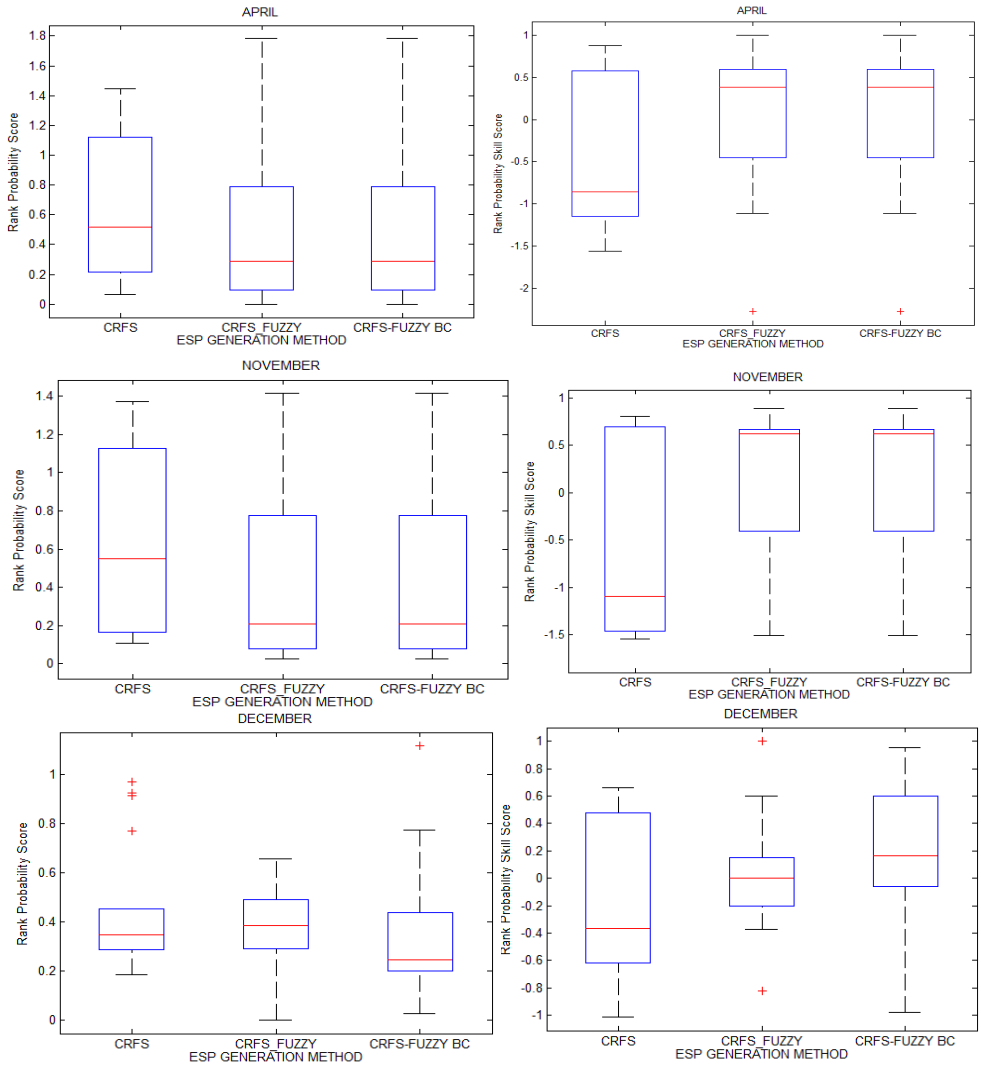


شکل٤- پراکنش داده های واقعی و شبیه سازی شده در دوره صحت سنجی

www.SID.ir

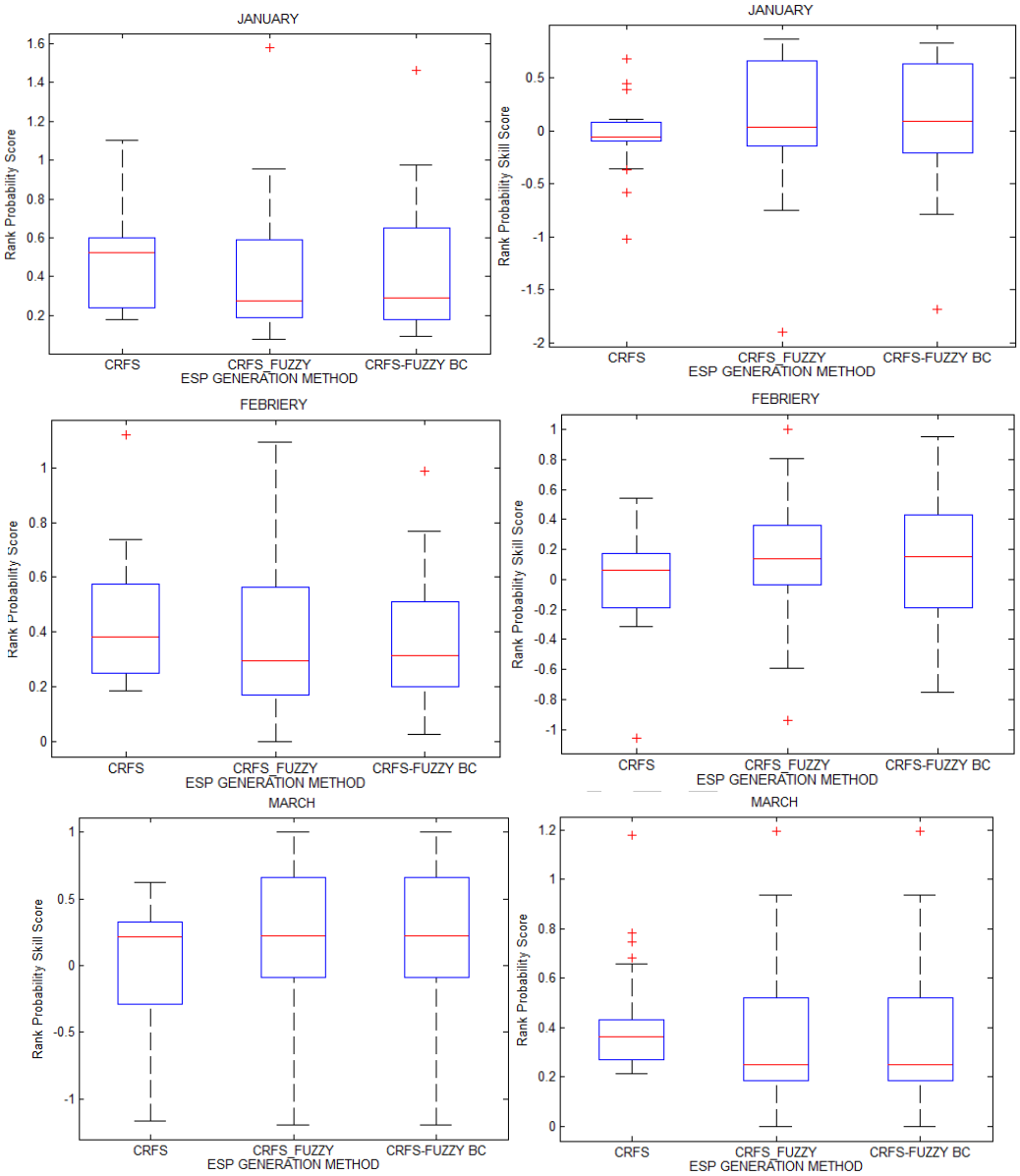
جدول٤- نتایج امتیاز رتبه ای احتمالات متوسط در طول دوره آماری

نوع مدل مورد استفاده	مدل هیبرید+ اصلاح اریبی		مدل هیبرید		مدل هیدرولوژیکی CRFM	
شاخص ارزیابی	امتیاز مهارت	امتیاز احتمالاتی رتبه‌ای	امتیاز مهارت	امتیاز احتمالاتی رتبه‌ای	امتیاز مهارت	امتیاز احتمالاتی رتبه‌ای
فروردین	۰/۱۸	۰/۳۴	۰/۰۹	۰/۳۵	-/۲۰	۰/۴۳
اردیبهشت	۰/۳۱	۰/۲۱	۰/۲۰	۰/۲۲	-۰/۸۱	۰/۷۱
آبان	۰/۰۸	۰/۴۸	۰/۰۸	۰/۴۸	-۰/۶۱	۰/۶۶
آذر	۰/۰۴	۰/۴۱	۰/۰۶	۰/۴	-۰/۲۴	۰/۴۹
دی	۰/۱	۰/۴۲	۰/۰۸	۰/۴۳	-۰/۰۴	۰/۴۹
بهمن	۰/۰۶	۰/۴۲	۰/۰۷	۰/۴۱	۰/۰۶	۰/۴۱
اسفند	۰/۲۱	۰/۳۴	۰/۱۹	۰/۳۵	۰/۰۵	۰/۴۲
متوسط		۰/۳۷		۰/۳۸		۰/۵۳
تعداد ماههای با پیش‌بینی مناسب	۱۱۹		۱۱۵		۸۳	



شکل٥- نمودار تغییرات امتیاز احتمالاتی رتبه ای و امتیاز مهارت برای ماه‌های پیش‌بینی در طول دوره ارزیابی ۸۰-۱۳۵۳

www.SID.ir



ادامه شکل۵- نمودار تغییرات امتیاز احتمالاتی رتبه ای و امتیاز مهارت برای ماه‌های پیش‌بینی در طول دوره ارزیابی ۸۰-۱۳۵۳

همان‌طور که در نتایج مشاهده می شود مدل مفهومی CRFM در صورت استفاده برای تولید پیش‌بینی‌های گروهی فاقد دقت مناسب می‌باشد. دلیل عمده این مسئله دقت مدل CRFM در شبیه سازی جریان رودخانه در دبی‌های کم حوضه مورد مطالعه می‌باشد. مدل بارش رواناب مورد استفاده در این تحقیق یک مدل مفهومی بوده که پارمترهای موثر در آبدهی را به صورت متوسط در کل حوضه آبریز در نظر می‌گیرد. ارزیابی عملکرد مدل نشان می دهد در فصل‌های با آبدهی زیاد که بخش‌های فعال در خروجی حوضه شامل رواناب سطحی و زیر سطحی می باشد، مدل از دقت مطلوبی در برآورد شاخصه‌های هیدروگراف برخوردار است. در همین حال با کاهش بارش و غالب شدن آب زیرزمینی در آبدهی نتایج مدل ضعیف می‌گردد. این کاهش دقت در برآورد آبدهی در ماه‌های با آبدهی کم از دو جهت قابل تعبیر است: اول به دلیل ماهیت یکپارچه مدل در محاسبات آب زیر زمینی و دوم کاهش دقت اندازه گیری‌ها به دلیل شرایط ایستگاه. اختلاف حجمی متوسط بیست درصدی بین آورد شبیه سازی و مشاهداتی موید این مسئله است. این در حالی است که دقت مدل در شبیه سازی جریانهای بیشینه بسیار مطلوب می باشد. این مشکل تاثیر قابل ملاحظه ای در کیفیت پیش‌بینی های تولید شده به روش پیش بینی گروهی جریان نیز ایفا می‌کند. با تلفیق مدل CRFM و سیستم استنتاج فازی نتایج پیش‌بینی های گروهی به مراتب بهبود یافته به گونه ای که امتیاز احتمالاتی رتبه‌ای متوسط از ۰/۵۶ به ۰/۳۸ کاهش یافته و تعداد ماه‌های با پیش‌بینی مناسب از ۸۳ ماه به ۱۱۵ ماه افزایش می یابد. با توجه به افزایش قابل

www.SID.ir

ملاحظه دقت مدل هیبرید نسبت به مدل CRFM می توان به خوبی اثر میزان دقت مدل شبیه ساز در کیفیت پیش‌بینی‌های گروهی را مشاهده نمود. روش اصلاح اریبی مورد استفاده در این تحقیق به صورتی که در جدول (۴) مشاهده می‌شود باعث افزایش ماه‌های با پیش‌بینی گروهی مناسب به ۱۱۹ ماه می‌گردد. جدول (۴) نشان می‌دهد در ماه‌های نوامبر و دسامبر معیار امتیاز رتبه ای دارای مقادیر ۴۶/. و ۴۲/. بوده که در مقایسه با سایر ماه ها پیش-بینی‌ها ضعیف‌تر ارزیابی می گردد. دلیل این مسئله نوسانات شدید بارش در این ماه‌ها می‌باشد.

نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی و ارزیابی پیش‌بینی های گروهی در حوضه آبریز رود زرد پرداخته شد. برای تولید پیش‌بینی های گروهی از سه روش بهره گرفته شد: پیش‌بینی با استفاده از مدل بارش رواناب یکپارچه ومفهومی CRFM، پیش‌بینی با استفاده از مدل هیبرید که از تلفیق مدل CRFM و سیستم استنتاج فازی تطبیقی انفیس، اصلاح پیش‌بینی‌های گروهی با استفاده از روش‌های تصحیح اریبی. نتایج ارزیابی مدل CRFM نشان می‌دهد این مدل در شرایط فعال حوضه با آبدهی زیاد دارای عملکرد مطلوبی است ولی در برآورد حجمی آبدهی دارای دقت کمی است. دلیل این مسئله عدم توانای مدل در شبیه سازی مناسب دبی پایه با توجه به شرایط خاص حوضه آبریز مورد مطالعه است. در مدل هیبرید این نقطه ضعف برطرف شده و خصوصاً در بیلان حجمی بشدت بهبود می‌یابد به گونه‌ای که اختلاف حجمی از حدود بیست درصد در مدل CRFM به کمتر از دو درصد در مدل هیبرید کاهش می یابد.

نتایج ارزیابی پیش‌بینی های گروهی تولید شده نشان دهنده تأثیر زیاد دقت مدل در کیفیت پیش‌بینی ها می باشد. ارزیابی با معیارهای امتیاز احتمالاتی رتبه‌ای و امتیاز مهارت نشان می دهد مدل CRFM به تنهایی از عملکرد بسیار ضعیفی برخوردار است به گونه‌ای که متوسط امتیاز احتمالاتی رتبه‌ای آن ۰/۵۶ و معیار امتیاز مهارت در اکثر ماه‌ها بجز ماه‌های فوریه و مارس منفی می‌باشد. در مقابل استفاده از مدل هیبرید بهبود قابل ملاحظه نتایج را به همراه داشته به گونه‌ای که امتیاز احتمالاتی رتبه‌ای در آن به ۰/۳۸ کاهش یافته و امتیاز مهارت در تمامی ماه‌ها مثبت می‌گردد. بر اساس نتایج بدست آمده تعداد ماه‌های با پیش‌بینی مناسب در مدل هیبرید ۱۱۵ بوده که افزایش قابل توجهی نسبت به حالت مدل CRFM دارا می‌باشد. اعمال اصلاح اریبی روی پیش‌بینی‌های گروهی تولید شده تاثیر معنی‌دار نسبت به حالت مدل هیبرید نداشته و تنها تعداد ماه‌های با پیش‌بینی مناسب به ۱۱۹ ماه افزایش می یابد. نتیجه جالب توجه دیگر اینکه در حالت انتقالی از ماه‌های خشک به تر(نوامبر) پیش‌بینی‌های گروهی جریان از کیفیت بالاتری نسبت به حالت انتقالی از ماه‌های تر به خشک(می) برخوردار است.

منابع

1- Brown J. D., Seo D. J., 2010. "A nonparametric post-processor for bias correcting ensemble forecasts of hydrometeorological and hydrologic variables". Journal of Hydrometeorology, 11(3), 642-665.

2- Chiew F. H. S., Zhou S. L., McMahon T. A., 2003. "Use of seasonal streamflow forecasts in water resources management". Journal of Hydrology, Volume 270, Issues 1–2, January, Pages 135-144, ISSN 0022-1694.

3- Danish hydraulic institute, 2007. "MIKE11 Reference manual"

4- Day G. N., 1985. "Extended streamflow forecasting using NWSRFS". Journal of Water Resources Planning and Management 111(WR2): 147–170.

5- Duan Q., Sorooshian S., Gupta V., 1992. "Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models", Water Resourses Research, Volume 28(4), pp. 1015-1031.

6- Faber B. A., Stedinger J. R., 2001. "Reservoir optimization using sampling SDP with ensemble streamflow prediction (ESP) forecasts". Journal of Hydrology 249(1–4): 113–133.

7- Hyung-Il Eum1, Kim Y. O., Palmer R. N., 2011, "Optimal Drought Management Using Sampling Stochastic Dynamic Programming with a Hedging Rule". Journal of Water Res. Plan. and Manag., 137(1).

8- Jeong D. I., Kim Y. O., 2002. "Forecasting monthly inflow to Chungju dam using ensemble streamflow prediction". Journal of Korean Society of Civil Engineers 22(3-B): 321–331 (in Korean).

Archive of SID

www.SID.ir

9- Jeong D. I., Kim Y. O., 2005. "Rainfall-runoff models using artificial neural networks for ensemble streamflow prediction". Hydrol. Process., 19: 3819–3835. doi: 10.1002/hyp.5983.

10- Kelman j., Stedinger J. R., Cooper L. A., Hsu E., Yuan S., 1990. "Sampling Stochastic Dynamic Programming Applied to Reservoir Operation". Water Resources Research, 26(3), 447-54.

11- Kim Y. O., Palmer R. N., 1997. "Value of seasonal flow forecasts in Bayesian stochastic programming". Journal of Water Resources Planning and Management 123(6): 327–335.

12- Regonda S. K., Seo D. J., Lawrence B., Brown J. D., Demargne J., 2013. "Short-term ensemble streamflow forecasting using operationally-produced single-valued streamflow forecasts–A Hydrologic Model Output Statistics (HMOS) approach". Journal of Hydrology, 497, 80-96.

13- Renner M., Werner M. G., Rademacher S., Sprokkereef E., 2009. "Verification of ensemble flow forecasts for the River Rhine". Journal of Hydrology, 376(3), 463-75.

14- Schaake J. C., Hartman R., Demargne J., Mullusky M., Welles E, Wu L, Fan X. 2004. "Ensemble streamflow prediction by the National Weather Service (NWS) Advanced Hydrologic Prediction Services (AHPS)", In 2004 Joint Assembly, AGU, CGU, SEG, and EEGS: Montreal

15- Smith J. A., Day G. N., Kane M. D., 1992. "Nonparametric framework for long-range streamflow forecasting", J. Water Resour .Planning and Management, 118, 82–91.

16- Wang F., Wang L., Zhou H., Saavedra Valeriano O. C., Koike T., Li W., 2012. "Ensemble hydrological predictionbased real-time optimization of a multiobjective reservoir during flood season in a semiarid basin with global numerical weather predictions",Water Resour. Res., 48, W07520, doi:10.1029/2011WR011366.

17- Wilks DS., 1995. "Forecast verification: statistical method in the atmospheric science", Academic Press: New York.

18- Yao H., Georgakakos AP., 2001. "Assessment of Flosom Lake response to historical and potential future climate scenarios 2. Reservoir management". Journal of Hydrology 249: 176–196.

19- Yang L., Tian F., Sun Y., Yuan X., Hu H., 2013. "Attribution of hydrologic forecast uncertainty within scalable forecast windows", Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 10, 11795-11828, doi:10.5194/hessd-10-11795-2013.

20- Yeh W. W. G., Becker L., Zettlemoyer R., 1982. "Worth of inflow forecast for reservoir operation(Oroville- Thermalite California)", Journal of Water Resources Planning and Management, 108 , pp. 257–269.

Archive of SID

www.SID.ir