

Research Paper

Ensemble Forecasting and Flood Warning in the Dez Dam Reservoir Using GEFSv12 Reforecast Temperature and Precipitation Data

Amin Eidipour¹,Ali Mohammad Akhoond-Ali^{2*},Mohammad Amin Maddah³

¹ PhD Candidate, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. amineidipour@gmail.com

^{2*} Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. aliakh@scu.ac.ir (Corresponding Author)

³ Assistant Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. ma.maddah@scu.ac.ir

[10.22125/IWE.2023.365211.1682](https://doi.org/10.22125/IWE.2023.365211.1682)

Received:
October 30, 2022
Accepted:
March 2, 2023
Available online:
October 3, 2023

Keywords:
Flood Warning,
Ensemble Forecast,
GEFSv12, Hydrologic
Model, Reservoir
Management

Abstract

Forecasting the inflow volume to reservoir operation is essential in flood conditions, which is of even greater significance in mountainous basins with a rain-snow regime. The present study aimed to evaluate the accuracy of GEFSv12 reforecast data as an input to the HEC-HMS rainfall-runoff conceptual model in forecasting and warning issuance for floods entering the Dez dam reservoir, southwest Iran. To this end, the flood ensemble forecast was generated after deriving precipitation and temperature parameters (including control values and ensemble members) up to a 10-day lead time. In this study, most forecasting members issued a flood warning when the threshold discharge (1620 and 2640 m³/s with a return period of 2 and 5 years, respectively) was exceeded. Despite the complexity of flood forecasting in basins with a rain-snow regime, evaluation indexes indicated that a substantial improvement in forecast accuracy could be expected five days in advance (5-day lead time). Furthermore, there was no correlation between the forecast lead time reduction and forecast accuracy improvement. The probabilistic analysis of the members' agreement percentage in exceeding the threshold discharge of 2,640 m³/s indicated that a warning would be issued within the predicted lead time of four to seven days.

1. Introduction

Numerous meteorological centers worldwide use numerical weather prediction (NWP) models to forecast precipitation. In some instances, using numerical weather and climate models inevitably leads to an imprecise runoff prediction (Nanditha & Mishra, 2021). Thus, the significance of reforecasting in validating and calibrating weather and climate model forecasts, diagnosing model errors, and predicting extreme or rare events has been widely acknowledged (Hamill et al., 2022; Gascón et al., 2019; Ou et al., 2016; Baxter et al., 2014). Ensemble forecast was designed to analyze and evaluate deterministic weather forecasting systems' global and local efficacy. Ensemble forecasts are available during the reforecast period and can be entered directly into hydrological models for assessing the predictability

of precipitation events, issuing guidance and warnings to farmers, and managing dam reservoirs (Stellingwerf et al., 2021).

2. Materials and Methods

The GEFSv12 reforecast precipitation and temperature data in this research were prepared in the GRIB2 format. Using the GRADS environment, the Perl programming language and the geographic information system (GIS), a 2000 m grid was generated for each sub-basin, resulting in 8,378,880 records. Finally, daily ensemble precipitation and temperature data for each sub-basin were extracted. These data were inputted into the HEC-HMS rainfall-runoff model to generate the ensemble flood forecast.

3. Results

The ensemble flood forecast performance based on the GEFSv12 model was presented by statistical indices for April 2016 and 2019 extreme events. According to the analysis of evaluation indices for the April 2016 event in the control member, the NSE, RMSE, PCC, and RVE indices had respective values of 0.63, 659, 0.86, and -20, respectively, five days in advance, demonstrating superior performance compared to other forecast lead times. The analysis of results for the April 2019 event revealed an increase in accuracy with decreasing lead time, with the most accurate forecast occurring one day in advance.

4. Discussion and Conclusion

Using a probabilistic approach to decision-making in flood management through flood warnings with a longer lead time can increase the efficiency of management decisions. This study's probabilistic framework can be employed to obtain information 6-10 days before a flood event with a discharge of > 1620 m³/s and 4-7 days before a flood event with a discharge of > 2640 m³/s. Although the pre-release of the reservoir during this period has limitations, particularly in extreme flood events at the end of the refill period, it significantly contributes to planning for readiness and reducing flood damage.

5. Six important references

- 1) Delaney, C. J., Hartman, R. K., Mendoza, J., Dettinger, M., Delle Monache, L., Jasperse, J., Ralph, F. M., Talbot, C., Brown, J., Reynolds, D., & Evett, S. (2020). Forecast informed reservoir operations using ensemble streamflow predictions for a multipurpose reservoir in Northern California. *Water Resources Research*, 56(9). <https://doi.org/10.1029/2019wr026604>.
- 2) Fan, F., Collischonn, W., Quiroz, K., Sorribas, M., Buarque, D., & Siqueira, V. (2015). Flood forecasting on the Tocantins River using ensemble rainfall forecasts and real-time satellite rainfall estimates. *Journal of Flood Risk Management*, 9(3), 278–288. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12177>.
- 3) Hamill, T. M., Whitaker, J. S., Shlyueva, A., Bates, G., Fredrick, S., Pegion, P., Sinsky, E., Zhu, Y., Tallapragada, V., Guan, H., Zhou, X., & Woollen, J. (2022). The Reanalysis for the Global Ensemble Forecast System, Version 12. *Monthly Weather Review*, 150(1), 59–79. <https://doi.org/10.1175/mwr-d-21-0023.1>.
- 4) Siqueira, V. A., Fan, F. M., Paiva, R. C. D. D., Ramos, M. H., & Collischonn, W. (2020). Potential skill of continental-scale, medium-range ensemble streamflow forecasts for flood prediction in South America. *Journal of Hydrology*, 590, 125430. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125430>.
- 5) Wu, W., Emerton, R., Duan, Q., Wood, A. W., Wetterhall, F., & Robertson, D. E. (2020). Ensemble flood forecasting: Current status and future opportunities. *WIREs Water*, 7(3). <https://doi.org/10.1002/wat2.1432>.
- 6) Zhu, Y., Li, W., & Sinsky, E. (2019). An Investigation of Prediction and Predictability of NCEP Global Ensemble Forecast System (GEFS). *Climate Prediction S&T Digest*. <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/36778>

Conflict of Interest

The authors have no conflicts of interest to declare.

Acknowledgments

We are very grateful to the Research Council of the Shahid Chamran University of Ahvaz. This research was sponsored by the research center of the Khuzestan Water and Power Authority.



پیش‌بینی گروهی و هشدار وقوع سیل در سد مخزنی دز با بهره‌گیری از داده‌های

پیش‌بینی-مجدد بارش و دما GEFSv12

امین عبدی پور^۱، علی محمد آخوندعلی^{۲*}، محمدامین مداح^۳

تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۰۸/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۱

مقاله پژوهشی

چکیده

لازمه بهره برداری مخزن در شرایط سیلابی، پیش‌بینی حجم آب ورودی به مخزن است که اهمیت آن در حوضه‌های کوهستانی با رژیم بارانی-برفی دو چندان است. هدف اصلی در پژوهش حاضر، ارزیابی دقت داده‌های پیش‌بینی مجدد GEFSv12 به عنوان ورودی مدل مفهومی بارش-رواناب HEC-HMS، در پیش‌بینی و صدور هشدار وقوع سیلاب ورودی به مخزن سد دز در جنوب غربی ایران بوده است. بدین منظور پس از استخراج پارامترهای بارش و دما (شامل مقادیر کنترل و اعضا) تا افق پیش‌بینی ۱۰-روزه اقدام به تولید پیش‌بینی گروهی سیلاب شد. در این پژوهش، با شرط تجاوز اکثریت نسبی اعضای پیش‌بینی‌کننده از دبی آستانه (معادل ۱۶۲۰ و ۲۶۴۰ متر مکعب بر ثانیه به ترتیب با دوره بازگشت ۲ و ۵ ساله) دستور صدور پیش‌هشدار آگاهی از وقوع سیل صادر می‌شود. در حالی که در حوضه‌هایی با رژیم بارانی-برفی پیش‌بینی سیلاب دارای پیچیدگی‌های بسیاری است، نتایج شاخص‌های ارزیابی در این تحقیق نشان داد که از ۵ روز قبل (افق زمانی پیش‌بینی ۵-روزه) می‌توان انتظار بهبود قابل توجهی در دقت پیش‌بینی داشت. از طرفی، رابطه‌ی مستقیمی بین کاهش افق پیش‌بینی و افزایش دقت پیش‌بینی مشاهده نشد. نتایج بررسی احتمالاتی بیانگر توافق اکثریت نسبی اعضا پیش‌بینی (صدور هشدار) در تجاوز از آستانه دبی ۲۶۴۰ متر مکعب بر ثانیه در بازه پیش‌بینی ۴ الی ۷ روز قبل می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: هشدار سیلاب، پیش‌بینی گروهی سیلاب، GEFSv12، مدل هیدرولوژیکی، مدیریت

مخزن

^۱ دانشجوی دکتری گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
amineidipour@gmail.com

^{۲*} استاد گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران aliakh@scu.ac.ir (نویسنده مسئول)

^۳ استادیار گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران ma.maddah@scu.ac.ir



مقدمه

ایران به‌طور همزمان در فروردین ۱۳۹۵ و ۱۳۹۸ رخ داد که خسارت بسیاری به کشاورزی، دامداری و مناطق مسکونی وارد نمود (Aminyavari et al. 2019, Maddah et al. 2021).

مداح و همکاران در مطالعه خود رویداد بارش سنگین فروردین ۱۳۹۸ را در حوضه رودخانه کرخه در جنوب غرب ایران تحلیل کرده و نشان دادند که حداکثر مقدار و میانگین مکانی بارش پیش‌بینی شده توسط مدل هواشناسی میان مقیاس WRF کم برآورد^۶ است. از طرفی، با افزایش افق پیش‌بینی^۷ خطای پیش‌بینی افزایش می‌یابد. در مجموع، ایشان پیشنهاد نموده‌اند که زمان پیش‌بینی ۷۸ تا ۱۰۲ ساعت برای صدور هشدار بارش سنگین منجر به سیلاب قابل قبول است (Maddah et al. 2021).

یونیس و همکاران در پژوهش خود عملکرد پیش‌بینی‌های سیستم هشدار سیل اروپا (EFAS) در بخشی از حوضه رودخانه البه که در کشور چک واقع شده برای رخداد بارش بهار ۲۰۰۶ بررسی نموده‌اند. رخداد حدی سیل ناشی از ذوب برف در حوضه رودخانه البه خسارت زیادی وارد آورده است. تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که پیش‌بینی‌های EFAS قادر به تشخیص سیگنال احتمال وقوع سیل از ۸ تا ۱۰ روز قبل^۸ بودند (Younis et al. 2008).

دیلائی و همکاران پیش‌بینی گروهی عملیاتی^۹ (EFO) را به عنوان یک رویکرد مبتنی بر ریسک در عملیات کنترل سیل مخزن معرفی نمودند که پیش‌بینی‌های گروهی جریان^{۱۰} (ESPs) تولید شده توسط مرکز پیش‌بینی رودخانه کالیفرنیا-نوادا را در بر می‌گیرد (Delaney et al. 2020). فن و همکاران با استفاده از داده‌های پیش‌بینی-مجدد GEFSv2 و مدل هیدرولوژیکی توزیعی MGH-IPH اقدام به پیش‌بینی گروهی سیلاب در حوضه رودخانه توکانتیز برزیل نمودند. به منظور پیش‌بینی هشدار آگاهی از سیلاب در مخزن و ارزیابی اعضای پیش‌بینی و افق پیش‌بینی سیل در گام زمانی روزانه، فصل بارش ۲۰۱۱/۲۰۱۲

بسیاری از مراکز هواشناسی در جهان مدل‌های پیش‌بینی عددی آب و هوا^۱ (NWP) را جهت پیش‌بینی بارش اجرا می‌کنند. استفاده از NWP در مدل بارش-رواناب ناگزیر در مواردی منجر به پیش‌بینی غیر دقیق رواناب می‌شود. مدل‌های پیش‌بینی-مجدد (Re-forecast) با هدف مطالعه و ارزیابی کارایی NWP به صورت منطقه‌ای و جهانی، توسعه داده شده‌اند بنابراین داده‌های پیش‌بینی-مجدد نقش مهمی در اعتبارسنجی و کالیبراسیون مدل‌های NWP دارد (Baxter et al. 2014, Gascón et al. 2016, Hamill et al. 2019, Ou et al. 2022).

پیش‌بینی‌های گروهی با در نظر گرفتن رویکرد احتمالاتی، متشکل از اعضای پیش‌بینی و متاثر از پربیشدگی^۲ ایجاد شده در شرایط اولیه مدل پیش‌بینی آب و هواشناسی بوده همچنین می‌تواند از مدل‌های هیدرولوژیکی و مدل‌های عددی آب و هوا متفاوت بدست آمده باشند (Moradkhani et al. 2018, Zhu et al. 2019). پیش‌بینی‌های گروهی^۳ در دوره پیش‌بینی-مجدد در دسترس هستند و می‌توانند مستقیماً وارد مدل‌های هیدرولوژیکی شود و برای ارزیابی پیش‌بینی پذیری^۴ رخداد بارش، هشدار و راهنمایی به کشاورزان، مدیریت مخازن سدها مورد استفاده قرار گیرند (Stellingwerf et al. 2021). پیش‌بینی گروهی سیلاب در بین محققان، بیشتر مبتنی بر تولید پیش‌بینی گروهی از ورودی‌های مختلف هواشناسی (خصوصاً دما و بارش)، شرایط اولیه^۵ مختلف، مدل‌های چندگانه هیدرولوژیکی یا مجموعه پارامترهای چندگانه یا ترکیبی از موارد فوق است (Cloke and Pappenberger 2009, Duan et al. 2019, Roundy et al. 2019).

اقلیم ایران به‌طور کلی خشک و نیمه خشک است اما همواره سیلاب‌های مکرر خسارات قابل توجهی به مردم و جامعه وارد می‌کند. چندین سیلاب بزرگ در نقاط مختلف

⁶ Underestimate

⁷ Lead time

⁸ Days ahead

⁹ Ensemble forecast operations

¹⁰ Ensemble streamflow predictions

¹ Numeric weather prediction

² Perturbation

³ Ensemble

⁴ Forecastability

⁵ Initial condition



در این راستا از مدل HEC-HMS استفاده می‌گردد چراکه شامل الگوریتم محاسباتی ذوب برف و الگوریتم محاسبه تلفات آب (SMA) در شبیه سازی پیوسته بارش-رواناب است.

مواد و روش ها

در این بخش ابتدا به معرفی حوضه آبریز سد دز، در ادامه به داده های ورودی بارش و دما پیش بینی مجدد GEFSv12 پرداخته می‌شود. سپس روش مورد استفاده در مدل مفهومی بارش-رواناب HEC-HMS تشریح می‌شود. در انتها شاخص های ارزیابی ارائه شده است. ۱ منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز سد دز به عنوان منطقه مورد مطالعه در این تحقیق برگزیده شد. رودخانه دز (نتیجه پیوند دو رود سزار و بختیاری) مهم ترین شاخه تشکیل دهنده رودخانه کارون بزرگ بوده که رواناب های مناطق وسیعی از استانهای لرستان، اصفهان، خوزستان، چهارمحال بختیاری و مرکزی را جمع آوری نموده و پس از مشروب نمودن دشت های مسیر خود، در نزدیکی محلی به نام بندقیر (در جنوب شهرستان شوشتر) به رودخانه کارون می پیوندد. رودخانه دز پس از گذر از ایستگاه آبنجی تله زنگ وارد دریاچه سد مخزنی دز می شود. در شکل ۱ موقعیت حوضه آبریز سد دز و ایستگاه های بارانسنجی در آن نمایش داده شده است.

شبیه سازی شد (Fan et al. 2016). علاوه بر این، ارزیابی و اهمیت کاربرد پیش بینی گروهی سیلاب توسط محققین دیگری همچون Siqueira et al. (2020), Wu et al. (2020) مورد واکاوی قرار گرفته است.

از مرور منابع فوق مشخص می شود مطالعات پیرامون استفاده از داده های پیش بینی-مجدد و نیز پیش بینی گروهی رواناب همچنان از توجه خاصی در بین محققین برخوردار است. اما در همین حال پژوهش های معدودی به منظور پیش بینی و هشدار وقوع سیل در حوضه های آبریز موجود در ایران انجام شده است. از طرفی، در توافق با نتایج دیگر مطالعات، می توان بیان داشت که با ارائه هشدار زود هنگام وقوع سیلاب، در حوضه های دارای سد مخزنی می توان با پیش رهاسازی^۱ از مخزن و افزایش حجم کنترل سیلاب آن، سهم بیشتری در کاهش خسارات سیل داشت. با این وجود این موضوع باید در محدوده های جغرافیایی و رویدادهای بارشی متفاوت مورد ارزیابی قرار گیرد.

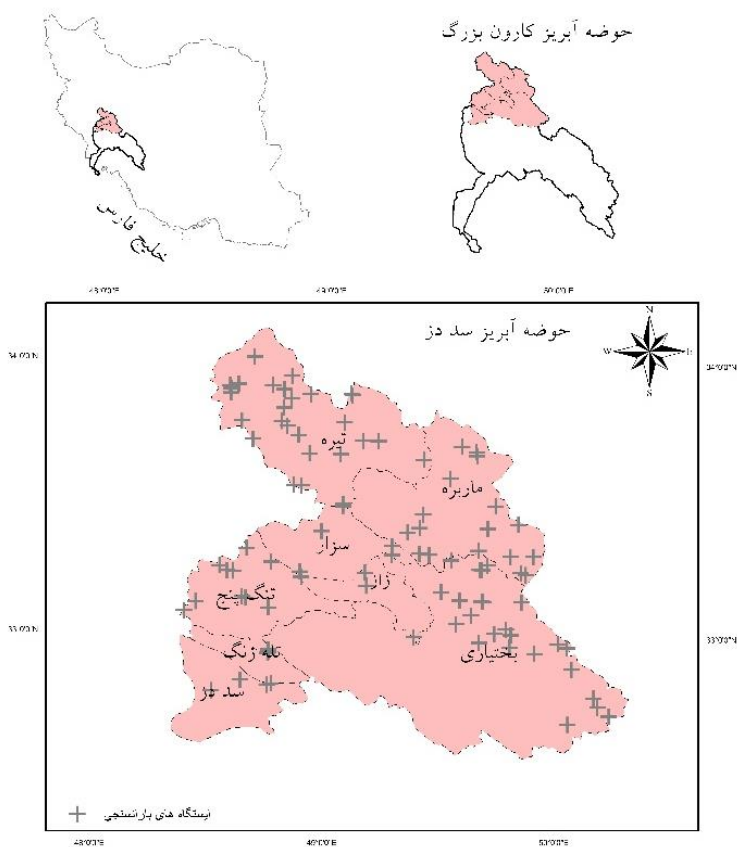
هدف این تحقیق بررسی کاربرد پیش بینی گروهی سیلاب بر مبنای مدل GEFSv12 برای رخداد سیلاب فروردین ۱۳۹۵ و ۱۳۹۸ در حوضه آبریز سد دز در جنوب غرب ایران است. همچنین به بحث در مورد کارایی استفاده از پیش بینی گروهی سیل در مدیریت مخزن سد دز پرداخته می-شود. رخداد بارش های حدی فرودین ۱۳۹۵ و ۱۳۹۸ با استفاده از ۴ عضو منفرد و ۱ عضو کنترل^۲ (قطعی^۳) و همچنین متوسط گروهی^۴ در افق های زمانی مختلف مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

³ Deterministic

⁴ Ensemble mean

¹ Pre-release

² Control member



شکل(۱): موقعیت ایستگاه های بارانسنجی در محدوده حوضه آبریز سد دز

داده های بارش و دما پیش بینی مجدد

GEFSv12

در این پژوهش از داده های سیستم پیش بینی گروهی جهانی^۲ نسخه ۱۲ (GEFSv12) استفاده گردید. داده های سامانه پیش بینی مجدد GEFSv12 در دوره ۲۰ ساله (۲۰۱۹-۲۰۰۰) از طریق آدرس <https://noaa-gefs-retrospective.s3.amazonaws.com/index.html> به صورت بر خط در دسترس قرار دارد. سیستم پیش بینی مجدد مبتنی بر سیستم زمان واقعی پیش بینی جهانی NCEP نسخه ۱۵.۱ از هسته دینامیکی حجم محدود^۳ استفاده می کند. وضوح سیستم پیش بینی ~۲۵ کیلومتر با ۶۴ سطح هیبریدی عمودی است (Guan et al. 2022). تعداد برون داده های مدل GEFSv12 به اندازه پیش بینی

وقایع بارشی مورد ارزیابی

دو واقعه بارشی فروردین ۱۳۹۵ و فروردین ۱۳۹۸ از جمله رخداد های سنگین بارش منجر به سیلاب در حوضه آبریز دز است. این دو رخداد حدی خسارت وسیعی به پایین دست سد دز وارد نموده اند. از این رو ارزیابی پیش بینی پذیری وقایع حدی اهمیت بیشتری داشته و در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به توضیح آنکه، سیلاب فروردین ۱۳۹۸ کلیه حوضه های آبریز جنوب غرب ایران را تحت تاثیر قرار داد از جمله حوضه آبریز سد دز که رخداد دو واقعه بارش همزمان با ذخیره برفی قابل توجه (وقوع پدیده باران روی برف^۱) منجر به وقوع سیلاب با دو پیک بزرگ گردید (Aminyavari et al. 2019).

³ Finite Volume 3 dynamical core

¹ Rain on Snow

² Global ensemble forecast system

زیرحوضه بصورت روزانه استخراج شده که به عنوان ورودی مدل بارش رواناب HEC-HMS وارد می‌شود.

مدل مفهومی بارش-رواناب HEC-HMS

در پژوهش حاضر برای مدلسازی پیوسته فرآیند بارش - رواناب از الگوریتم محاسبه تلفات آب (SMA²) موجود در مدل HEC-HMS استفاده شد. الگوریتم SMA برخلاف سایر روش‌های محاسبه تلفات، سهم آب زیرزمینی و تبخیر و تعرق پتانسیل را در محاسبه جریان خروجی از حوضه در نظر می‌گیرد. به منظور کالیبراسیون مدل HEC-HMS در شبیه‌سازی درازمدت جریان از داده‌های دبی روزانه از سال آبی ۹۶-۱۳۹۵ تا ۹۸-۱۳۹۷ و برای صحت سنجی مدل از داده‌های سال ۹۹-۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ استفاده شد. بنابر توصیه Bennett (1998) همراه مدل SMA بهتر است از مدل مخزن خطی برای محاسبه جریان پایه و همچنین از بین مدل‌های تبدیل بارش مازاد به رواناب از مدل کلارک استفاده شود (Teng et al. 2018). مقادیر پارامترهای کالیبره شده مدل HEC-HMS در جدول ۱ ارائه شده است.

های زمان واقعی نیست و شرایط اولیه مدل یک بار در روز مطابق با اجرای مدل ساعت صفر در نظر گرفته می‌شود. این مدل ۵ عضو دارد، به استثنای هفته ای یک بار، پیش بینی مجدد ۱۱ عضوی ایجاد می‌شود و افق پیش بینی به ۳۵ روز می‌رسد. یک جنبه‌ی مهم مدل GEFS این است که در این پیش‌بینی‌ها، از یک هسته دینامیکی استفاده می‌شود که فقط شرایط اولیه‌ی آن دچار اختلال می‌شود و در مرحله پیش‌بینی آن، آشفتگی‌های تصادفی کوچکی وجود دارد؛ این پیش‌بینی‌ها، برخلاف سیستم‌هایی مانند پیش‌بینی گروهی کوتاه برد^۱ (SREF) است که در آن از هسته‌های دینامیکی مختلف در یک مجموعه/گروه استفاده می‌شود (Saminathan et al. 2021).

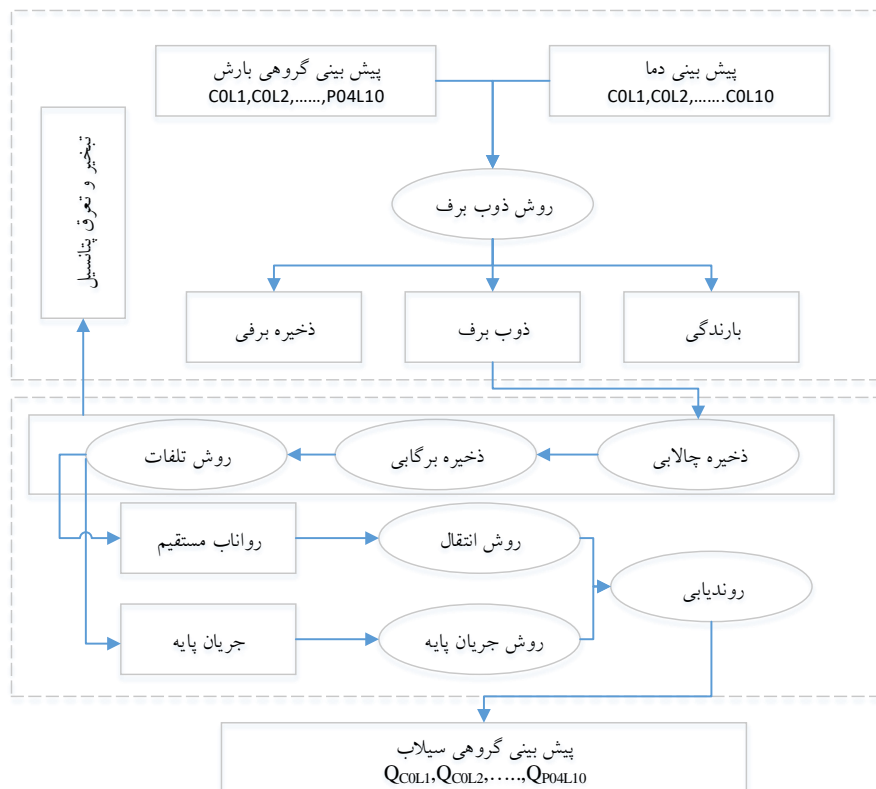
در این پژوهش داده‌های بارش و دما پیش‌بینی مجدد مدل GEFSv12 با فرمت grib2 تهیه شده است؛ از طریق کدنویسی در محیط GRADS، و زبان برنامه‌نویسی Perl و بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS تبدیل به شبکه بندی ۲۰۰۰ متری متناسب با هر زیرحوضه شده و مجموعاً ۸,۳۷۸,۸۸۰ رکورد داده تولید شده است. در نهایت داده‌های منطقه‌ای پیش‌بینی بارش و دما برای هر

جدول (۱): مقادیر پارامترهای واسنجی شده مدل پیوسته-بارش رواناب در زیرحوضه‌های سد دز

تنگ پنج	سپیددش	ماربره	تیره	زاز	سد دز	تله زنگ	بختیاری	Parameter	N O
۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	Soil (%)	۱
۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	Groundwater 1(%)	۲
۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	Groundwater 2(%)	۳
۴/۶۸	۱/۲۳	۲/۶۷	۵/۲۴	۵/۶	۲/۷	۲/۸۸	۲/۴۱	Max infiltration(mm/hr)	۴
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	Impervision(%)	۵
۱۴۹۴	۱۴۹۳.۴	۱۳۲۳	۱۳۰.۵	۱۳۵۲	۱۵۰.۵	۱۴۹۵	۹۴۵	Soil storage(mm)	۶
۱۳۵۰	۱۳۸۲.۸	۱۳۰۰	۱۳۰۰	۱۳۰۰	۱۲۰۰	۱۴۰۴	۶۶۹	Tension storage(mm)	۷
۴/۱۶	۱/۷۲	۴/۶۷	۶/۲۲	۴/۵۸	۲/۳	۲/۸۵	۳/۲۸	Soil percolation(mm/hr)	۸
۱۱۴/۱/۶	۳۶۸	۲۶۴	۶۵۴/۷	۳۰۸/۱۴	۸۰/۳	۹۴/۵۷	۲۲۰	Gw 1 storage(mm)	۹
۲/۱۴	۱/۴۶	۹/۰۷	۹/۸۹	۹/۸۳	۴/۴۵	۳/۳۸	۱/۵۹	Gw 1 percolation(mm/hr)	۱۰
۱/۴۵	۰/۶۸	۵/۰۷	۳/۵۲	۳/۳۵	۲/۵	۱/۴۷	۱/۳۵	Gw 1 corfficient(hr)	۱۱
۱/۲۳	۱۹۲/۲۱	۱۴۰/۵	۲۹۰/۸۳	۱۵۰/۸۳	۵۱/۴۴	۴۴/۳۹	۷۸/۴۵	Gw 2 storage(mm)	۱۲
۲/۶۵	۰/۸۳	۷/۵۷	۸/۰۵	۸/۴۴	۲/۷	۳/۴۱	۱/۰۹	Gw 2 percolation(mm/hr)	۱۳

² Soil Moisture Accounting

¹ Short-Range Ensemble Forecast (SREF)



شکل (۲): طرح مدل‌سازی پیوسته بارش-رواناب در مدل HEC-HMS جهت تولید پیش بینی گروهی سیلاب (Darbandsari and Coulibaly 2020, Scharffenberg 2016)

شاخص‌های ارزیابی

در ارزیابی عملکرد پیش بینی گروهی سیلاب در این تحقیق استفاده می‌شود. روابط ۱ الی ۴ نشان دهنده روابط این شاخص‌ها است.

از شاخص‌های ناش-ساتکلیف (NSE)، ضریب همبستگی پیرسون (PCC)، میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE)، خطای نسبی حجمی (RVE) که به طور گسترده‌ای برای ارزیابی عملکرد مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده شده‌اند،

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (o_i - p_i)^2}{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{p})^2} \quad (1)$$

$$PCC = \frac{\sum (O_i - \bar{O}) \sum (P_i - \bar{P})}{\left[\sum (O_i - \bar{O})^2 \sum (P_i - \bar{P})^2 \right]^{1/2}} \quad (2)$$

$$RMSE = \frac{1}{O} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

$$RVE(\%) = \frac{\sum(O_i - P_i)}{\sum(O_i)} \times 100 \quad (4)$$

نتایج و بحث

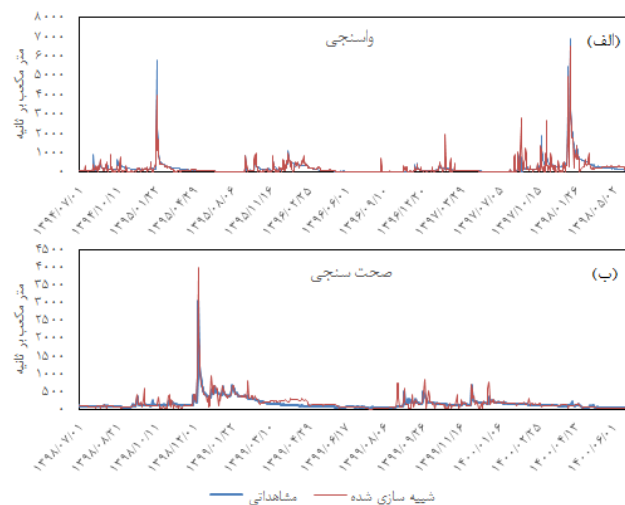
ارزیابی نشان دهنده عملکرد مناسب مدل بارش-رواناب است. در جدول ارائه شده است؛ مقادیر شاخص NSE در دوره واسنجی و صحت سنجی برابر ۰/۷۶ و ۰/۷۲ می باشد همچنین شاخص RVE بیانگر کم برآوردی مدل می باشد.

هیدروگراف مقادیر مدل سازی شده و مشاهداتی برای مرحله واسنجی و صحت سنجی مدل در

شکل نمایش داده شده است. دوره منتخب واسنجی و صحت سنجی دارای سال های خشکسالی و ترسالی می- باشد. نتایج شاخص های آماری در در مجموع شاخص های

جدول ۱- شاخص های ارزیابی مدل

شاخص ارزیابی	واسنجی	صحت سنجی
RVE (%)	-۶	-۸
NSE	۰/۷۶	۰/۷۲
RMSE(m ³ /s)	۲۱۱	۹۴
PCC	۰/۸۷	۰/۹۱



شکل (۳): هیدروگراف شبیه سازی و مشاهداتی در مرحله واسنجی (الف) و صحت سنجی (ب)

نتایج ارزیابی سیلاب ناشی از رخداد حدی فروردین ۱۳۹۵

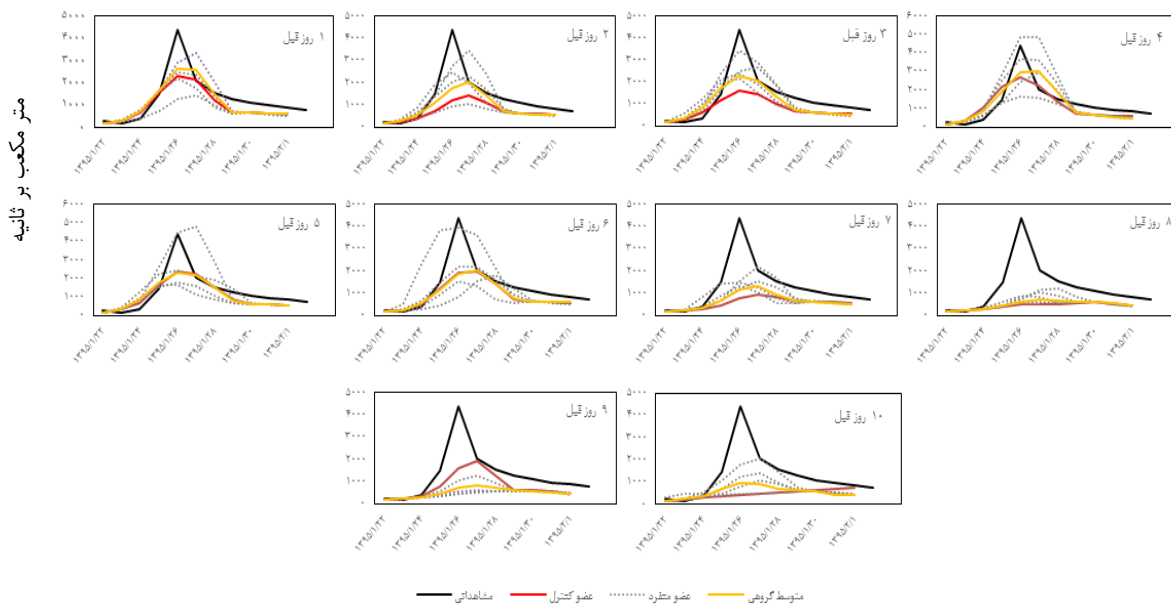
۰/۸۶ و ۲۰- می باشد که عملکرد بهتری نسبت به دیگر افق های زمانی پیش بینی دارد. پیش بینی ۱ روز قبل نسبت به پیش بینی ۴ و ۵ روز قبل امتیاز شاخص های ارزیابی کمتری دارد. بررسی عضوهای منفرد در شناسایی افق پیش بینی مطلوب در هر کدام از اعضا نشان می دهد در عضو منفرد اول از ۴ روز قبل، عضو منفرد دوم از ۱ روز قبل، عضو منفرد سوم از ۳ روز قبل و عضو منفرد چهارم از ۲ روز

هیدروگراف مشاهداتی و پیش بینی های گروهی سیلاب در افق ۱۰-روزه در شکل نمایش داده شده است. به منظور ارزیابی رشته پیش بینی ها در شکل (۵): هیت مپ شاخص- های ارزیابی پیش بینی گروهی سیلاب برای رخداد حدی فروردین ۱۳۹۵ ارائه شده است. بررسی شاخص ها در عضو کنترل نشان می دهد از پنج روز قبل مقادیر شاخص های NSE، RMSE، PCC و RVE به ترتیب برابر ۰/۶۳، ۶۵۹،

به دیگر افق‌های پیش بینی دارد. در مجموع براساس شاخص RVE حجم پیش بینی شده در اکثر رشته پیش بینی‌ها کم برآورد^۱ است. نتایج نشان می‌دهد که در برخی از اعضا پیش بینی از ۵ روز قبل عملکرد بهتری نسبت به ۱ روز قبل داشته است و در توافق با نتایج، تحقیقاتی Tsering et al. (2022), Younis et al. (2008) است.

قبل بهترین عملکرد را در پیش بینی داشته اند. کمترین مقدار شاخص RVE مربوط به عضو منفرد سوم می‌باشد که مقدار این شاخص از ۳ روز قبل به ۲- رسیده است.

بررسی متوسط گروهی نشان می‌دهد از ۴ روز قبل مقادیر شاخص‌های RVE، PCC، RMSE، NSE به ترتیب برابر ۰/۶۶، ۶۳۴، ۰/۸۲ و ۷- می‌باشد که عملکرد بهتری نسبت



شکل (۴): هیدروگراف مشاهداتی و پیش بینی گروهی در افق زمانی ۱۰-روزه (رخداد فروردین ۱۳۹۵)

¹ Under estimate

اعضا	معیارهای ارزیابی	پیش بینی از روزهای قبل									
		روز ۱	روز ۲	روز ۳	روز ۴	روز ۵	روز ۶	روز ۷	روز ۸	روز ۹	روز ۱۰
عضو کنترل	NSE	۰/۵۸	-۰/۸۸	۰/۲۶	-۰/۶۳	-۰/۶۳	-۰/۴۵	-۰/۴۰	-۰/۶۱	-۰/۸۸	-۰/۴۴
	RMSE(cms)	۷۰۳	۱۰۴۰	۹۳۲	۶۶۱	۶۵۹	۸۰۲	۱۳۳۷	۱۳۷۸	۹۳۲	۱۳۰۴
	PCC	۰/۵۷	-۰/۸۸	-۰/۸۷	-۰/۸۲	-۰/۸۶	-۰/۵۴	-۰/۶۴	-۰/۴۲	-۰/۶۱	-۰/۸۸
	RVE(%)	-۲۶	-۴۶	-۴۰	-۱۴	-۲۰	-۳۱	-۵۷	-۶۶	-۴۱	-۵۵
عضو منفرد اول(۰-۱) EN	NSE	۰/۰۵	-۰/۵۱	-۰/۵۱	-۰/۵۵	-۰/۲۲	-۰/۰۴	۰/۱۷	-۰/۲۶	-۰/۱۰	-۰/۲۷
	RMSE(cms)	۱۰۵۹	۷۵۸	۷۶۲	۷۲۵	۹۵۹	۱۱۰۸	۹۹۱	۱۳۲۰	۱۱۳۹	۱۳۳۶
	PCC	۰/۸۲	۰/۷۵	۰/۷۶	۰/۷۷	۰/۷۳	۰/۶۸	۰/۷۶	۰/۶۹	۰/۷۶	۰/۳۹
	RVE(%)	-۴۸	-۷	-۱۸	-۱۷	-۲۶	۳۶	-۴۰	-۵۷	-۵۳	-۵۲
عضو منفرد دوم(۰-۲) EN	NSE	۰/۶۱	-۰/۵۰	-۰/۶۲	-۰/۰۴	-۰/۰۷	-۰/۸۸	۰/۰۰	-۰/۵۳	-۰/۵۴	-۰/۰۳
	RMSE(cms)	۶۷۴	۷۶۹	۶۷۲	۱۰۶۴	۱۰۴۵	۹۸۴	۱۰۳۲	۱۳۴۴	۱۳۴۷	۱۰۰۲
	PCC	۰/۸۰	-۰/۸۸	-۰/۸۱	-۰/۸۳	-۰/۸۱	-۰/۹۱	-۰/۸۳	-۰/۵۸	-۰/۵۹	-۰/۴۸
	RVE(%)	-۸	-۲۳	-۱۷	۳۰	۲۷	-۴۶	-۴۴	-۶۴	-۶۵	-۳۶
عضو منفرد سوم(۰-۳) EN	NSE	۰/۶۲	-۰/۸۶	-۰/۸۱	-۰/۵۴	-۰/۲۶	-۰/۵۷	۰/۰۰	-۰/۸۷	-۰/۶۵	-۰/۸۰
	RMSE(cms)	۶۷۳	۱۱۶۸	۵۸۴	۷۴۰	۶۶۷	۷۱۱	۱۰۸۴	۱۳۳۲	۱۳۴۴	۱۴۱۵
	PCC	۰/۸۵	-۰/۸۰	-۰/۸۵	-۰/۸۱	-۰/۸۲	-۰/۸۳	-۰/۸۳	-۰/۸۸	-۰/۸۹	-۰/۸۰
	RVE(%)	-۲۲	-۵۴	-۲	۱۰	-۲۳	-۲۲	-۵۲	-۵۹	-۶۷	-۶۸
عضو منفرد چهارم(۰-۴) EN	NSE	۰/۶۸	-۰/۵۹	-۰/۴۴	-۰/۳۳	-۰/۵۵	-۰/۱۲	۰/۲۵	-۰/۲۷	-۰/۶۲	-۰/۳۶
	RMSE(cms)	۷۸۴	۶۹۶	۸۱۱	۸۹۱	۷۳۰	۱۱۵۰	۹۳۹	۱۳۳۶	۱۳۸۳	۱۲۶۶
	PCC	۰/۸۶	-۰/۸۴	-۰/۷۹	-۰/۸۳	-۰/۷۴	-۰/۴۱	-۰/۶۹	-۰/۴۶	-۰/۳۳	-۰/۵۴
	RVE(%)	-۳۲	-۲۲	-۲۸	-۳۵	-۵	-۴۲	-۳۶	-۵۴	-۶۶	-۵۹
متوسط گروهی	NSE	۰/۶۵	-۰/۳۹	-۰/۵۷	-۰/۶۶	-۰/۵۸	-۰/۴۳	-۰/۰۱	-۰/۶۶	-۰/۳۹	-۰/۴۰
	RMSE(cms)	۶۳۹	۸۴۸	۷۱۶	۶۴۴	۷۰۳	۸۱۹	۱۰۹۱	۱۳۱۲	۱۲۸۱	۱۲۸۴
	PCC	۰/۸۵	-۰/۸۰	-۰/۸۴	-۰/۸۲	-۰/۸۲	-۰/۸۲	-۰/۸۰	-۰/۵۸	-۰/۶۰	-۰/۳۹
	RVE(%)	-۱۸	-۲۳	-۲۳	-۷	-۲۰	-۳۱	-۵۰	-۶۲	-۶۱	-۵۸



شکل (۵): هیت مپ شاخص‌های ارزیابی پیش بینی گروهی سیلاب برای رخداد حدی فروردین ۱۳۹۵

جدول احتمالاتی تجاوز از آستانه دبی دوره بازگشت ۲ سال (Q=1620cms) نشان می‌دهد که در روز ۲۶ فروردین که پیک سیلاب اتفاق افتاده است از ۶ روز قبل هشدار وقوع سیلاب اعلان شده است. اعضا پیش‌بینی با توافق کامل از ۵ روز قبل هشدار وقوع سیلاب با دوره بازگشت ۲ ساله را صادر می‌کند. در دوره زمانی ۲۶ و ۲۷ فروردین که مقادیر مشاهداتی از آستانه دوره بازگشت دو ساله تجاوز نموده اند (محدوده سبز رنگ) از ۶ روز قبل هشدار تجاوز از آستانه برای کل دوره صادر می‌شود.

اهمیت پیش بینی گروهی در تعیین چهارچوب احتمالاتی^۱ جهت کمک به تصمیم‌گیری^۲ بهتر است. استفاده از پیش بینی های گروهی سیلاب در بهبود بهره برداری از مخزن سد در شرایط سیلابی کمک شایانی به بهره بردار مخزن جهت کاهش خسارت ناشی از سیلاب میکند (Delaney et al. 2020). در مواقعی که ۵۰ درصد و بیشتر اعضا از آستانه تجاوز نمایند می‌توان به عنوان پیش هشدار جدی آگاهی از سیل تلقی نمود (Fan et al. 2016). در جدول ۳ و ۴ با رویکرد احتمالاتی کلیه افق های پیش بینی در تجاوز از آستانه‌های آدبی با دوره بازگشت ۲ و ۵ ساله مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج

³ Exceeded threshold

¹ Probabilistic framework

² Decision making



جدول (۳): درصد توافق اعضا در پیش بینی بیشتر از آستانه دبی دوره بازگشت ۲ ساله در سیلاب فروردین ۱۳۹۵ (محدوده قرمز رنگ دبی مشاهداتی کمتر از ۱۶۲۰ متر مکعب بر ثانیه است و در محدوده سبز رنگ بیشتر از ۱۶۲۰ متر مکعب بر ثانیه است. داده های ستاره دار نشان دهنده رخداد پیک دبی مشاهداتی)

تاریخ رخداد/افق پیش بینی	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	*۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱
فروردین										
۱۰ روز قبل	۱۷	۱۷	.	.	.
۹ روز قبل	۱۷	.	.	.	.
۸ روز قبل
۷ روز قبل	۱۷	۱۷	.	.	.
۶ روز قبل	.	.	۱۷	۱۷	۶۷	۶۷	۳۳	.	.	.
۵ روز قبل	.	.	.	۸۳	۱۰۰	۶۷	۳۳	.	.	.
۴ روز قبل	.	.	.	۶۷	۱۰۰	۸۳	۶۷	.	.	.
۳ روز قبل	.	.	.	۸۳	۸۳	۶۷	۳۳	.	.	.
۲ روز قبل	.	.	.	۱۷	۶۷	۶۷	۳۳	.	.	.
۱ روز قبل	.	.	.	۱۷	۶۷	۶۷	۱۷	.	.	.

مشاهداتی از آستانه دوره بازگشت ۵ ساله تجاوز می کند؛ از ۴ روز قبل هشدار آگاهی از وقوع سیلاب با توافق ۶۷ درصد اعضا صادر شده است

جدول نتایج احتمال تجاوز از آستانه دبی دوره بازگشت ۵ ساله ($Q=2640\text{cms}$) ارائه شده است. نتایج نشان می دهد تنها در روز وقوع پیک رخداد سیل (۲۶ فروردین) دبی

جدول (۴): درصد توافق اعضا در پیش بینی بیشتر از آستانه دبی دوره بازگشت ۵ ساله در سیلاب فروردین ۱۳۹۵

تاریخ رخداد/افق پیش بینی	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	*۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱
فروردین										
۱۰ روز قبل
۹ روز قبل
۸ روز قبل
۷ روز قبل
۶ روز قبل	.	.	.	۱۷	۱۷	۱۷	.	.	.	.
۵ روز قبل	۱۷	۱۷	۱۷	.	.	.
۴ روز قبل	.	.	.	۱۷	۶۷	۶۷	۱۷	.	.	.
۳ روز قبل	۱۷	۳۳	.	.	.	.
۲ روز قبل	۱۷	۱۷	.	.	.	.
۱ روز قبل	۱۷	۱۷	.	.	.	.

NSE، RMSE، PCC و RVE به ترتیب برابر ۰/۶۸، ۰/۶۳۲، ۰/۸۶ و ۱۱- می باشد که عملکرد بهتری نسبت به دیگر افق های زمانی پیش بینی دارد. هرچند از سه روز قبل مقدار شاخص RVE به کمترین مقدار خود رسیده است. بررسی

نتایج ارزیابی سیلاب ناشی از رخداد حدی فروردین ۱۳۹۸

در شکل هیت مپ مقادیر شاخص های ناش-ساتکلیف، میانگین مجذور مربعات خطا، همبستگی پیرسون، خطای نسبی حجم ارائه شده است. بررسی شاخص ها در عضو کنترل نشان می دهد از یک روز قبل مقادیر شاخص های

جدول (۵): درصد توافقی اعضا در پیش بینی بیشتر از آستانه دبی دوره بازگشت ۲ ساله در سیلاب فروردین ۱۳۹۸

تاریخ رخداد/افق پیش بینی	۲	۳	۴	۵	*۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	*۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
فروردین														
۱۰ روز قبل	۰	۰	۰	۰	۰	۱۷	۱۷	۰	۰	۱۷	۵۰	۸۳	۸۳	۱۰۰
۹ روز قبل	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۳	۵۰	۸۳	۸۳	۱۰۰
۸ روز قبل	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۷	۸۳	۱۰۰	۸۳	۶۷	۸۳
۷ روز قبل	۰	۰	۰	۰	۱۷	۳۳	۳۳	۰	۱۷	۸۳	۸۳	۸۳	۸۳	۸۳
۶ روز قبل	۰	۰	۰	۳۳	۵۰	۵۰	۳۳	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۵ روز قبل	۰	۰	۰	۵۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۷	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۴ روز قبل	۰	۰	۱۷	۸۳	۱۰۰	۱۰۰	۶۷	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۳ روز قبل	۰	۰	۰	۶۷	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۰	۰	۸۳	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۲ روز قبل	۰	۰	۰	۶۷	۱۰۰	۱۰۰	۸۳	۰	۰	۸۳	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱ روز قبل	۰	۰	۰	۸۳	۸۳	۸۳	۸۳	۰	۰	۶۷	۸۳	۸۳	۸۳	۸۳

در پیک دوم سیلاب از ۷ روز قبل هشدار وقوع سیلاب اعلان شده است؛ توافقی اعضا پیش بینی از ۶ روز قبل به ۸۳ درصد رسیده است که بیشترین همگرایی در افق پیش بینی است.

در جدول ۶ نتایج احتمال تجاوز از آستانه دبی دوره بازگشت ۵ ساله ($Q=2640\text{cms}$) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد در روز وقوع پیک اول رخداد سیل (۶ فروردین) از ۴ روز قبل هشدار وقوع سیلاب برای آن روز صادر شده است.

جدول (۶): درصد توافقی اعضا در پیش بینی بیشتر از آستانه دبی دوره بازگشت ۵ ساله در سیلاب فروردین ۱۳۹۸

تاریخ رخداد/افق پیش بینی	۲	۳	۴	۵	*۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	*۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
فروردین														
۱۰ روز قبل	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۹ روز قبل	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۷	۱۷	۱۷	۰
۸ روز قبل	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۷	۳۳	۳۳	۳۳	۱۷
۷ روز قبل	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۷	۵۰	۵۰	۰	۰
۶ روز قبل	۰	۰	۰	۰	۰	۱۷	۱۷	۰	۰	۰	۸۳	۸۳	۱۷	۰
۵ روز قبل	۰	۰	۰	۰	۱۷	۱۷	۱۷	۰	۰	۰	۶۷	۶۷	۶۷	۰
۴ روز قبل	۰	۰	۰	۱۷	۶۷	۸۳	۰	۰	۰	۰	۶۷	۸۳	۳۳	۰
۳ روز قبل	۰	۰	۰	۰	۶۷	۸۳	۰	۰	۰	۰	۳۳	۸۳	۰	۰
۲ روز قبل	۰	۰	۰	۰	۶۷	۶۷	۰	۰	۰	۰	۶۷	۸۳	۱۷	۰
۱ روز قبل	۰	۰	۰	۳۳	۸۳	۸۳	۰	۰	۰	۰	۶۷	۸۳	۵۰	۰

نتیجه گیری

پیش بینی را افزایش می دهد اما همواره موجب بهبود نتایج پیش بینی نمی شود.

نتایج نشان داد با استفاده از چهارچوب احتمالاتی ارائه شده در این تحقیق می توان از ۶ تا ۱۰ روز قبل از رخداد سیلاب با دوره بازگشت ۲ ساله و ۴ تا ۷ روز قبل رخداد سیل با دوره بازگشت ۵ ساله آگاهی پیدا کرد؛ اگر چه در این بازه زمانی محدودیت برای پیش رهاسازی^۱ از مخزن سد دز بویژه در هنگام وقوع سیلاب های حدی در انتهای دوره آگیری^۲ مخزن وجود دارد اما کمک شایانی به برنامه ریزی جهت آمادگی و کاهش خسارات سیلاب می کند.

بارش های سامانه ای ریزش های پیاپی به همراه دارند که در صورت وقوع آنها در حوضه های آبریز موجود در بخش مرتفع زاگرس (منتهی به دشت خوزستان) می توان نتایج تحقیق حاضر در خصوص ارزیابی افق پیش بینی را به آنها تعمیم داد.

تقدیر و تشکر

محققین این مقاله از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز و مدیریت نوآوری، توسعه فناوری و پژوهش های کاربردی سازمان آب و برق خوزستان جهت حمایت از این پژوهش مراتب قدردانی را به عمل می آورند.

حوضه آبریز سد دز در بخش مرتفع رشته کوه زاگرس در جنوب غرب ایران قرار دارد به این جهت همزمان با فصل ذوب برف احتمال وقوع رخداد حدی سیلاب افزایش می یابد. در این تحقیق علی رغم پیچیدگی فرآیند شبیه سازی به ویژه در حوضه های آبریز دز با ذخیره برفی قابل توجه، مدل پیوسته SMA به خوبی فرآیند بارش و رواناب را برای دو واقعه فروردین ۱۳۹۵ و ۱۳۹۸ را شبیه سازی نمود. نتایج نشان داد پیش بینی گروهی سیلاب تولید شده اطلاعات مفیدی در اختیار بهره بردار مخزن سد دز جهت بهبود مدیریت سیلاب قرار می دهد.

عملکرد پیش بینی های گروهی سیلاب بر مبنای مدل GEFSv12 را در رخداد های حدی فروردین ۱۳۹۵ و ۱۳۹۸ توسط شاخص های آماری ارائه شد. نتایج نشان داد استفاده از رویکرد احتمالاتی برای تصمیم گیری در مدیریت سیلاب با صدور پیش آگاهی با افزایش افق زمانی، می تواند باعث کارآمدی بیشتر تصمیمات مدیریتی گردد.

در بررسی اثر افق زمانی در افزایش دقت پیش بینی مشخص شد هر چند کاهش افق زمانی احتمال افزایش دقت

منابع

- Aminyavari, S., Saghafian, B. and Sharifi, E. (2019) Assessment of precipitation estimation from the NWP models and satellite products for the spring 2019 severe floods in Iran. *Remote Sensing* 11(23), 2741.
- Baxter, M.A., Lackmann, G.M., Mahoney, K.M., Workoff, T.E. and Hamill, T.M. (2014) Verification of quantitative precipitation reforecasts over the southeastern United States. *Weather and Forecasting* 29(5), 1199-1207.
- Bennett, t. (1998) Development and application of a continuous soil moisture accounting algorithm for the Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System, HEC-HMS, University of California, Davis.
- Cloke, H. and Pappenberger, F. (2009) Ensemble flood forecasting: A review. *Journal of hydrology* 375(3-4), 613-626.

² Refill

¹ Pre-release

- Darbandsari, P. and Coulibaly, P. (2020) Inter-comparison of lumped hydrological models in data-scarce watersheds using different precipitation forcing data sets: Case study of Northern Ontario, Canada. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 31, 100730.
- Delaney, C.J., Hartman, R.K., Mendoza, J., Dettinger, M., Delle Monache, L., Jasperse, J., Ralph, F.M., Talbot, C., Brown, J. and Reynolds, D. (2020) Forecast informed reservoir operations using ensemble streamflow predictions for a multipurpose reservoir in Northern California. *Water resources research* 56(9), e2019WR026604.
- Duan, Q., Pappenberger, F., Wood, A., Cloke, H.L. and Schaake, J. (2019) *Handbook of hydrometeorological ensemble forecasting*, Springer Berlin/Heidelberg, Germany.
- Fan, F.M., Collischonn, W., Quiroz, K., Sorribas, M., Buarque, D. and Siqueira, V. (2016) Flood forecasting on the Tocantins River using ensemble rainfall forecasts and real-time satellite rainfall estimates. *Journal of Flood Risk Management* 9(3), 278-288.
- Gascón, E., Lavers, D., Hamill, T.M., Richardson, D.S., Ben Bouallègue, Z., Leutbecher, M. and Pappenberger, F. (2019) Statistical postprocessing of dual-resolution ensemble precipitation forecasts across Europe. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 145(724), 3218-3235.
- Guan, H., Zhu, Y., Sinsky, E., Fu, B., Li, W., Zhou, X., Xue, X., Hou, D., Peng, J. and Nageswararao, M. (2022) GEFSv12 reforecast dataset for supporting subseasonal and hydrometeorological applications. *Monthly Weather Review* 150(3), 647-665.
- Hamill, T.M., Whitaker, J.S., Shlyueva, A., Bates, G., Fredrick, S., Pegion, P., Sinsky, E., Zhu, Y., Tallapragada, V. and Guan, H. (2022) The Reanalysis for the Global Ensemble Forecast System, Version 12. *Monthly Weather Review* 150(1), 59-79.
- Maddah, M.A., Akhoond-Ali, A.M., Ahmadi, F., Ghafarian, P. and Rusin, I.N. (2021) Forecastability of a heavy precipitation event at different lead-times using WRF model: the case study in Karkheh River basin. *Acta Geophysica* 69(5), 1979-1995.
- Moradkhani, H., Nearing, G., Abbaszadeh, P. and Pathiraja, S. (2018) Fundamentals of data assimilation and theoretical advances. *Handbook of hydrometeorological ensemble forecasting*, 1-26.
- Nanditha, J. and Mishra, V. (2021) On the need of ensemble flood forecast in India. *Water Security* 12, 100086.
- Ou, M.H., Charles, M. and Collins, D.C. (2016) Sensitivity of calibrated week-2 probabilistic forecast skill to reforecast sampling of the NCEP Global Ensemble Forecast System. *Weather and Forecasting* 31(4), 1093-1107.
- Roundy, J.K., Duan, Q. and Schaake, J.C. (2019) *Handbook of hydrometeorological ensemble forecasting*, pp. 3-31, Springer.
- Saminathan, S., Medina, H., Mitra, S. and Tian, D. (2021) Improving short to medium range GEFS precipitation forecast in India. *Journal of hydrology* 598, 126431.
- Scharffenberg, W. (2016) *HEC-HMS User's Manual, Version 4.2.* (CEIWRHEC), U.S.A.C.o.E.I.f.W.R.H.E.C. (ed), Davis, California, USA.
- Siqueira, V.A., Fan, F.M., De Paiva, R.C.D., Ramos, M.-H. and Collischonn, W. (2020) Potential skill of continental-scale, medium-range ensemble streamflow forecasts for flood prediction in South America. *Journal of hydrology* 590, 125430.
- Stellingwerf, S., Riddle, E., Hopson, T.M., Knievel, J.C., Brown, B. and Gebremichael, M. (2021) Optimizing precipitation forecasts for hydrological catchments in Ethiopia using statistical bias correction and multi-modeling. *Earth and Space Science* 8(6), e2019EA000933.



Teng, F., Huang, W. and Ginis, I. (2018) Hydrological modeling of storm runoff and snowmelt in Taunton River Basin by applications of HEC-HMS and PRMS models. *Natural Hazards* 91(1), 179-199.

Tsering, K., Shrestha, M., Shakya, K., Bajracharya, B., Matin, M., Lozano, J.L.S., Nelson, J., Wangchuk, T., Parajuli, B. and Bhuyan, M.A. (2022) Verification of two hydrological models for real-time flood forecasting in the Hindu Kush Himalaya (HKH) region. *Natural Hazards* 110(3), 1821-1845.

Wu, W., Emerton, R., Duan, Q., Wood, A.W., Wetterhall, F. and Robertson, D.E. (2020) Ensemble flood forecasting: Current status and future opportunities. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water* 7(3), e1432.

Younis, J., Ramos, M.H. and Thielen, J. (2008) EFAS forecasts for the March–April 2006 flood in the Czech part of the Elbe River Basin—A case study. *Atmospheric Science Letters* 9(2), 88-94.

Zhu, Y., Li, W. and Sinsky, E. (2019) An Investigation of Prediction and Predictability of NCEP Global Ensemble Forecast System (GEFS).