Archive of SID

تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال شانزدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹
Volume 16, No. 1, Spring 2020 (IR-WRR)
۵۹-۷۱

ارزیابی پیوسته و احتمالاتی پیش‌بینی‌های بلندمدت بارش مدل‌های همادی آمریکای شمالی (مطالعه موردی: حوضه آبریز سد کرخه)

محمد فلاح کلاکی[۱]، مجید دلاور[۲*] و اشکان فرخ‌نیا[۳]

چکیده

در دهه‌های اخیر قابلیت پیش‌بینی‌های هواشناسی به دلیل توسعه شهری و تغییراقلیم به امری مهم در جوامع بشری تبدیل شده است. پیش‌بینی این متغیرها علاوه بر آگاهی دادن به بخش‌های گوناگون جامعه، نقش مؤثری را در تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی بهتر در زمینه‌های مختلف، نظیر مدیریت منابع آبی ایفا می‌نمایند. امروزه در این حوزه، بکارگیری مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع آب و هوا یکی از متداول‌ترین رویکردها به شمار می‌روند و تلاش‌های فراوانی برای توسعه مدل‌های جدید و بهبود نتایج پیش‌بینی‌های آن‌ها در سطح جوامع علمی جهان در جریان می‌باشد. در این تحقیق، برونداد هفت مدل پیش‌بینی از مجموعه مدل‌های همادی چندگانه آمریکای شمالی به‌منظور ارزیابی پیش‌بینی بارش حوضه سد کـــرخه در دوره ۳۱ ساله (۲۰۱۵-۱۹۸۵) به‌کار گرفته شده است. بدین منظور پس از مقیاس‌کاهی برونداد مدل‌های پیش‌بینی در افق‌های زمانی ۱ تا ۳ ماهه با استفاده از روش رگرسیون خطی چندگانه (MLR)، امکان بهبود آن‌ها با استفاده از رویکرد ترکیب مدل‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. ارزیابی کارایی مدل‌ها با استفاده از شاخص‌های ضریب همبستگی پیرسون (ρ) و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده (NRMSE) برای ارزیابی پیوسته و منحنی اطمینان‌پذیری برای ارزیابی احتمالاتی، انجام گردید. نتایج نشان می‌دهد که هیچ‌کدام از مدل‌ها به تنهایی در تمامی افق‌های زمانی مورد بررسی، عملکرد مطلوبی را نداشته‌اند و استفاده منفرد از آن‌ها عملکرد مناسبی را نشان نمی‌دهد؛ درحالی که مدل ترکیبی (MME) به‌طورکلی عملکرد مناسب‌تری را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از این تحقیق، اهمیت استفاده از همادی مدل‌های چندگانه بر مبنای نتایج خروجی چندین مدل را جهت ارتقاء مهارت پیش‌بینی بارش نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: ارزیابی مهارت، مقیاس‌کاهی، اطمینان‌پذیری، مدل‌های همادی آمریکای شمالی، حوضه سد کرخه.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۶/۲۵
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۹/۲۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۲- استادیار، گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۳- عضو هیئت علمی، موسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو، تهران، ایران.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۹ امکانپذیر است.

Continuous and Probabilistic Assessment of Long-term Precipitation Forecast of North American Multi Model Ensemble (Case Study: Karkheh Dam Basin)

M. Fallah Kalaki [1], M. Delavar [2], and A. Farokhnia [3]*

Abstract

In recent decades, the ability of meteorological forecasts due to urban development and climate change has become an important issue in human societies. Forecasting these variables in addition to informing different segments of society, plays an effective role in better decision making and planning in different areas, such as water resources management. Nowadays in this field, the use of numerical forecasting models is one of the most common approaches and many efforts are being made to develop new models and improve the results of their forecasts across the world. In this study, the output of seven forecast models from the North American Multi Model Ensemble (NMME) project is used to evaluate the forecast of precipitation in Karkheh Dam basin during the 31 years period (1985-2015). For this purpose, the outputs of precipitation forecast models for 1-3 month lead times were downscaled using Multiple Linear Regression (MLR) method. Then the possibility of improving forecast skill of them has been evaluated using an ensemble model approach. The models were assessed using both continuous and probabilistic methods using Pearson correlation coefficient (ρ) and normalized root mean square error (NRMSE) and reliability diagram respectively. The results indicate that none of the forecast models performed well in all lead times alone and their individual use did not show good performance; while the Multi Model Ensemble (MME) generally shows better performance than the individual models. The results of this study, demonstrate the importance of using an ensemble model based on the outputs of several models for improving the long term precipitation forecast skill.

Keywords: Skill Assessment, Downscaling, Reliability, North American Multi Model Ensemble, Karkheh Dam Basin.

Received: September 16, 2019
Accepted: December 15, 2019

1- M.Sc. Student, Water Resources Engineering Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2- Assistant Professor, Water Resources Engineering Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: m.delavar@modares.ac.ir
3- Faculty member, Water Research Institute, Ministry of Energy, Tehran, Iran.
*- Corresponding Author

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

پیش‌بینی میان‌مدت و بلندمدت شرایط آب و هوا از اهمیت ویژه‌ای در مدیریت منابع آب، همچون تسهیل آمادگی در برابر خشکسالی، پیش‌بینی جریان ورودی به سدها و تخصیص آب به بخش‌های مختلف برخوردار است. استفاده از این پیش‌بینی‌ها، امکان تصمیم‌گیری مدیریتی برای آینده و جلوگیری از خطرات احتمالی را میسر می‌سازند و از این‌رو نقش مؤثری در مدیریت ریسک منابع آبی را دارا هستند. عموماً پیش‌بینی‌های ماهانه و فصلی بارش به دو صورت مورد استفاده قرار می‌گیرند: الف) این پیش‌بینی‌ها می‌تواند به‌عنوان یک محصول مورد استفاده قرار گیرد. برای مثال؛ پیش‌بینی بارش در مقیاس ماهانه یا فصلی می‌تواند آمادگی برای خشکسالی‌های احتمالی را تسهیل نماید (Shamir, 2017)؛ ب) پیش‌بینی بارش می‌تواند به‌عنوان ورودی به مدل‌های هیدرولوژیکی برای پیش‌بینی جریان رودخانه و رطوبت خاک استفاده شود و در زمینه مدیریت منابع آب مفید بـــاشد (Barbero et al., 2017). هر چند طیف متنوعی از مدل‌ها در پیش‌بینی‌های ماهانه و فصلی بارش به‌کار گرفته شده است، ولی واقعیت آن می‌باشد که این موضوع عدم قطعیت‌های خاص خود را دارد و هیچ‌یک از روش‌های مورد استفاده به‌تنهایی نتوانسته است کارایی لازم را در پیش‌بینی‌ها داشته باشند. از مهم‌ترین عوامل این امر؛ پیچیدگی مسأله، تعدد عوامل اثرگذار و شناخت ناکافی از اصل فرایندهای مؤثر بر رخدادهای هواشناسی است. به منظور پاسخ به برخی از این کاستی‌ها، مدل‌های متنوعی توسعه یافته است که مدل‌های عددی پیش‌بینی از به‌روزترین آن‌ها هستند. این مدل‌ها با در نظر گرفتن شرایط اولیه جو، اقیانوس و سطح خشکی، اجزای سامانه زمین را به‌صورت گسسته مکانی و زمانی مدل‌سازی می‌کنند و پیش‌بینی‌های ماهانه و فصلی را ارائه می‌نمایند. این پیش‌بینی‌ها برخلاف مدل‌های گردش عمومی جو (GCM)[۱] که دورنمای بالای ۳۰ سال را ارائه می‌کنند، معمولاً برای افق‌های زمانی[۲] ۱۱ ماه آینده مورد استفاده قرار می‌گیرند (Najafi et al., 2018). مدل‌های پیش‌بینی فصلی آب و هوا در مقیاس جهانی توسط مراکز تحقیقاتی و اجرایی مختلفی از کشورهای مختلف توسعه داده شده‌اند. ازجمله این مراکز عملیاتی می‌توان به مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت وضع هوا (ECMWF)[۳]، اداره هواشناسی پادشاهی متحده (UK)[۴] و مرکز اقلیمی همکاری‌های اقتصادی آسیا-اقیانوسیه (APCC)[۵] در کره جنوبی (Min et al., 2014) اشاره کرد که پیش‌بینی‌های فصلی را در افق‌های زمانی سه تا شش‌ماهه تولید می‌کنند؛ اما برونداد این مدل‌ها برای عموم در اختیار نیست. در سال‌های اخیر، پایگاه مدل‌های همادی چندگانه آمریکای شمالی (NMME)[۶] به دلیل در اختیار بودن برونداد مدل‌های این پایگاه و تولید پیش‌بینی‌های زمان واقعی به‌صورت مرتب، بیشتر مورد توجه محققین این زمینه قرار گرفته است (Infanti and Kirtman et al., 2016). در این پروژه، مراکز تحقیقاتی و اجرایی مختلفی ازجمله مراکز ملی پیش‌بینی‌های زیست‌محیطی (NCEP)[۷]، سازمان ملی اقیانوسی و اتمسفر (NOAA)[۸]، آزمایشگاه دینامیک شاره‌های ژئوفیزیکی (GFDL)[۹]، موسسه تحقیقات بین‌المللی اقلیم و جامعه (IRI)[۱۰]، مرکز ملی تحقیقات جوی (NCAR)[۱۱]، سازمان ملی هوا و فضا (NASA)[۱۲]، مرکز مطالعات اقیانوس- زمین- جو (COLA)[۱۳] و مرکز هواشناسی کانادا (CMC)[۱۴] همکاری می‌کنند (Kirtman et al., 2014). مطالعات زیادی به ارزیابی و استفاده از پیش‌بینی‌های هواشناسی و اقلیم در مدیریت منابع آب در سطح جهان پرداخته‌اند که اهمیت این نوع از پیش‌بینی‌ها را برای مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب نشان می‌دهد (Altunkaynak and Nigussie, 2017; Ma et al., 2017; Fallon et al., 2019). به‌منظور ارزیابی مهارت مدل‌های همادی آمریکای شمالی در سال‌های اخیر تحقیقات جدیدی در نقاط مختلف جهان انجام شده است. به عنوان مثال؛ بررسی مهارت پیش‌بینی مدل‌های همادی آمریکای شمالی در ۱۷ حوضه آبریز در کشور چین (Ma et al., 2017) نشان داد که مهارت مدل‌ها با توجه به منطقه جغرافیایی و ماه و فصل مورد نظر متفاوت است. به عنوان مثال در این مطالعه مهارت مدل‌های پیش‌بینی در فصل پاییز و زمستان بهتر بوده است. در مطالعه دیگری که در شرق آفریقا صورت گرفته است، مهارت مدل‌های پیش‌بینی پایگاه NMME برای دما نسبت به بارش بیش‌تر می‌باشد (Shukla et al., 2016). در این مطالعه مهارت پیش‌بینی بارش تنها در کشور اتیوپی قابل‌قبول بوده است. همچنین نتایج بررسی مهارت مدل‌های پایگاه NMME در هفت منطقه اصلی آمریکا (Slater et al., 2016) نشان می‌دهد که هیچ‌کدام از مدل‌های این پایگاه به طور مداوم مهارتی بهتر از سایر مدل‌ها را ندارند؛ به عنوان مثال در سال ۱۹۸۸ مدل CFSv2 و در سال ۲۰۱۲ مدل CanCM3 عملکرد بهتری را دارند. همچنین این مطالعه عنوان می‌کند که مهارت مدل‌های این پایگاه در افق زمانی ۱ ماهه قابل قبول است اما در افق‌های زمانی بالاتر، مهارت مدل به‌طور محسوسی کاهش می‌یابد.

با توجه به عدم قطعیت‌های زیاد مرتبط با پیش‌بینی‌های آب و هوا، عملاً استفاده منفرد از بروندادهای یک مدل پیش‌بینی، نمی‌تواند رویکرد مناسبی در ارتباط با لحاظ عدم قطعیت‌های پیش‌بینی باشد و همواره پیش‌بینی‌های منفرد بارش به‌ویژه در افق‌های زمانی بلندمدت دارای دقت‌های قابل قبولی نیستند. پیش‌بینی ترکیبی آب و هوا ازجمله رویکردهای مورداستفاده در به‌کارگیری برونداد مدل‌های عددی محسوب می‌گردد که نقش مؤثری در ارتقاء کارایی و لحاظ عدم

www.SID.ir

Archive of SID

قطعیت‌های مربوط خواهد داشت. این رویکرد، اخیراً در پیش‌بینی بارش بیشتر مورد توجه واقع شده است. به عنوان مثال در مطالعه‌ای که در مقیاس جهانی انجام شده است، مدل‌های پیش‌بینی سازمان هواشناسی جهانی WMO به صورت منفرد و ترکیب آن‌ها با یکدیگر (MME)[۱۵] مورد بررسی قرار گرفت که در نهایت استفاده از مدل‌ها به‌صورت ترکیبی بهترین عملکرد را نشان داد (kim et al., 2016). در مطالعه‌ای دیگر در آمریکا از ۱۱ مدل (در مجموع ۱۲۸ عضو) پایگاه NMME به‌صورت ترکیبی از اعضای هر مدل استفاده کردند. ترکیب این اعضا به‌صورت میانگین تمامی اعضای هر مدل در نظر گرفته شد. نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه بیانگر مهارت بالای مدل‌های NMME در شرق آمریکا است. همچنین در این مطالعه مشاهده می‌شود که دقت مدل‌های پایگاه NMME لزوماً با افزایش افق زمانی کاهش نیافته است (Khajehei et al., 2018). همچنین در مطالعه دیگری در شرق آفریقا، مهارت پیش‌بینی فصلی بارش و دما با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای واحد تحقیقاتی اقلیمی CRU[۱۶] و داده‌های ترکیب‌شده‌ی ۸ مدل از پایگاه NMME مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه حداکثر همبستگی داده‌های مشاهداتی با پیش‌بینی مدل‌های ترکیبی NMME برای بارش ۰/۶ و برای دما ۰/۹ گزارش شده است. همچنین، نتایجی که از این مطالعه استخراج شده است؛ نشان می‌دهد که در هنگام به‌کارگیری مدل‌های پیش‌بینی به‌صورت ترکیب مدل‌های چندگانه MME مهارت مدل‌ها بیشتر شده و نتایج بهبود یافته است (Shukla et al., 2016). در مطالعه‌ی دیگری که در کشور ایران انجام شده است، مهارت پیش‌بینی فصلی بارش، مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه از داده‌های بارش GPCC[۱۷] و مدل‌های همادی آمریکای شمالی استفاده شده و برای مقیاس‌کاهی آماری از روش تحلیل همبستگی کانونی (CCA)[۱۸] استفاده کردند. بر اساس نتایج حاصل از مطالعه، بین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده‌ی بارش در دوره‌های DJF، NDJ، OND و JFM به ترتیب همبستگی ۰/۶۸، ۰/۶۲، ۰/۴۲ و ۰/۴۳ برقرار می‌باشد؛ به همین جهت مدل پیش‌بینی در دوره OND مهارت بیشتری را نسبت به سایر دوره‌ها دارد (Shirvani and Landman, 2016).

در زمینه پیش‌بینی فصلی شاخص‌های هواشناسی و خشکسالی، مطالعات مختلفی در کشور ایران انجام شده است که عموماً بر اساس روش‌های آماری یا داده‌محور بوده است. به عنوان مثال، تخمین بارش ایستگاه ارومیه با استفاده از روش‌های آماری کلاسیک و مدل درختی M5 مورد بررسی قرار گرفت (Vakili, 2018). همچنین در مطالعه‌ای در خراسان، پیش‌بینی بارش فصلی دسامبر تا می با استفاده از مدل رگرسیونی گام‌به‌گام مورد ارزیابی قرار گرفت (Fallah Ghalhary et al., 2009). همچنین پیش‌بینی بارش ایستگاه سمنان با استفاده شاخص‌های دورپیوندی و به‌کارگیری روش رگرسیون خطی چندگانه (MLR)[۱۹] انجام شده است (Mohammadi et al., 2016). نتایج ارائه شده در این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از این روش در پیش‌بینی بارش ایستگاه سینوپتیک سمنان موفقیت‌آمیز بوده است. در مطالعه دیگری در حوضه کرخه، پیش‌بینی بارش پاییزه با استفاده از دو شاخص ENSO و SOI در زیرحوضه سیمره و با استفاده از روش‌های مقیاس‌کاهی توسعه مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN)[۲۰]، شبکه عصبی رگرسیون تعمیم‌یافته، رگرسیون بردار پشتیبان، نزدیکترین k همسایگی (KNN)[۲۱]، و رگرسیون خطی انجام شده است (Modaresi et al., 2015). در مطالعه دیگری که توسط سازمان هواشناسی کشور برای حوضه‌های جنوب غرب کشور انجام شده است، به منظور پر کردن خلاءهای آماری برای استفاده در پیش‌بینی‌های ماهانه بارش از داده‌های بازکاوی افرودیت استفاده شد. نتایج به دست آمده در این مطالعه نشان‌دهنده دقت بالای داده‌های تلفیقی دیده‌بانی- افرودیت در نمایش الگوی بارش در ماه‌های سرد و پر بارش می‌باشد (Babaeian et al., 2017). همچنین پژوهشکده اقلیم‌شناسی سازمان هوشناسی کشور در هفته اول هر ماه پیش‌بینی بینی بارش فصلی را با پس از پس‌پردازش مدل CFSv2 با استفاده از روش‌های آماری ارائه می‌کند (ASMERC, 2018). نتایج به‌دست‌آمده از این پیش‌بینی‌ها نشان‌دهنده دقت ۷۰ درصدی آن به‌ویژه در ۳ ماهه اول سال می‌باشد.

مطالعات انجام شده در زمینه پیش‌بینی بلندمدت بارش در کشور بیشتر بر مبنای استفاده از روش‌های آماری و داده‌محور بوده است و از مدل‌های عددی پیش‌بینی آب و هوا به صورت محدودی استفاده شده است. با توجه به رویکردهای مورد استفاده در کشور، نتایج مطالعات یاد شده عموماً متکی بر تحلیل الگوهای تاریخی وقایع بارش بوده و لذا کارایی این پیش‌بینی‌ها در شناسایی وقایع حدی منحصر به فرد به شدت ضعیف می‌باشد. در این زمینه استفاده از برونداد مدل‌های پیش‌بینی ماهانه و فصلی آب و هوا به منظور ارتقاء کارایی سامانه پیش‌بینی بلندمدت، بسیارحائز اهمیت است این امر مستلزم ارزیابی قابلیت این طیف از پیش‌بینی‌ها در سطح کشور می‌باشد که با توجه به طیف متنوع مطالعات در خصوص ارزیابی پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت هواشناسی کمتر مورد توجه واقع شده است. لذا در این مطالعه تلاش شده است تا برونداد ۷ مدل از مدل‌های پیش‌بینی‌کننده بارش موجود در پروژه‌ی NMME در حوضه آبریز سد کرخه مقیاس‌کاهی و دقت قابل حصول از آن‌ها با استفاده از شاخص‌های پیوسته و احتمالاتی مورد ارزیابی قرار گیرد. در این زمینه امکان بهبود نتایج با استفاده ترکیب برونداد مدل‌ها نیز مورد توجه قرار گرفته است.

www.SID.ir

Archive of SID

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده

منطقه مورد مطالعه، محدوده موقعیت جغرافیایی ۴۶ تا ۴۹ درجه شرقی و ۳۲ تا ۳۵ درجه شرقی شامل حوضه آبریز سد کرخه در ایران است (شکل ۱). حوضه سد کرخه با مساحت ۴۲۶۲۰ کیلومتر مربع یکی از مهم‌ترین زیرحوضه‌های بزرگ کشور می‌باشد. حوضه آبریز سد کرخه شامل قسمت‌هایی از استان‌های کرمانشاه، همدان، مرکزی، کردستان، ایلام، لرستان و خوزستان می‌باشد. از شهرهای مهم این حوضه می‌توان ملایر، تویسرکان، نهاوند، کنگاور، سنقر، کامیاران، کرمانشاه، کرند، خرم‌آباد و سوسنگرد را نام برد. گامسیاب، قره‌سو، کشکان و سیمره ۴ زیرحوضه اصلی حوضه سد کرخه را تشکیل می‌دهند.

در این تحقیق، به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل‌های گردش عمومی جو- اقیانوس در حوضه سد کرخه، از برونداد پیش‌بینی‌های همادی مدل‌های چندگانه آمریکای شمالی استفاده شده است. برونداد این مدل‌ها در دوره ۳۱ ساله (۲۰۱۵-۱۹۸۵) در افق‌های زمانی ۱ تا ۳ ماهه با ماه‌های هدف مختلف از درگاه مؤسسه بین‌المللی اقلیم و جامعه (IRI) با تفکیک مکانی ۱×۱ درجه به صورت میانگین اعضای هر مدل بارگیری شد (https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.Models/.NMME). جدول ۱ مشخصات برونداد مدل‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد. همچنین به‌منظور مقیاس‌کاهی برونداد این مدل‌ها به مقیاس ایستگاه‌ها و ارزیابی عملکرد آن‌ها در مقیاس ایستگاه‌های زمینی از ۱۴ ایستگاه سینوپتیک وابسته به سازمان هواشناسی و ۴۱ ایستگاه وابسته به وزارت نیرو موجود در حوضه آبریز سد کرخه استفاده شده است.

۲-۲- مقیاس‌کاهی برونداد مدل‌های همادی چندگانه آمریکای شمالی

به‌منظور مقایسه برونداد مدل‌های پیش‌بینی همادی آمریکای شمالی با داده‌های مشاهداتی ایستگاهی، بایستی ابتدا مقیاس‌کاهی مکانی[۲۲] انجام شود.

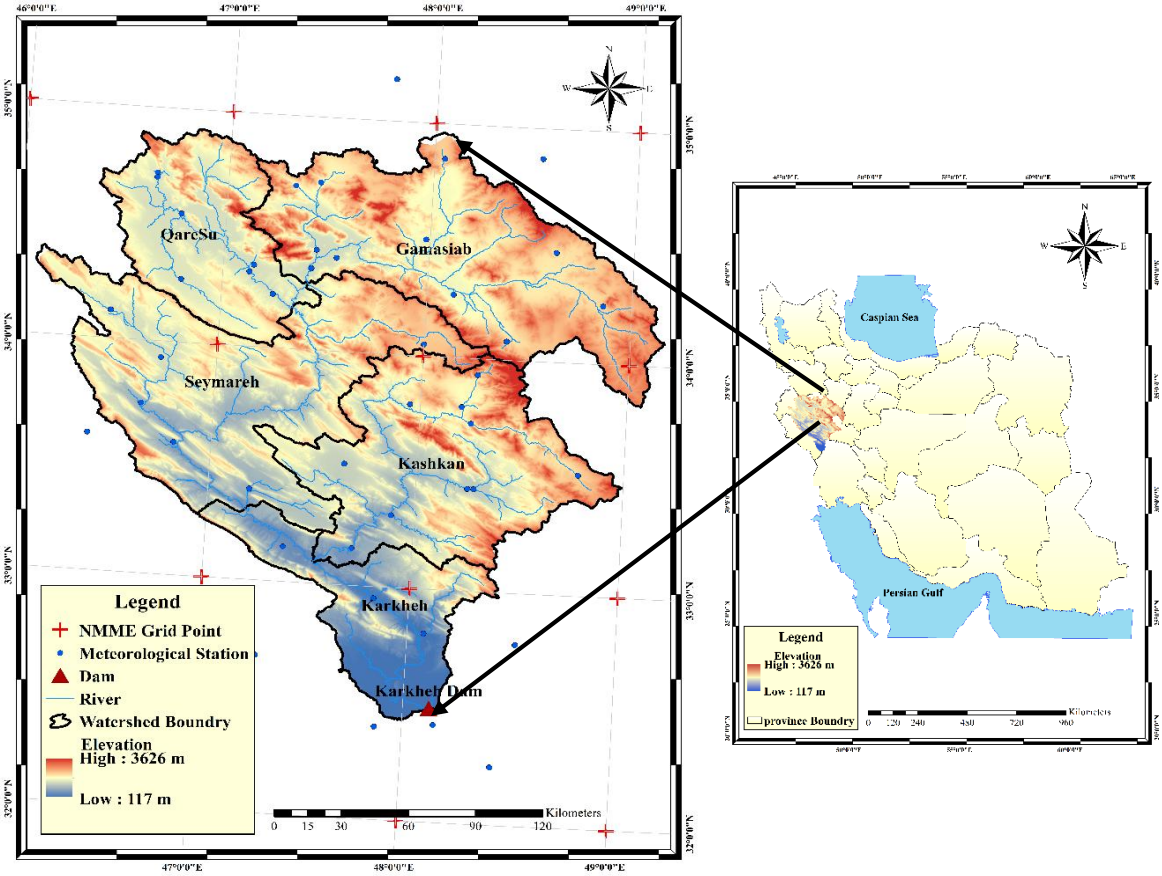

Fig. 1- The geographical location of the case study

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

Table 1- Summary of the characteristics of the North American Multi Model Ensemble (NMME) project (Kirtman et al., 2014)

جدول ۱- خلاصه‌ای از ویژگی‌های پروژه همادی مدل‌های چندگانه آمریکای شمالی (Kirtman et al., 2014)

Model name	Available period	Ensemble size	Lead times (months)	Reference
CMC1-CanCM3	1981- present	10	0.5–11.5	Merryfeld et al. (2013)
CMC2-CanCM4	1981- present	10	0.5–11.5	Merryfeld et al. (2013)
NCAR-CCSM4	1982- present	10	0.5–11.5	Lawrence et al. (2012)
NCEP-CFSv2	1982- present	24 (28)	0.5–9.5	Saha et al. (2014)
GFDL-CMp2.5 (FLORA06)	1982- present	12	0.5–11.5	Vecchi et al. (2014)
GFDL-CM2.1(aer04)	1982- present	10	0.5–11.5	Zhang et al. (2007); Delworth et al. 2006
GFDL-CMp2.5 (FLORB01)	1982- present	12	0.5–11.5	Vecchi et al. (2014)

در این پژوهش، از روش آماری رگرسیون خطی چندگانه (MLR) برای مقیاس‌کاهی برونداد مدل‌های آمریکای شمالی استفاده شده است. این روش می‌تواند بین ۲ متغیر برقرار شود که در این صورت یک رابطه رگرسیون تک متغیره خواهیم داشت و همچنین می‌تواند بین چندین متغیر برقرار شود که در این حالت مدل به‌دست‌آمده یک مدل رگرسیونی چندگانه خواهد بود (Maraun, 2016). یکی از متداول‌ترین مدل‌های آماری مورداستفاده برای مقیاس‌کاهی، روش رگرسیون خطی چندگانه (MLR) می‌باشد که در آن رابطه خطی بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل با معادله ریاضی نشان داده می‌شود. متغیر مستقل، پیش‌بینی‌کننده و متغیر وابسته، پیش‌بینی‌شونده در نظر گرفته می‌شود. اساس روش رگرسیون خطی چندگانه بر مبنای حداقل مربعات خطا است و مدل به‌گونه‌ای برازش داده می‌شود که مجموع مربعات اختلاف بین داده‌های پیش‌بینی‌شده و داده‌های مشاهداتی به کمترین حد خود برسد (Mishra et al., 2019). در این تحقیق، اطلاعات بارش و دمای ایستگاه‌ها به عنوان متغیر وابسته و اطلاعات ۴ پیکسل همسایگی هر ایستگاه به عنوان متغیرهای مستقل در نظرگرفته شدند. انتخاب این چهار پیکسل به گونه‌ای است که کمترین فاصله را بر اساس فاصله اقلیدسی با ایستگاه داشته باشند. به منظور ساختن مدل رگرسیونی بهینه اطلاعات شبکه‌ای برونداد مدل‌ها و مشاهداتی ایستگاهی در هر افق زمانی برای هر ایستگاه به ۵۰۰ نمونه مختلف در دو دسته آموزش (۷۰ درصد داده‌ها) و آزمایش (۳۰ درصد داده‌ها) تقسیم شدند. برای انتخاب بهترین مدل رگرسیونی از دو شاخص ضریب همبستگی پیرسون و ریشه میانگین مربعات خطا استفاده شده است؛ ازاین‌رو شاخص‌ها در هر دو دوره آموزش و آزمایش، به‌دست‌آمده و بهترین مدل به‌گونه‌ای انتخاب گردید که درمجموع دو دوره آموزش و آزمایش و از لحاظ هر دو شاخص مدنظر بهترین عملکرد را داشته باشند.

$$\text{Forecast (Downscaled)} = (w_1 \times \text{Grid1}) + (w_2 \times \text{Grid2}) + (w_3 \times \text{Grid3}) + (w_4 \times \text{Grid4}) \quad (۱)$$

در رابطه (۱)؛ متغیرهای Grid1، Grid2، Grid3 و Grid4 چهار نقطه از نقاط اطلاعات شبکه‌ای برونداد مدل‌های پیش‌بینی (مرکز پیکسل‌های اطراف هر ایستگاه) هستند؛ w_1، w_2، w_3 و w_4 به ترتیب ضرایب به‌دست‌آمده برای نقاط شبکه‌ای اطراف هر ایستگاه را نشان می‌دهند.

۲-۳- ارزیابی پیش‌بینی‌های مدل‌های همادی چندگانه آمریکای شمالی

۲-۳-۱- ارزیابی مدل‌های همادی آمریکای شمالی با استفاده از شاخص‌های پیوسته

به منظور ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی همادی آمریکای شمالی از دو طیف شاخص‌های ارزیابی پیوسته و احتمالاتی استفاده شده است. در این بررسی می‌بایست به دو سوال اساسی پاسخ داده شود: ۱) عملکرد مدل‌های پیش‌بینی همادی آمریکای شمالی به صورت منفرد بر مبنای شاخص‌های مدنظر به چه شکل بوده است؟ ۲) آیا استفاده از رویکرد ترکیب مدل‌های منفرد با یکدیگر منجر به بهبود نتایج به‌دست‌آمده خواهد شد یا خیر؟ در این تحقیق برای ارزیابی پیوسته مدل‌های پیش‌بینی پایگاه NMME از شاخصه‌های آماری ضریب همبستگی پیرسون (رابطه ۱) که نشان‌دهنده همخوانی و همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده است، ضریب نش- ساتکلیف (رابطه ۲) که نشان‌دهنده دقت قابل‌قبول پیش‌بینی‌ها است و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده (رابطه ۳) نسبت به میانگین داده‌های مشاهداتی استفاده شده است. بهترین و بدترین معیار ضریب همبستگی به ترتیب برابر ۱ و ۱- می‌باشد. همچنین بهترین و بدترین معیار ضریب نش- ساتکلیف به ترتیب ۱ و منفی بی‌نهایت می‌باشد و بهترین و بدترین معیار خطای نرمال‌شده به ترتیب صفر و مثبت بی‌نهایت است.

www.SID.ir

Archive of SID

$$\rho = \left(\frac{[\sum_{i=1}^{N}(P_i - \overline{P}_i)(O_i - \overline{O}_i)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(P_i - \overline{P}_i)^2 \times \sum_{i=1}^{N}(O_i - \overline{O}_i)^2}} \right) \quad (۲)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{k}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{k}(O_i - \overline{O}_i)^2} \quad (۳)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(P_i - O_i)^2}}{Mean_{Obs}} \quad (۴)$$

که در این روابط O_i مقادیر مشاهداتی، P_i مقادیر پیش‌بینی، $\overline{O}$ متوسط مقادیر مشاهداتی، $\overline{P}$ متوسط مقادیر پیش‌بینی و N تعداد مشاهدات می‌باشد.

پس از ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی به صورت منفرد، بر اساس نتایج مدل‌ها، مدل ترکیبی چندگانه (MME) حاصل از مـدل‌هـای منفرد (۷ مدلی) با استفاده از روش میانگین‌گیری وزنی ایجاد گردید. به‌منظور ترکیب مدل‌ها ابتدا می‌بایست یک شاخص مناسب برای رتبه‌بندی مدل‌ها انتخاب شود. شاخصی که برای این منظور در نظر گرفته شد، ترکیبی از دو شاخص ضریب همبستگی پیرسون و درصد خطای هر پیش‌بینی نسبت به میانگین داده‌های مشاهداتی است (رابطه ۵). با استفاده از این شاخص در هر ایستگاه، ابتدا مدل‌ها رتبه‌بندی شده و سپس متناسب با رتبه هر مدل ضریبی به آن اطلاق گردید؛ بدین صورت که بهترین مدل دارای بیشترین ضریب و بدترین مدل دارای کمترین ضریب می‌باشند.

$$\text{Ranked NMME Models} = \frac{\frac{[\sum_{i=1}^{N}(P_i - \overline{P}_i)(O_i - \overline{O}_i)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(P_i - \overline{P}_i)^2 \times \sum_{i=1}^{N}(O_i - \overline{O}_i)^2}}}{\frac{\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(P_i - O_i)^2}}{mean_O}} \quad (۵)$$

۲-۳-۲- ارزیابی احتمالاتی مدل‌های پیش‌بینی همادی آمریکای شمالی

برای سنجش مهارت مدل‌های پیش‌بینی بارش و دمای پایگاه NMME در تعیین درست طبقه‌بندی داده‌ها به‌صورت احتمالاتی، از منحنی اطمینان‌پذیری[۲۳] استفاده شده است. ارزیابی احتمالاتی پیش‌بینی‌های انجام‌شده می‌تواند عملکرد گروهی مـدل‌های پیش‌بینی در دسته‌های مختلف احتمالاتی را مورد بررسی قرار دهد (Wilks, 2011). منحنی اطمینان‌پذیری یک خلاصه گرافیکی از ویژگی‌های مهم آماری مانند قابلیت اطمینان، وضوح و عدم قطعیت است و اطلاعات مفیدی در مورد عملکرد یک سیستم پیش‌بینی ارائه می‌دهد (Weisheimer and Palmer, 2014). این منحنی نشان می‌دهد که چگونه پیش‌بینی یک رویداد با فراوانی مشاهدات تطبیق پیدا کرده است. به‌عنوان‌مثال، یک احتمال پیش‌بینی ۰/۸ کاملاً قابل اعتماد است اگر و فقط اگر زمانی که ۸۰ درصد فراوانی مشاهدات در احتمال پیش‌بینی ۰/۸ در یک دسته قرار بگیرند. در منحنی اطمینان‌پذیری خط مورب نمایانگر قابلیت اطمینان کامل است درحالی‌که اگر این منحنی به‌صورت افقی با شیب صفر باشد؛ نشان از عدم وضوح پیش‌بینی (No Resolution) داشته و مهارت کمتری نسبت به پیش‌بینی بر اساس میانگین دوره تاریخی دارد (Nikulin et al., 2018). همچنین به همراه منحنی اطمینان‌پذیری نمودار هیستوگرام احتمال پیش‌بینی (Sharpness) هم ارائه می‌شود که بیانگر فراوانی وقوع پیش‌بینی‌ها در دسته‌های احتمالاتی مختلف است. به‌منظور ارزیابی احتمالاتی مدل‌های پیش‌بینی همادی آمریکای شمالی، داده‌های مشاهداتی به سه دسته‌ی بالاتر از نرمال، نرمال و پایین‌تر از نرمال با نسبت مساوی ۳۳ درصد برای هر کدام از آن‌ها تقسیم شده است. سپس در هر کدام از این سه دسته ارزیابی‌های احتمالاتی صورت گرفته است. در این تحقیق از ۷ مدل پیش‌بینی بارش به‌صورت گروهی برای ارزیابی احتمالاتی استفاده شده است.

رابطه ۶، مقادیر احتمال پیش‌بینی در هر دسته و رابطه ۷ مقادیر فراوانی نسبی مشاهدات را در هر دسته برای طبقات مختلف احتمال پیش‌بینی را محاسبه می‌کند:

$$\text{Forecast Probability}_i = \frac{NP_i}{NP_T} \quad (۶)$$

$$\text{Observed Relative Frequency}_i = \frac{NO_i}{NP_i} \quad (۷)$$

در روابط ۶ و ۷؛ NP_i نشان‌دهنده تعداد پیش‌بینی‌ها در دسته مورد نظر در هر رویداد، NP_T نشان‌دهنده تعداد کل پیش‌بینی‌ها در هر رویداد و NO_i نشان‌دهنده تعداد مقادیر مشاهداتی در دسته احتمالاتی مورد نظر می‌باشند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ارزیابی پیش‌بینی بارش مدل‌های همادی آمریکای شمالی با شاخص‌های ارزیابی پیوسته

قابلیت پیش‌بینی بارش بر اساس برونداد هفت مدل منفرد از پروژه مدل‌های همادی آمریکای شمالی به همراه مدل ترکیبی ۷ مدلی (MME) در ۴ فصل مختلف (JFM، AMJ، JAS و OND) با افق‌های زمانی ۱ تا ۳ ماهه، در این بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد (شکل ۳).

www.SID.ir

Archive of SID

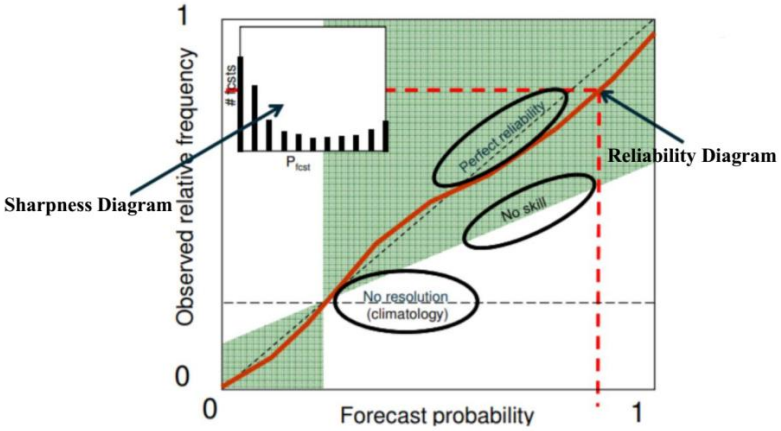

Fig. 2- Reliability and Sharpness Diagram

شکل ۲- منحنی اطمینان‌پذیری و هیستوگرام احتمال پیش‌بینی (Sharpness)

بر اساس شکل ۳، ضریب همبستگی و نش- ساتکلیف بین مقادیر بارش مشاهداتی و مقادیر بارش پیش‌بینی‌شده‌ی مدل‌های همادی آمریکای شمالی پس از مقیاس‌کاهی با استفاده از روش رگرسیون خطی چندگانه (MLR) نشان از دقت بالای پیش‌بینی بارش در افق‌های زمانی ۱ تا ۳ ماهه در فصل AMJ دارد. همچنین عملکرد مدل‌های پیش‌بینی بارش در دو فصل JFM و OND قابل‌قبول بوده است؛ در حالی که مدل‌های همادی در فصل JAS عملکرد مناسبی را از خود نشان نمی‌دهند. از طرفی بررسی مقادیر خطای نرمال‌شده (NRMSE)، دقت بالاتر مدل‌ها در دو فصل JFM و OND نسبت به فصل AMJ نشان می‌دهد که می‌تواند به دلیل نوع بارش در فصل AMJ که به صورت همرفتی است، باشد.

مقادیر NRMSE نیز همچون مقادیر ضریب همبستگی و نش- ساتکلیف عملکرد ضعیف مدل‌ها را در فصل JAS نشان می‌دهد (شکل ۳). در مطالعه‌ای که به ارزیابی دقت مدل‌های همادی آمریکای شمالی در کشور ایران پراخته شده است، بررسی پیش‌بینی بارش در دو فصل OND و JAS حاکی از عملکرد بهتر مدل‌ها در فصل OND می‌باشد (Shirvani and Landman., 2016). این عملکرد ضعیف در فصل JAS به علت ماه‌های بدون بارش زیاد در طی این فصل در حوضه سد کرخه می‌باشد؛ در حالی که مدل‌های همادی آمریکای شمالی در این فصل مقداری را برای بارش، هرچند مقدار کمی را ارائه می‌کند. در مطالعه‌ی دیگری که ارزیابی پیش‌بینی فصلی بارش مدل‌های همادی آمریکای شمالی بر روی ۵۱۸ ایستگاه هواشناسی در کشور چین با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین انجام شده است؛ پیش‌بینی بارش مدل‌های همادی آمریکای شمالی از خطای قابل قبول (۳۳-۲۱ درصد) برخوردار بوده است در حالی‌که مقادیر همبستگی پایین آن (۰/۳- ۰/۰۵) نشانگر عدم همخوانی بین بارش پیش‌بینی‌شده و بارش مشاهداتی می‌باشد (Xu et al., 2019). در مطالعه حاضر بر خلاف مطالعه Xu et al. (2019) مقادیر همبستگی بالا و مقادیر خطای بیشتری حاصل شده است.

با بررسی ۷ مدل پیش‌بینی منفرد می‌توان دریافت که این مدل‌ها در تمامی فصول و برای افق‌های زمانی مختلف به طور کلی بهترین یا بدترین عملکرد را نداشته‌اند و به همین دلیل، نمی‌توان به یک مدل خاص در فصول و افق‌های زمانی مختلف اعتماد کرد. از طرفی به دلیل فرآیندهای فیزیکی بارش در مدل‌های منفرد از فرآیندهای مختلف و متعددی تشکیل شده است؛ می‌بایست با ترکیب مدل‌های منفرد فرآیندهای مختلف بارشی را در نظر گرفت. لذا لزوم توسعه مدل‌های ترکیبی چندمدلی پیش‌بینی منفرد، حائز اهمیت خواهد بود. همچنین انتظار می‌رود که با ترکیب مدل‌های منفرد و درنظر گرفتن فرآیندهای فیزیکی مختلف، نتایج پیش‌بینی‌ها بهبود یابد. به عنوان مثال، مطالعات انجام‌شده در حوضه کرخه برای پیش‌بینی بارش و دما نشان داده است که ترکیب مدل‌ها منجر به بهبو نتایج پیش‌بینی مدل‌های منفرد شده است (Najafi et al., 2017). در این پژوهش با توجه به نتایج حاصل‌شده، مدل ترکیبی (MME) ۷ مدلی با استفاده روش میانگین‌گیری وزنی استفاده شده است. بر اساس شکل ۳، نتایج به دست آمده حاکی از بهبود کاملاً محسوس نتایج پیش‌بینی‌های بارش مدل‌های همادی آمریکای شمالی با استفاده از رویکرد ترکیبی (MME) در تمامی فصول و افق‌های زمانی می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

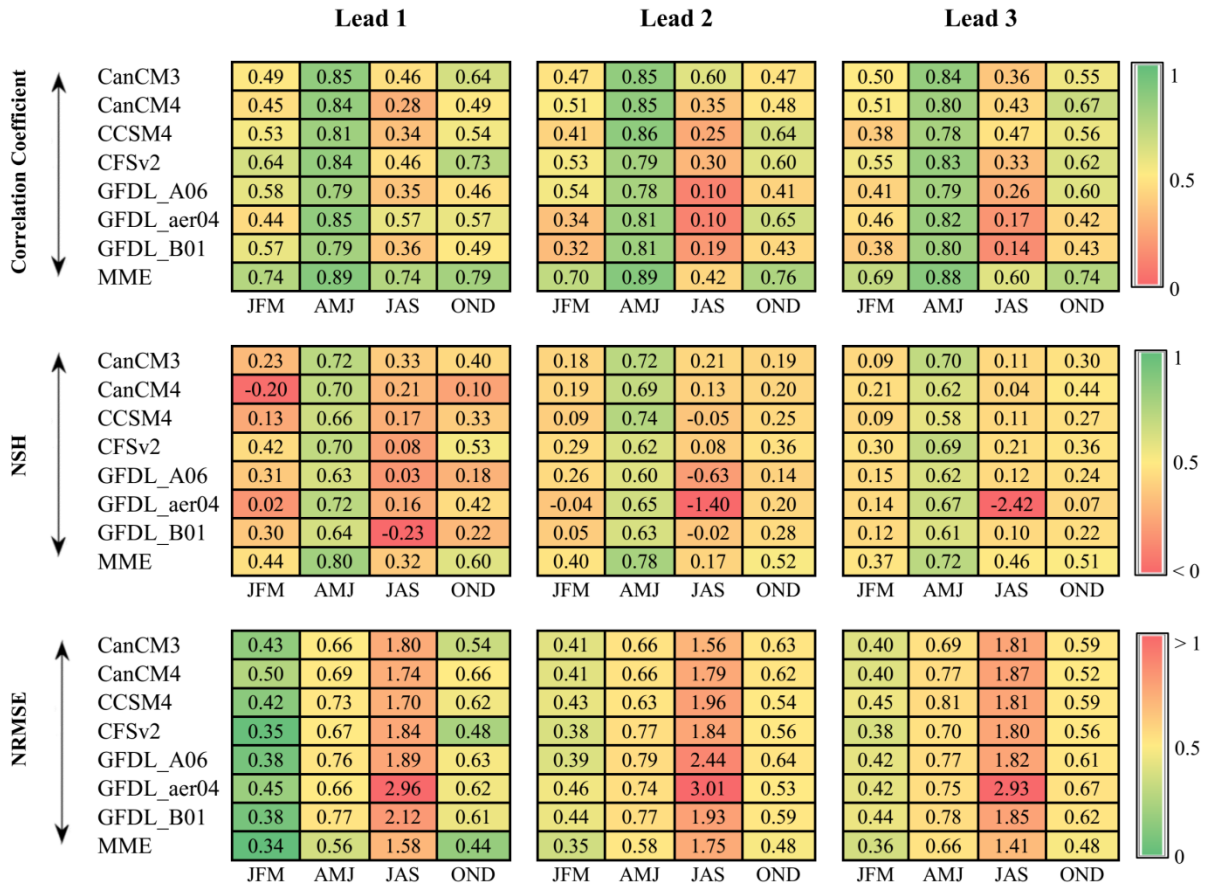

Fig. 3- Four seasons (JFM, AMJ, JAS and OND) Correlation coefficient, Nash- Sutcliffe and NRMSE for NMME precipitation forecast

شکل ۳- ضریب همبستگی، ضریب نش- ساتکلیف و میانگین مربعات خطای نرمال شده پیش‌بینی بارش مدل‌های همادی آمریکای شمالی در چهار فصل (JFM، AMJ، JAS و OND)

۳-۲- ارزیابی احتمالاتی پیش‌بینی بارش مدل‌های همادی آمریکای شمالی با استفاده از منحنی اطمینان‌پذیری

در این تحقیق، ارزیابی احتمالاتی مهارت مدل‌های همادی آمریکای شمالی با استفاده از منحنی اطمینان‌پذیری و نمودار هیستوگرام احتمال پیش‌بینی[۲۴] انجام شده است. به همین منظور مقادیر بارش بر اساس احتمال وقوع داده‌های مشاهداتی به سه دسته بالاتر از نرمال، نرمال و پایین‌تر از نرمال (احتمال وقوع ۳۳ درصد برای هر دسته)، تقسیم شده و ارزیابی احتمالاتی گروهی مدل‌های پیش‌بینی بارش برای هر کدام از این دسته‌ها به‌صورت جداگانه صورت پذیرفته است.

منحنی اطمینان‌پذیری فصل JFM در شکل ۴، نشان می‌دهد که به‌طورکلی قابلیت اطمینان مدل‌ها در افق زمانی ۱ ماهه در هر سه دسته بالاتر از نرمال، نرمال و پایین‌تر از نرمال در حد قابل قبولی است؛ درحالی‌که در دسته بالاتر از نرمال در دو سطح احتمالاتی ۰/۳ و ۰/۴ منحنی اطمینان‌پذیری از محدوده دارای قابلیت اطمینان خارج شده و نشان از عدم مهارت مدل‌ها در سطوح احتمالاتی یاد شده دارد. در افق‌های زمانی ۲ و ۳ ماهه منحنی اطمینان‌پذیری برای دسته نرمال بارش به صورت افقی می‌باشد که بیانگر آن است که پیش‌بینی‌های انجام شده مهارت کمتری را نسبت به پیش‌بینی بر اساس میانگین دوره تاریخی مشاهداتی دارند. درحالی‌که منحنی‌های اطمینان‌پذیری دو دسته بالاتر از نرمال و پایین‌تر از نرمال حاکی از عملکرد مناسب‌تری نسبت به دسته نرمال است. نمودار هیستوگرام احتمالاتی در شکل ۴، نشان‌دهنده پراکندگی پیش‌بینی‌های انجام شده در سطوح احتمالاتی مختلف است و ارزیابی تلفیقی آن با منحنی اطمینان‌پذیری و بررسی فروانی مقادیر مشاهداتی در سطوح مختلف احتمال پیش‌بینی نشان می‌دهد که به‌طورکلی افق زمانی ۱ ماهه از وضوح بالاتری نسبت به سایر افق‌های زمانی دارد و با افزایش افق زمانی افت محسوسی در

www.SID.ir

Archive of SID

مهارت مدل‌ها در پیش‌بینی بارش در دسته‌های مختلف احتمالاتی حاصل می‌گردد.

قابلیت اطمینان مدل‌های پیش‌بینی بارش در فصل AMJ نیز نشان از برتری عملکرد مدل‌ها در هر سه دسته بالاتر از نرمال، نرمال و پایین‌تر از نرمال در افق زمانی ۱ نسبت به سایر افق‌های زمانی دارد (شکل ۴). منحنی اطمینان‌پذیری پیش‌بینی‌ها در افق زمانی یک‌ماهه نشان می‌دهد که قابلیت اطمینان به گروه مدل‌ها در دسته نرمال بیشتر از دو دسته دیگر است. درحالی‌که در افق‌های زمانی ۲ و ۳ ماهه منحنی‌های اطمینان‌پذیری در هر سه دسته بالاتر از نرمال، نرمال و پایین‌تر از نرمال در سطوح احتمالات مختلف پیش‌بینی دارای نوسان بوده است و عملاً اطمینان‌پذیری معنی‌داری را نشان نمی‌دهند و بیانگر قابلیت اطمینان‌پذیری کم پیش‌بینی مدل‌ها در افق‌های بیشتر از ۲ ماه است که به شکلی به ماهیت توده‌های بارشی بارش‌ها در فصل AMJ نیز مرتبط می‌گردد. از طرفی، نمودار هیستوگرام احتمالاتی فصل AMJ حاکی از قرارگیری درصد زیادی از پیش‌بینی‌های انجام شده در فصل AMJ در دو سطح احتمالاتی صفر و یک است که با توجه به منحنی‌های اطمینان‌پذیری فقط در دو سطح احتمالاتی صفر و یک فروانی مقادیر بارش رخ داده مناسب بوده و با توجه به فراوانی کم پیش‌بینی‌ها در سایر سطوح منحنی اطمینان‌پذیری حالت نوسانی پیدا کرده است.

شکل ۵، منحنی‌های اطمینان‌پذیری و نمودار هیستوگرام احتمالاتی در فصول JAS و OND را نشان می‌دهد. نمودار هیستوگرام احتمالاتی پیش‌بینی فصل JAS حاکی از پراکندگی پیش‌بینی‌ها را در سطوح مختلف احتمال پیش‌بینی در دو دسته نرمال و بالاتر از نرمال و قرارگیری پیش‌بینی‌ها در سه دسته احتمال پیش‌بینی ابتدایی است.

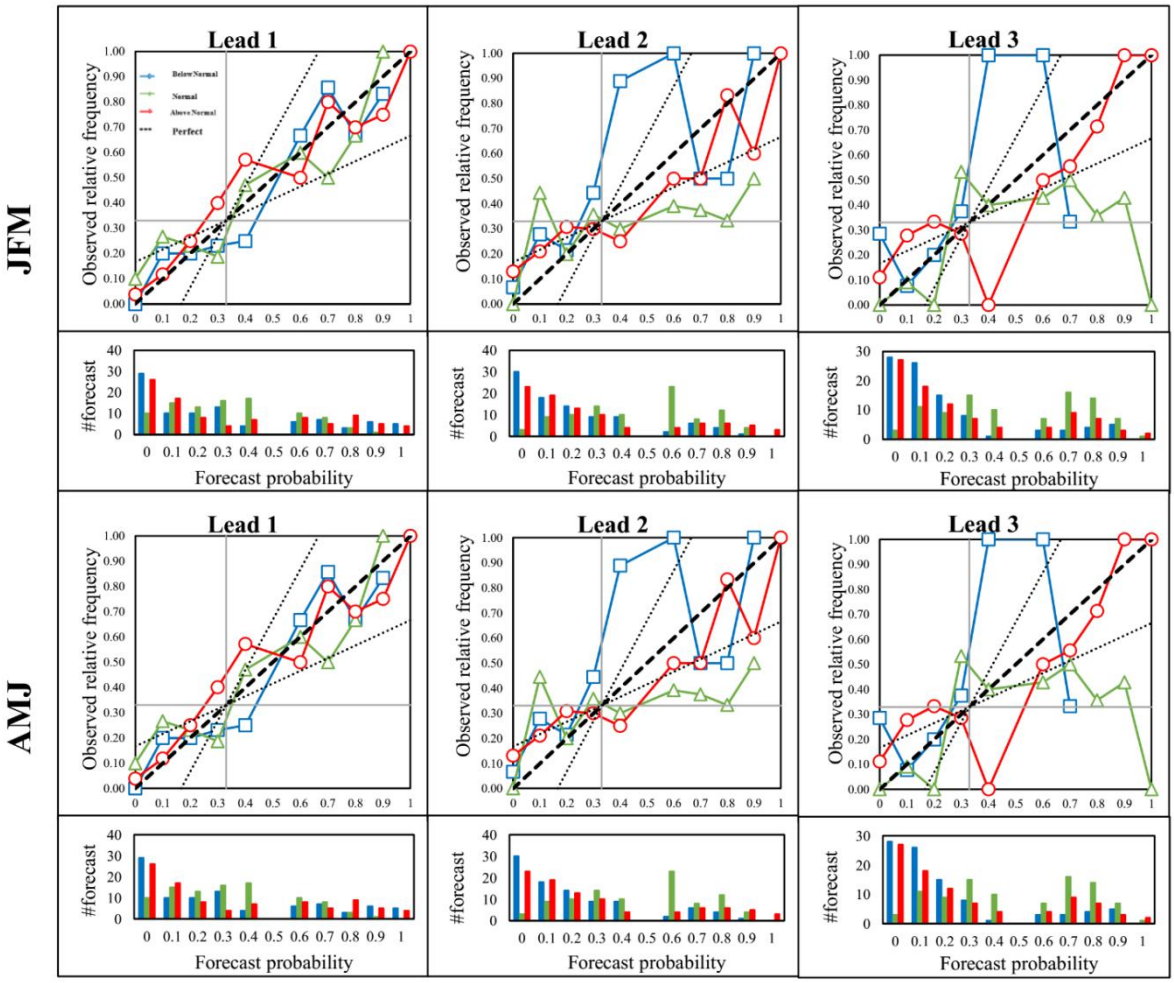

Fig. 4- Two season (JFM, AMJ) Reliability diagrams and sharpness for the seven models of NMME precipitation forecast

شکل ۴- منحنی اطمینان‌پذیری و نمودار هیستوگرام احتمالاتی پیش‌بینی بارش مدل‌های همادی آمریکای شمالی در دو فصل (AMJ و JFM)

www.SID.ir

Archive of SID

منحنی اطمینان‌پذیری مدل‌های همادی آمریکای شمالی در فصل JAS شیب تقریباً افقی را در سه دسته بالاتر از نرمال، نرمال و پایین‌تر از نرمال نشان می‌دهد که نشان از عملکرد بهتر پیش‌بینی با استفاده از میانگین دوره تاریخی دارد. همچنین بررسی تلفیقی منحنی اطمینان‌پذیری و هیستوگرام احتمالاتی برتری محسوسی را در افق‌های زمانی مختلف نشان نمی‌دهد و به‌طورکلی قابلیت اطمینان به مدل‌ها در پیش‌بینی بارش فصل تابستان پایین است.

همچنین منحنی‌های اطمینان‌پذیری و نمودار هیستوگرام احتمالاتی در فصل OND نشان می‌دهد که پیش‌بینی‌ها به‌طور یکنواخت در سطوح مختلف احتمال پیش‌بینی پراکنده شده است و با توجه به منحنی اطمینان‌پذیری در این دسته می‌توان دریافت که شیب کم منحنی نشان از عدم قابلیت اطمینان مناسب به مدل‌ها دارد (شکل ۵).

درحالی‌که در دو دسته بالاتر و پایین‌تر از نرمال فراوانی پیش‌بینی‌ها بیشتر در سطح احتمالاتی صفر و باقیمانده آن‌ها به‌طور یکنواخت در سایر سطوح احتمال پیش‌بینی پراکنده شده‌اند و منحنی اطمینان‌پذیری در این دو دسته نیز دارای شیب مثبت و قابلیت اطمینان نسبتاً مناسب به مدل‌ها است. قابلیت اطمینان به مدل‌ها در فصل پاییز در افق‌های زمانی مختلف تغییر چندانی نداشته است و به صورت تقریباً یکسان برای افق‌های زمانی می‌باشد. در مطالعه‌ای در شرق آفریقا که پیش‌بینی‌های فصلی بارش مدل‌های همادی آمریکای شمالی را از لحاظ احتمالاتی با استفاده از منحنی اطمینان‌پذیری مورد ارزیابی قرار داده است نیز مهارت بالاتر مدل‌ها در پیش‌بینی بارش در فصول پربارش و دسته‌های پایین‌تر و بالاتر از نرمال نسبت به دسته‌ی نرمال کاملاً مشهود است (Shukla et al., 2016).

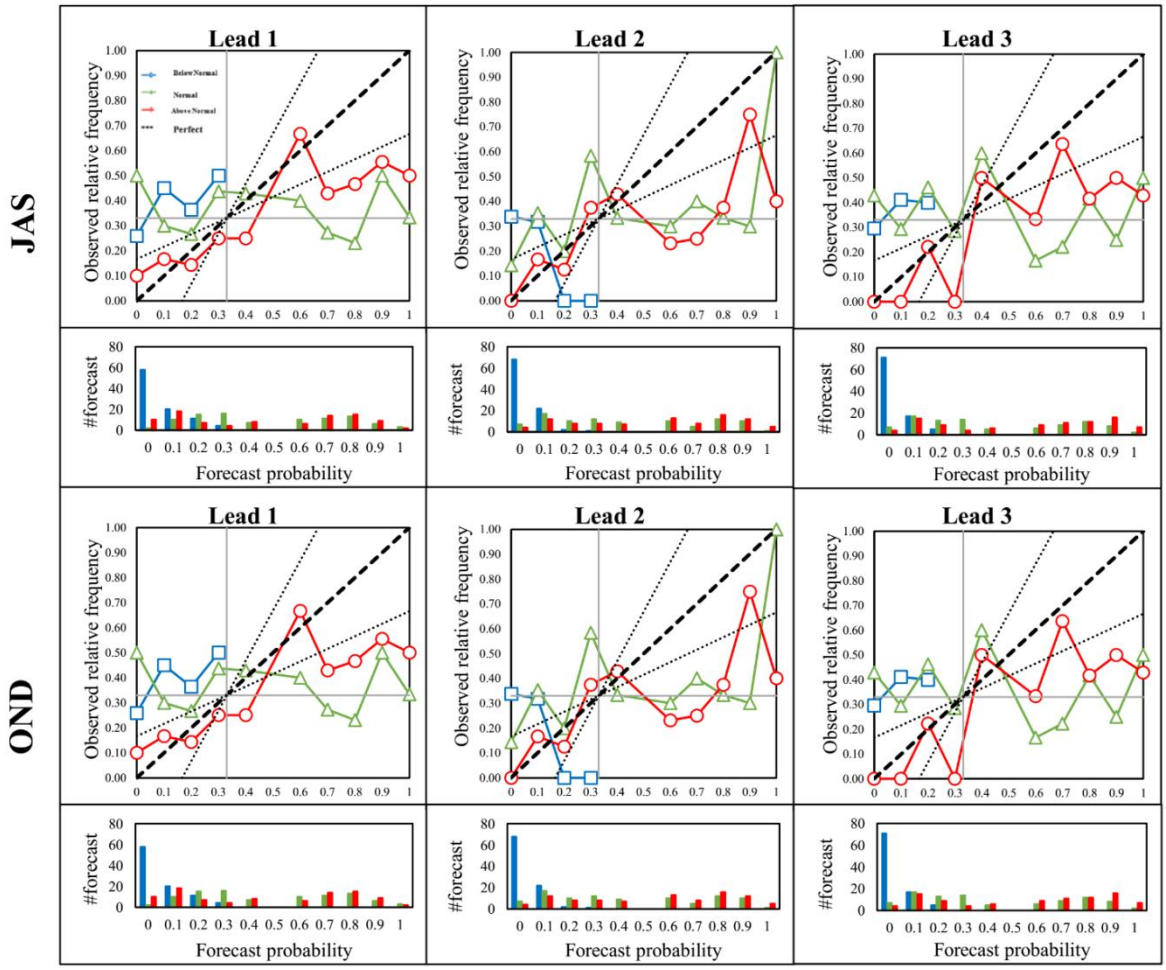

Fig. 5- Two season (JAS, OND) Reliability diagrams and sharpness for the seven models of NMME precipitation forecast

شکل ۵- منحنی اطمینان‌پذیری و نمودار هیستوگرام احتمالاتی پیش‌بینی بارش مدل‌های همادی آمریکای شمالی در دو فصل (JAS و OND)

www.SID.ir

Archive of SID

۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

پیش‌بینی‌های بلندمدت بارش از اهمیت خاصی در زمینه‌های منابع آبی برخوردار است. به همین منظور مدل‌های بسیاری در این زمینه توسعه داده شده‌اند. اما همواره مدل‌های پیش‌بینی‌کننده آب و هوا در مقیاس زمانی میان‌مدت و بلندمدت، دارای عدم قطعیت‌هایی می‌باشد که بخش عمده آن ناشی از شرایط اولیه و ورودی‌های مدل‌های پیش‌بینی‌کننده است. در این زمینه پیش‌بینی‌های انجام‌شده به‌صورت مدل‌های منفرد و مدل‌های چندگانه بوده است. رویکردی که اخیراً بیشتر قابل‌توجه بوده است، رویکرد پیش‌بینی ترکیبی (ensemble) می‌باشد. مدل گروهی چندگانه آمریکای شمالی (NMME) از جمله پایگاه‌های مطرح در زمینه پیش‌بینی ترکیبی می‌باشد که در تحقیقات بسیاری مورد استفاده قرار گرفته است. در این مطالعه نیز ارزیابی پیش‌بینی بلندمدت بارش مدل‌های همادی آمریکای شمالی در حوضه سد کرخه با استفاده از روش‌های ارزیابی پیوسته و احتمالاتی در افق‌های زمانی ۱ تا ۳ ماه مورد توجه قرار گرفت. در این پژوهش از روش رگرسیون خطی چندگانه برای پس‌پردازش و مقیاس‌کاهی برونداد مدل‌های همادی آمریکای شمالی استفاده شد و ارزیابی مدل‌های منفرد و همچنین ترکیب این مدل‌ها با هم انجام شده است. نتایج حاصل از این مطالعه به شرح زیر قابل جمع‌بندی می‌باشد:

– ارزیابی پیوسته مدل‌های منفرد پیش‌بینی در دوره ۳۱ ساله (۲۰۱۵–۱۹۸۵) نشان می‌دهد که مهارت مدل‌های پیش‌بینی بارش در فصول پر بارش به مراتب بیشتر از فصول کم بارش است. برای استفاده از پیش‌بینی‌های بارش در مدل‌های هیدرولوژیکی برای پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی، فصول پر بارش از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشند. لذا برونداد مدل‌های پیش‌بینی همادی آمریکای شمالی به علت پیش‌بینی قابل قبول در فصول پر بارش، می‌تواند به عنوان یک ورودی مناسب مدل‌های هیدرلوژیکی به منظور انجام پیش‌بینی هواشناسی به‌کار گرفته شود. همچنین نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که به‌کارگیری رویکرد ترکیب مدل‌ها با هم و توسعه مدل ترکیبی (MME)، منجر به برتری محسوسی در نتایج پیش‌بینی بارش می‌شود.

– ارزیابی احتمالاتی پیش‌بینی‌های بارش نشان داد که پیش‌بینی‌های انجام شده در افق زمانی ۱ ماهه از مهارت بالاتری برخوردار است. بررسی نتایج، حاکی از برتری پیش‌بینی‌های بارش انجام شده در فصل AMJ و دسته بالاتر از نرمال است. همچنین مهارت پیش‌بینی‌ها در دو فصل JFM و OND نیز تا حدودی قابل قبول می‌باشد.

– با توجه به حساسیت منحنی اطمینان‌پذیری به طول دوره آماری و تعداد مدل‌ها یا اعضای مدل‌های مورد استفاده تحلیل نتایج به دست آمده در برخی از دسته‌های احتمالاتی به دلیل عدم وجود داده کافی دشوار می‌باشد. لذا در این تحقیق در مورد دسته‌های احتمالات پیش‌بینی که مقادیر پیش‌بینی ندارند یا تعداد آن‌ها کم است نمی‌توان با قاطعیت اظهار نظر کرد. در همین راستا، بایستی بررسی جداگانه اعضای مدل‌های منفرد در ارزیابی احتمالاتی به منظور افزایش حجم داده‌ها در مطالعات آتی انجام شود. همچنین قابلیت پیش‌بینی هیدرولوژیکی با استفاده از برونداد مقیاس‌کاهی‌شده‌ی مدل‌های همادی آمریکای شمالی و توسعه سامانه‌های پیش‌بینی هیدرولوژیکی، می‌بایست مورد بررسی قرار گیرد. نتایج این تحقیق نشان داد که خروجی‌های اصلاح شده مدل‌های پیش‌بینی فصلی وضعیت اقلیم می‌تواند به عنوان ورودی به مدل‌های هیدرولوژیکی (جریان رودخانه و رطوبت خاک) در توسعه سامانه‌های پیش‌بینی فصلی شرایط هیدرولوژیکی در سطح حوضه‌های آبریز به‌کار گرفته شود.

۵- تقدیر و تشکر

تحقیق حاضر برگرفته از بخشی از نتایج طرح تحقیقی " تهیه مدل جامع شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه کرخه جهت ارزیابی اثرات تغییرات محیطی بر آبدهی در بالادست سد کرخه و توسعه سامانه پیش‌بینی بلندمدت جریان در آن" می‌باشد. بدین وسیله نویسندگان مقاله از سازمان آب و برق خوزستان به عنوان حامی مالی طرح قدردانی می‌نمایند.

پی‌نوشت‌ها

1- General Circulation Models
2- Lead Time
3- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)
4- United Kingdom (UK)
5- APEC Climate Center (APCC)
6- North American Multi Model Ensemble (NMME)
7- National Centers for Environmental Prediction (NCEP)
8- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
9- Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL)
10- International Research Institute for Climate and Society (IRI)
11- National Center for Atmospheric Research (NCAR)
12- National Aeronautics Space Administration (NASA)
13- Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies (COLA)
14- Canadian Meteorological Center (CMC)
15- Multi Model Ensemble (MME)
16- Climate Research Unit (CRU)
17- Global Precipitation Climatology Centre (GPCC)
18- Canonical Correlation Analysis (CCA)
19- Multiple Linear Regression (MLR)
20- Artificial Neural Network (ANN)

www.SID.ir

Archive of SID

21- K-Nearest Neighbor (KNN)
22- Spatial Downscaling
23- Reliability Diagram
24- Sharpness Diagram

۶- مراجع

Altunkaynak A and Nigussie TA (2017) Monthly water consumption prediction using season algorithm and wavelet transform–based models. Journal of Water Resources Planning and Management 143(6):04017011

Atmospheric Science and Meteorological Research Center (2018) Seasonal precipitation forecast. http://www.asmerc.ac.ir/page.asp?id=19 (In Persian)

Babaeian I, Karimian M, Ashouri H, Modirian R, Khazanedari L, Malusi Sh, Kuhi M, Mohamadian A, Fattahi E (2017) Providing monthly composite APHRODITE-observed precipitation data over Iran's southwest watersheds 30(3):964-984 (In Persian)

Barbero R, Abatzoglou JT, Hegewisch KC (2017) Evaluation of statistical downscaling of North American multimodel ensemble forecasts over the western United States. Weather and Forecasting 32(1):327-341

Fallah Ghalhary GA, Mousavi Baygi SM, Habibi Nokhandan M (2009) Using statistical model for seasonal rainfall forecasting based on synoptic patterns of atmospheric upper levels. Water and Soil Science 19(1):125-14

Fallon AL, Villholth KG, Conway D, Lankford B A, Ebrahim GY (2019) Agricultural groundwater management strategies and seasonal climate forecasting: Perceptions from Mogwadi (Dendron), Limpopo, South Africa. Journal of Water and Climate Change 10(1):142-157

Infanti JM and Kirtman BP (2016) Prediction and predictability of land and atmosphere initialized CCSM4 climate forecasts over North America. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 121(21):12-690

Khajehei S, Ahmadalipour A, and Moradkhani H (2018) An effective post-processing of the North American Multi-Model Ensemble (NMME) precipitation forecasts over the continental US. Climate Dynamics 51(1-2):457-472

Kim G, Ahn JB, Kryjov VN, Sohn SJ, Yun WT, Graham R, Ceron JP (2016) Global and regional skill of the seasonal predictions by WMO lead centre for long-range forecast multi-model ensemble. International Journal of Climatology 36(4):1657-1675

Kirtman BP and Coauthors (2014) The north American multimodel ensemble phase-1 seasonal-tointerannual prediction; phase-2 toward developing intraseasonal prediction. Bulletin of Amererican Meteorological Society 95:585-601

Ma F, Ye A, Duan Q (2017) Seasonal drought ensemble predictions based on multiple climate models in the upper Han River Basin, China. Climate Dynamics, 1-14

Maraun D (2016) Bias correcting climate change simulations-a critical review. Current Climate Change Reports 2(4):211-220

Min YM, Kryjov VN, Oh SM (2014) Assessment of APCC multimodel ensemble prediction in seasonal climate forecasting: Retrospective (1983–2003) and real-time forecasts (2008–2013). Journal of Geophysical Research: Atmospheres 119(21):132-150

Mishra N, Prodhomme C, Guemas V (2019) Multi-model skill assessment of seasonal temperature and precipitation forecasts over Europe. Climate Dynamics 52(7-8):4207-4225

Modaresi F, Araghinejad Sh, Ebrahimi K (2015) K Assessment of model fusion strategy for increasing the accuracy of autumn rainfall forecasting. Journal of Agricultural Meteorology 3(2):1-13

Mohammadi M, Karami H, Farzin S, Farokhi AR (2017) Prediction of monthly precipitation based on large-scale climate signals using intelligent models and multiple linear regression (Case study: Semnan Synoptic Station). Iranian Journal of Eco Hydrology 4(1):201-214 (In Persian)

Najafi H, Massah Bavani AR, Irannejad P, Robertson AW (2018) Developing real-time multi model ensemble and downscaling of seasonal precipitation forecast systems: Application of canonical correlation analysis. Journal of the Earth and Space Physics 44(1):245-264 (In Persian)

Najafi H, Massah Bavani AR, Wanders N, Wood E, Irannejad P, Robertson AW (2017) Developing multi-model Ensemble for precipitation and temperature seasonal forecast: Implications for Karkheh river basin. 2017 European Geosciences Union (EGU) General Assembly, 23-28 April 2017, Vienne, Austria

Nikulin G, Asharaf S, Magariño ME, Calmanti S, Cardoso RM, Bhend J, García SH (2018) Dynamical and statistical downscaling of a global seasonal hindcast in eastern Africa. Climate Services 9:72-85

www.SID.ir

Archive of SID

average and extreme precipitation and temperature over the continental USA. Climate Dynamics 1-16

Vakili sh (2018) Forecasting of monthly precipitation using M5 model tree and classic statistical methods (Case study: Synoptic oroumieh station). Iran-Water Resources Research 13(4):179-183 (In Persian)

Weisheimer A and Palmer TN (2014) On the reliability of seasonal climate forecasts. Journal of the Royal Society Interface 11(96):20131162

Wilks DS (2011) Statistical methods in the atmospheric sciences (Vol. 100). Academic Press

Xu L, Chen N, Zhang X, Chen Z, Hu C, and Wang C (2019) Improving the North American Multi-Model Ensemble (NMME) precipitation forecasts at local areas using wavelet and machine learning. Climate Dynamics 1-15

Shamir E (2017) The value and skill of seasonal forecasts for water resources management in the Upper Santa Cruz River basin, southern Arizona. Journal of Arid Environments 137:35-45

Shirvani A and Landman WA (2016) Seasonal precipitation forecast skill over Iran. International Journal of Climatology 36(4):1887-1900

Shukla Sh, Roberts J, Hoell A, Funk C, Robertson F, Kirtman BP (2016) Assessing North American Multimodel Ensemble (NMME) seasonal forecast skill to assist in the early warning of anomalous hydrometeorological events over East Africa. Climate Dynamics 1-17, doi: 10.1007/s00382-016-3296-z

Slater LJ, Villarini G, Bradley AA (2016) Evaluation of the skill of North-American Multi-Model Ensemble (NMME) global climate models in predicting

www.SID.ir