



Evaluation of CFSv2 Ensemble Precipitation Forecasts with Water Resources Management Application Perspective (Case Study: Dez Dam River Basin)

S.M. Mousavi^{1*}, A.M. Akhond-Ali², and A. Shahbazi³

Abstract

Recent advances in numerical weather and seasonal forecasts make the water resources manager and operators very interested to involve the forecasts in real operation. Generally in the studies, the skill assessment of the forecasts would be done by comparing the forecasts with station gauge or gridded data which might not reflect the real skill of the forecasts in basin scale. In this paper, the forecasts generated by the Noaa climate forecast system version 2 (CFSv2) were evaluated in the Dez dam basin. A combination of rain gauge data with satellite base precipitation estimates (Persiann-CDR) were used as the basis of evaluation. Result showed monthly precipitation forecasts with lead 1 has the best performance based on R and ROC_{auc} although the underestimation is higher than other leads. Evaluation of the forecasts in 3 different percentile including below normal, normal and above normal, showed well performance in percentiles above 0.6 and below 0.4, also best monthly forecast performance with lead1 was 0.88 for Nov, 0.66 for Dec and 0.8 for Mar respectively for percentile of category 1 to 3 based on ROC_{auc}. Winter precipitation evaluation based on the SPI with 5 category, suggested that 50 to 60 percent of the times, the exact category was truly predicted while with on category difference the accuracy improve up to 80 percent of the times.

Keywords: Persiann-CDR, CFSv2, Ensemble Forecast Verification, Seasonal Precipitation Forecast.

Received: June 9, 2019

Accepted: September 15, 2019

تحلیل پیش‌بینی گروهی بارش مدل CFSv2 با رویکرد مدیریت منابع آب (مطالعه موردی: حوضه آبریز سد دز)

سید مجید موسوی^{۱*}، علی محمد آخوندعلی^۲ و علی شهبازی^۳

چکیده

پیشرفت و بهبود پیش‌بینی‌های عددی، موجب توجه بیش از پیش برنامه‌ریزان و بهره‌برداران سیستم‌های منابع آب به این اطلاعات شده است. اغلب ارزیابی‌ها در زمینه پیش‌بینی‌های فصلی، بر مبنای داده‌های ایستگاهی زمینی و یا داده‌های شبکه‌بندی صورت می‌گیرد. در این تحقیق در راستای ارزیابی عملکرد پیش‌بینی مدل CFSv2، تحلیل‌ها در مقیاس حوضه آبریز انجام شده است و به منظور ایجاد یک سری زمانی با طول دوره مناسب جهت تحلیل‌ها، از ترکیب داده‌های مشاهداتی و پایگاه‌های داده بارش ماهواره مینا PERSIANN-CDR استفاده گردید. بر اساس معیار ضریب همبستگی و شاخص ROCscore، نتایج بیانگر این است که پیش‌دید ۱ در بین پیش‌دیدهای پیش‌بینی ماهانه بهترین عملکرد را از لحاظ پیش‌بینی کمی بارش دارد هرچند برآوردهای آن نسبت به بقیه پیش‌دیدها کم برآوردتر می‌باشد. در تفکیک پیش‌بینی‌ها بر اساس چندک‌ها با سه طبقه به صورت زیرنرمال، نرمال و فرانرمال، نمایه‌های ROC-AUC و ROCscore نشان‌دهنده عملکرد مطلوب پیش‌بینی‌ها در چندکهای بارشی زیر ۰/۴ و بالای ۰/۶ می‌باشد و در مقیاس ماهانه، ماه نوامبر با ۰/۸، دسامبر ۰/۶۶ و ماه مارس ۰/۸، بیشترین نمایه ROC-AUC را به ترتیب در طبقه ۱، ۲ و ۳ دارند. در بررسی طبقه بارش بر مبنای شاخص SPI نیز نتایج نشان می‌دهد که صحت پیش‌بینی صحیح طبقه خشکسالی ۵۰ تا ۶۰ درصد می‌باشد، در حالی که با یک طبقه اختلاف در پیش‌بینی دقت نتایج تا ۸۰ درصد افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: Persiann-CDR، CFSv2، ارزیابی پیش‌بینی‌های گروهی، پیش‌بینی فصلی بارش.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۳/۱۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۶/۲۴

1- Ph.D. Candidate of Water Resources Engineering, Department of Water Resources, College of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz, Ahwaz, Iran. Email: smmosavi18@gmail.com

2- Professor of Water Resources Engineering Department of Water Resources, College of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz, Ahwaz, Iran. Email: aliakh@scu.ac.ir

3- Ph.D. in Water Resources Engineering, Khuzestan Water and Power Organization, Ahwaz, Iran.

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲- استاد گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی منابع آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۳- دکتری مهندسی منابع آب، دفتر مدل‌های آب و محیط‌زیست، سازمان آب و برق خوزستان.

*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۳۹۹ امکانپذیر است.

مدل CFSv2 بیانگر فعل و انفعالات بین اقیانوس، خشکی و جو می‌باشد (Saha et al., 2014). این مدل در واقع یک مدل اقلیمی جهانی جفت شده برای استفاده در پیش‌بینی درون فصلی- درون سالی (ISI) در مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی NCEP است. NCEP در یک دوره چند ساله این مدل را توسعه داد و در مارس ۲۰۱۱ عملیاتی نمود. محصول بهنگام CFSv2 که شامل ۴ پیش‌بینی ۱۰ ماهه در ۶ روز مختلف است با استفاده از سیستم داده-گواری CFS به طور کلی ۲۴ عضو گروهی تولید می‌نماید. در مورد مدل CFSv2 بررسی‌ها و ارزیابی‌های مختلفی منتشر شده است، به عنوان نمونه Yuan et al. (2011) با بررسی اولیه مدل CFSv2 برای پیش‌بینی فصلی، افزایش مهارت پیش‌بینی بارش و دمای سطح خشکی را نسبت به مدل CFSv1 و ویژگی‌های نوید بخشی از این مدل را برای مطالعات کاربردی و پیش‌بینی هیدرولوژیکی نشان داده و عملکرد آن را با بهترین مدل‌های رایج پیش‌بینی فصلی اروپا مقایسه نمودند و نتیجه گرفتند که این مدل می‌تواند به عنوان مرجعی برای پیش‌بینی خشکسالی در مقیاس فصلی مورد استفاده قرار گیرد. Jones et al. (2012) مهارت مدل CFSv2 را در پیش‌بینی تاریخ شروع، تاریخ پایان، مدت و فراوانی مانسون آمریکای جنوبی مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که مدل CFSv2 مهارت مناسبی جهت پیش‌بینی تغییرات مانسون آمریکای جنوبی دارد. Barnston and Tippett (2013) در مطالعه‌ای به مقایسه عملکرد مدل‌های CFSv1 و CFSv2 در پیش‌بینی شاخص Nino3.4 SST پرداختند و با توجه به تغییرات ایجاد شده در مدل CFSv2 نسبت به نسخه CFSv1 نشان دادند که مهارت و قابلیت‌های این مدل در پیش‌بینی افزایش یافته است. Yuan et al. (2013) در تحقیق خود به بررسی ارزش مدل‌های اقلیمی CFSv1 و CFSv2 پرداختند و با بررسی داده‌های USGS^۴ در ایالات متحده نشان دادند که مدل‌های اقلیمی می‌توانند پیش‌بینی‌های فصلی بهتری نسبت به ESP^۵ از طریق ریزمقیاس‌نمایی مناسب تولید نمایند ولی بهبودهای قابل توجه در این زمینه بستگی به متغیرها، فصول و منطقه مورد بررسی دارد. Peng et al. (2013) در تحقیق خود عملکرد دو نسخه CFS (CFSv1, CFSv2) را مقایسه و با بررسی متغیرهای بارش و دما در طی دوره آماری ۱۵ ساله و بر مبنای زمان پیش‌دید ۱، مهارت پیش‌بینی را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که مهارت متوسط پیش‌بینی مدل CFSv2 به خصوص در مورد دما از مدل CFSv1 بیشتر است. Luo et al. (2013) در تحقیق خود به بررسی پیش‌بینی‌های بارش و دمای تابستانه (ژوئن جولای آگوست) در چین پرداخته و بر اساس شاخص‌های قطعی و احتمالاتی به این نتیجه رسیدند که مهارت کلی پیش‌بینی دمای تابستانه بالاست در حالی که این مهارت برای بارش

پیشرفت و بهبود پیش‌بینی‌های عددی هواشناسی خصوصاً پیش‌بینی‌های گروهی تولید شده توسط مراکز عملیاتی در سطح جهان از جمله ECMWF و NOAA، سبب شده تا این اطلاعات در سال‌های اخیر بیش از پیش مورد توجه برنامه‌ریزان و بهره‌برداران سیستم‌های منابع آب قرار گیرد. با توجه به نوع و نحوه تولید این پیش‌بینی‌ها خصوصاً پیش‌بینی‌های بارش در مقیاس ماهانه و بیشتر، دو چالش عمده از نظر بهره‌برداری در مقاصد عملیاتی وجود دارد که عبارتند از: الف) میزان دقت و عملکرد و ب) نحوه کاربرد. نکته حائز اهمیت این است که کیفیت و قابلیت کاربرد این پیش‌بینی‌ها در نقاط مختلف دنیا، عرض‌های جغرافیایی مختلف و حتی ماه‌ها و فصول متفاوت یکسان نمی‌باشد و پیش از هرگونه بهره‌برداری عملیاتی ارزیابی دقیقی از کیفیت پیش‌بینی‌های تولید شده در منطقه مورد نظر باید صورت گیرد. در مبحث دقت و میزان کارایی این نوع پیش‌بینی‌ها، عمده تحقیقات بر مبنای ارزیابی و مقایسه عملکرد پیش‌بینی‌ها با داده‌های ایستگاه‌های زمینی، پس از انجام فرایندهای ریزمقیاس‌نمایی مکانی و زمانی صورت می‌گیرد. این درحالی است که این نوع ارزیابی نمی‌تواند در برگیرنده و نشان‌دهنده عملکرد واقعی مدل در پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی در مقیاس حوضه‌های آبریز باشد به گونه‌ای که ممکن است یک پیش‌بینی در مقیاس ایستگاه و پس از انجام عملیات پس‌پردازش مربوطه دارای دقت مناسب و عملکرد خوب ارزیابی گردد در حالی که در مقیاس حوضه آبریز پیش‌بینی‌های تولید شده توسط همان مدل نتواند ناهنجاری‌های پارامترهای هواشناسی را به شکل صحیح پیش‌بینی نماید و بالعکس. سازمان‌های پیش‌بینی اقلیمی نظیر مرکز اروپایی پیش‌بینی جوی میان مدت ECMWF^۱ و مرکز ملی پیش‌بینی محیطی NOAA (NCEP)^۲ با ارائه نسخه‌های جدید سعی در بروز نمودن، بهبود و افزایش مهارت سیستم‌های پیش‌بینی فصلی خود دارند.

اولین نسخه مدل جفت شده سیستم پیش‌بینی اقلیمی CFSv1 بین سالهای ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۱ توسط مرکز پیش‌بینی اقلیمی (CPC)^۳ NOAA عملیاتی شد و مورد بهره‌برداری قرار گرفت. در آوریل ۲۰۱۱ نسخه دوم CFSv2^۴ اجرا و استفاده گردید. در هر دو نسخه مدل، مجموعه‌ای از پیش‌بینی‌ها ناشی از شرایط مختلف زمان شروع، وضعیت اولیه و غیره یک توزیع احتمالاتی پیش‌بینی را ایجاد می‌کنند. مهارت پیشگویانه این مدل‌ها در خصوص پارامترهایی نظیر دمای هوا، بارش و رطوبت خاک می‌تواند اطلاعات ارزشمندی به منظور مطالعات کاربردی نظیر پیش‌بینی سیل و خشکسالی، برنامه‌ریزی منابع آب و کشاورزی بدست دهد.

آبریز سد دز با رویکرد استفاده از این اطلاعات در مدیریت منابع آب صورت گرفته است و در این راستا از مقادیر بارش پیش‌بینی شده توسط مدل CFSv2 در دوره کليما تولوژی (۲۰۱۰-۱۹۸۲) استفاده گردید.

۲- روش انجام کار و مطالعه موردی

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

رودخانه دز از دو شاخه اصلی به نام سزار و بختیاری تشکیل می‌شود. حوضه آبریز رود دز (شکل ۱) از بالادست تا حوالی سد دز کوهستانی و دارای مسیری پر پیچ و خم و شیب تند است. رودخانه دز در حوالی روستای سزار وارد دریاچه سد دز می‌شود و بعد از خروج از سد به تدریج از منطقه کوهستانی خارج گردیده و به شهر دز فول وارد می‌شود. این رودخانه منبع مهمی در تأمین نیازهای شرب و صنعت و همچنین توسعه اقتصادی و امرار معاش کانون‌های جمعیتی منطقه از طریق تأمین نیازهای آبی کشاورزی، آبی‌پروری و تولید انرژی است و از این نظر دارای اهمیت زیاد به خصوص پس از احداث سد دز می‌باشد. در ضمن رودخانه مزبور پس از الحاق به رودخانه کارون در محل بند قیر، نقش عمده‌ای در کمیت و کیفیت رودخانه کارون و تأمین نیازهای حوضه آبریز کارون سفلی ایفا می‌نماید.

سد دز در استان خوزستان در حدود ۲۵ کیلومتری شمال دزفول بر روی رودخانه دز احداث شده است. مساحت حوضه آبریز دز در محل سد دز حدود ۱۷۳۶۵ کیلومتر مربع می‌باشد و ارتفاع حوضه بین ۳۵۰ تا ۴۰۰۰ متر بالای سطح دریا متفاوت می‌باشد.

خیلی کمتر می‌باشد. (Kumar et al., 2013) نیز مهارت پیش‌بینی میانگین بارش فصلی را در نواحی گرمسیری استوایی و ارتباط میان همبستگی بارش-دمای سطح دریا (SST-P) و مهارت پیش‌بینی فصلی CFSv2 مورد بررسی قرار دادند.

محققان در پژوهش‌های مختلفی عملکرد مدل CFSv2 در پیش‌بینی مانسون تابستانه هند را ارزیابی نمودند (Borah et al., 2015; Pattanaik and Kumar, 2015; Chaudhuri et al., 2016; Li et al., 2018). Tian et al. (2017) پتانسیل مدل اقلیمی جهانی در پیش‌بینی درون فصلی بارش و دمای هوای ۲ متری را با استفاده از ۲۸ سال پیش‌بینی گذشته نگر درون فصلی CFSv2 در ایالات متحده مورد بررسی قرار داده و نشان دادند مهارت پیش‌بینی متوسط بارش و دما بعلاوه فراوانی و طول مدت رویدادهای حدی خیلی به شاخص‌های پیش‌بینی، منطقه، فصول و زمان پیش‌دید وابسته است. Babaeian et al. (2018) با استفاده از داده‌های بارش مدل CFSv2 با تقسیم‌بندی حوضه‌ها به سلول‌های مختلف، پیش‌بینی ماهانه خشکسالی در حوضه‌های آبریز غرب کشور را مورد بررسی قرار داد و صحت پیش‌بینی‌ها در مناطق شمال غرب و جنوب حوضه را حدود ۷۰٪ و در مناطق مرکزی و شمال شرق حدود ۶۵٪ برآورد نمود.

بررسی منابع نشان می‌دهد به صورت کلی تحقیقات کمی بر روی تحلیل عملکرد پیش‌بینی‌های فصلی در مقیاس حوضه آبریز صورت گرفته است. در تحقیق حاضر، ارزیابی جامع پیش‌بینی‌های گروهی^۲ بارش و با استفاده از شاخص‌های متنوع آماری و احتمالاتی در حوضه

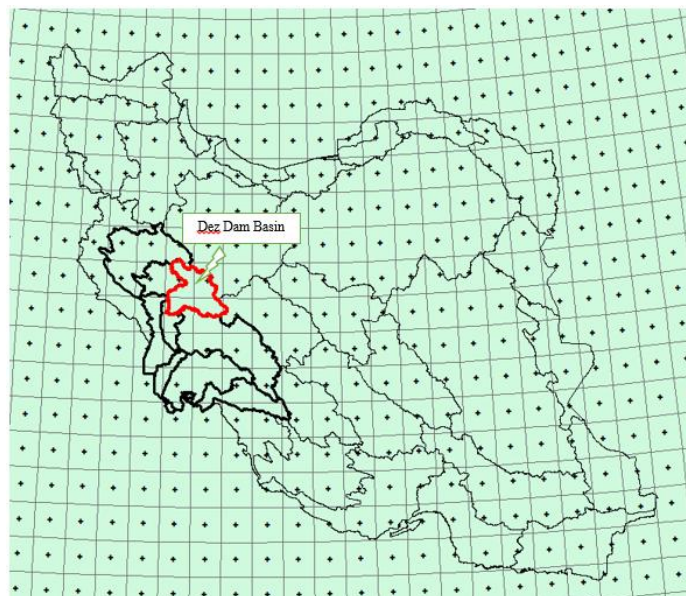


Fig. 1- Dez dam basin

شکل ۱- حوضه آبریز سد دز

نیروگاه این سد در حال حاضر دارای ظرفیت ۵۲۰ مگاوات می‌باشد و از طرح‌های در حال مطالعه در خصوص آن بهبود ظرفیت به ۷۲۰ مگاوات و طرح توسعه تا ظرفیت ۱۴۴۰ مگاوات می‌باشد.

۲-۲- منابع اطلاعاتی

الف- داده‌های گذشته نگر مدل CFSv2

پیش‌بینی‌های اقلیمی فصلی مربوط به یکی از مدل‌های گردش عمومی جو است که در واقع نسخه دوم سیستم پیش‌بینی اقلیمی CFSv2 می‌باشد و توسط مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی NCEP توسعه داده شده است. داده‌های مربوط به برون‌دادهای گذشته‌نگر مدل CFSv2 شامل ۲۴ عضو گروهی از سال ۱۹۸۲ الی ۲۰۱۰ و با دقت تقریبی ۰/۹ در ۰/۹ درجه (رزولوشن ۰,۹۳۷~ درجه) برای محدوده جغرافیایی ۱۵-۴۶ درجه شمالی و ۳۲-۷۲ درجه شرقی مشتمل بر حدود ۳۳*۴۳ سلول اخذ گردید (<http://iridl.ldeo.columbia.edu>). سپس اطلاعات مربوط به سلول‌هایی که محدوده مورد مطالعه را در بر می‌گیرند، مبنای بررسی این تحقیق قرار گرفت و بر اساس این محدوده، مقادیر بارش که از محصولات خروجی این مدل می‌باشد در مقیاس حوضه آبریز سد دز، با استفاده از برش این حوضه و جانمایی

سلول‌هایی که محدوده حوضه و اطراف آن را پوشش می‌دهد و درون‌یابی بین مرکز سلول‌ها محاسبه شد. پیش‌بینی‌های ماهانه به گونه‌ای است که در هر ماه، اولین روز بعد از ۷ام آن ماه به فاصله ۵ روز از آخرین روز لحاظ شده برای تولید پیش‌بینی در ماه قبل، برای تولید چهار عضو گروهی ماه‌های بعد مورد استفاده قرار می‌گیرند و به همین ترتیب تا روز ۷ام ماه بعد و به فاصله هر ۵ روز بقیه عضوهای گروهی تولید می‌شوند. برای مثال بر اساس جدول ۱ تاریخ‌های شروع برای تولید عضوهای گروهی ماه فوریه عبارتند از ۲۱، ۱۶، ۱۱، ۲۶ و ۳۱ام ژانویه و ۵ام فوریه.

همانگونه که در جدول ۱ آورده شده است در تاریخ‌های مشخص شده مدل اجرا و برای ۱ ماه تا ۱۰ ماه بعد پیش‌بینی‌ها تولید می‌گردد. برای هر یک از این ۱۰ ماه، ۲۴ پیش‌بینی تولید می‌گردد به این معنی که پیش‌بینی که ماه ژانویه تولید می‌گردد دارای ۲۴ پیش‌بینی برای فوریه، ۲۴ پیش‌بینی برای مارس و به همین ترتیب تا ۲۴ پیش‌بینی برای نوامبر است. این پیش‌بینی‌ها برای ماه اول به عنوان پیش‌دید ۱، ماه دوم پیش‌دید ۲ و برای ماه دهم به عنوان پیش‌دید ۱۰ در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین مقادیر بارش برای هر ماه هدف می‌تواند به صورت پیش‌دید ۱ تا پیش‌دید ۱۰، پیش‌بینی شود.

Table 1- CFSv2 retrospective calendar
جدول ۱- زمان تولید پیش‌بینی گذشته‌نگر CFSv2

Target Month	Forecast products						
Mid-January release	Dec						
	12	17	22	27	-	1	6
Mid-February release	Jan						
	11	16	21	26	31	5	-
Mid-March release	Feb						
	10	15	20	25	-	2	7
Mid-April release	Mar						
	12	17	22	27	-	1	6
Mid-May release	Apr						
	11	16	21	26	-	1	6
Mid-June release	May						
	11	16	21	26	31	5	-
Mid-July release	Jun						
	10	15	20	25	30	5	-
Mid-August release	Jul						
	10	15	20	25	30	4	-
Mid-September release	Aug						
	9	14	19	24	29	3	-
Mid-October release	Sep						
	8	13	18	23	28	3	-
Mid-November release	Oct						
	8	13	18	23	28	2	7
Mid-December release	Nov						
	12	17	22	27	-	2	7

ب- داده‌های مشاهداتی

توسعه داده شده است. در حال حاضر بیش از ۳۰ سال داده بارش برای مطالعات بلندمدت در این پایگاه وجود دارد که با تفکیک مکانی ۲۵/۲۵*۰/۲۵ درجه و در باند عرض جغرافیایی ۶۰ S-۶۰ N در دسترس است. این داده‌ها از الگوریتم PERSIANN و با استفاده از اطلاعات مادون قرمز GridSat-B1 و داده‌های پایگاه GPCP^۱ تولید می‌شوند (Ashouri et al., 2015).

در ابتدا بر اساس نقاط ایستگاهی زمینی و پراکنش آن‌ها در حوضه سد در یک دوره آماری که اطلاعات کاملی از این ایستگاه‌ها وجود دارد متوسط بارش ماهانه حوضه آبریز سد دز محاسبه گردید، سپس داده‌های PERSIANN-CDR با داده‌های مذکور در طول دوره آماری مشترک مطابقت داده شد. شکل ۲ پراکنش داده‌ها و میزان همبستگی آن‌ها را نشان می‌دهد.

بر مبنای رابطه استخراج شده، تصحیح اریبی بر روی داده‌های PERSIANN-CDR انجام شد و سپس داده‌های تصحیح شده به منظور ارزیابی برون‌داد بارش مدل اقلیمی CFSv2 در طول دوره آماری، مورد استفاده قرار گرفت.

در شکل ۳ تغییرات بارش مشاهداتی حوضه و محدوده مقدار آن به صورت حداقل، متوسط و حداکثر در طول دوره آماری ارائه شده است.

به منظور بررسی میزان ارتباط بین داده‌های پیش‌بینی و داده‌های مشاهداتی نیاز به اطلاعات بارش مشاهداتی حوضه در دوره گذشته‌نگر ۲۰۱۰-۱۹۸۲ می‌باشد. بدین منظور ایستگاه‌های سینوپتیک و ایستگاه‌های سنجش بارش در حوضه و محدوده اطراف آن مورد بررسی قرار گرفت که برخی از آن‌ها به دلیل ناقص بودن داده‌ها و یا طول آماری ناکافی حذف و ایستگاه‌های منتخب حوضه به شرح جدول ۲ در نظر گرفته شدند.

از سوی دیگر با توجه به ناهماهنگ بودن طول دوره آماری برخی از ایستگاه‌های مذکور نسبت به طول دوره آماری پیش‌بینی‌های بارش گذشته‌نگر مدل اقلیمی (۲۰۱۰-۱۹۸۲)، از داده‌های شبکه‌ای PERSIANN-CDR^۴ نیز استفاده گردید که با توجه به ماهیت شبکه‌ای بودن برون‌داد مدل CFSv2 می‌تواند تطابق مناسب‌تری نیز در مقایسه با ایستگاه‌های نقطه‌ای ایجاد نماید. به منظور اخذ داده‌های بارش ماهیانه این پایگاه به سایت <http://chrsdata.eng.uci.edu> مراجعه و پس از تهیه و معرفی Shapefile حوضه، اطلاعات بارش متوسط حوضه آبریز سد دز در طول دوره آماری از ژانویه ۱۹۸۳ الی دسامبر ۲۰۱۷ و با فرمت Netcdf دریافت و پس از پردازش لازم در تحلیل‌ها استفاده گردید. داده‌های PERSIANN-CDR توسط مرکز هیدرومتئورولوژی و سنجش از دور (CHRS)^۵ در دانشگاه کالیفرنیا

Table 2- Characteristics of synoptic stations and rain gauges in Dez dam basin

جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی در حوضه سد دز

Station_name	Station_type	Longitude	Latitude	Elevation
Malayer	Synoptic	48 51 E	34 15 N	1778
Chame Chit	Baransanji	48 58 E	33 33 N	1290
Dare Takht	Baransanji	49 22 E	33 22 N	1940
Borujerd	Synoptic	48 45 E	33 55 N	1629
Silakhur	Synoptic	48 48 E	33 47 N	1496
Borujerd Water.Co	Baransanji	48 48 E	33 46 N	1490
Dorud	synoptic	49 00 E	33 31 N	1522
Ab Barik	Baransanji	49 50 E	33 14 N	2470
Khomeyn	Synoptic	50 05 E	33 39 N	1835
Aligudarz	Synoptic	49 42 E	33 24 N	2022
Azna	Synoptic	49 25 E	33 27 N	1872
Kazem Abad	Baransanji	49 40 E	33 08 N	2000
Kuhrang	Synoptic	50 07 E	32 26 N	2285
Daran	Synoptic	50 22 E	32 58 N	2290
Kamandan	Baransanji	49 25 E	33 19 N	2080
Tireh- Dorud	Baransanji	49 04 E	33 28 N	1450
Vanaei	Baransanji	48 35 E	33 54 N	2000
Hamestan	Baransanji	49 54 E	32 56 N	2132
Zardfahre	Baransanji	49 48 E	33 00 N	2441
Sepiddasht	Baransanji	48 53 E	33 13 N	970
Dez Dam	Baransanji	48 27 E	32 33 N	525
Talehzang	Baransanji	48 46 E	32 49 N	440
Tang Panj Bakhtiyari	Baransanji	48 46 E	32 54 N	540
Keshvar-Sorkhab	Baransanji	48 37 E	32 08 N	770

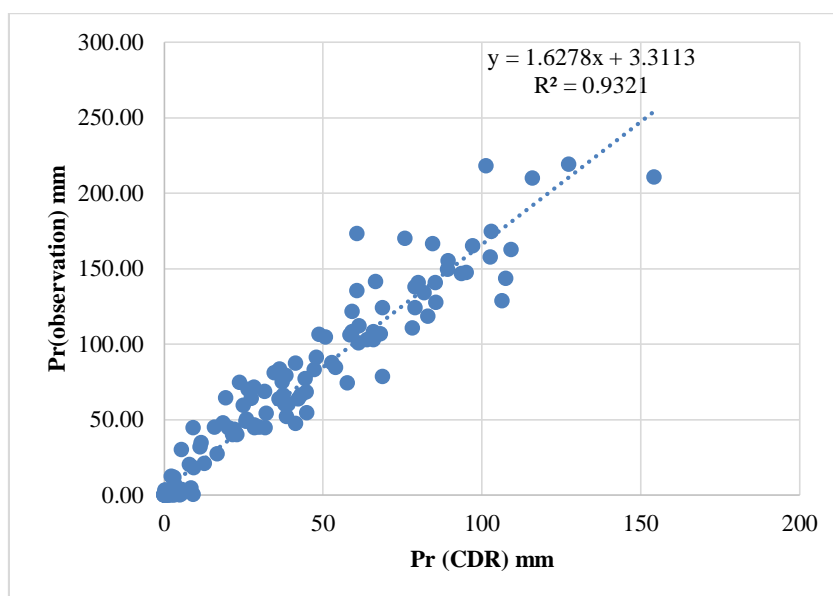


Fig. 2- Observational data and PERSIANN-CDR data

شکل ۲- داده‌های مشاهداتی و PERSIANN-CDR

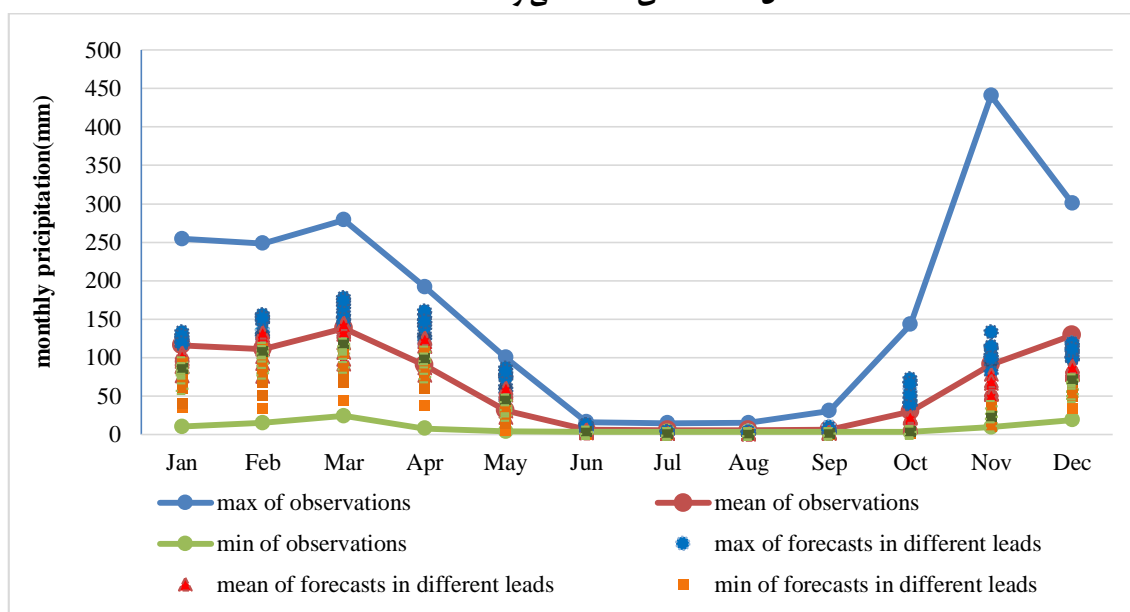


Fig. 3- Variation in observation precipitation and target month forecasts data in different lead times

شکل ۳- تغییرات داده‌های بارش مشاهداتی و مقادیر پیش‌بینی ماه هدف در پیش‌بینی‌های مختلف

دسامبر) رخ می‌دهد. در این پژوهش پیش‌بینی‌های بارش زمستانه به صورت ماهیانه و فصلی با جزئیات کامل‌تری ارزیابی شده است.

۳-۲- شاخص‌های ارزیابی

روش‌های مختلفی جهت بررسی مهارت پیش‌بینی وجود دارد که هر کدام از یک جنبه، کیفیت پیش‌بینی را تعیین می‌کند. در این تحقیق شاخص‌های ضریب همبستگی پیرسون، میانگین مطلق خطا MAE،

همچنین برای ایجاد یک دید مناسب‌تر از وضعیت عملکرد مدل CFSv2 در پیش‌بینی مقدار بارش در ماه‌های مختلف، پیش‌بینی‌های تولید شده در پیش‌بینی‌های مختلف در هر ماه به صورت ستونی نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود به عنوان نمونه بارش حداکثری اتفاق افتاده در ماه فوریه تفاوت معنی‌داری با حداکثر پیش‌بینی شده در تمامی پیش‌بینی‌ها دارد. همچنین مقادیر بارش در ماه‌های ژوئن تا سپتامبر در کمترین مقادیر قرار دارد و وقوع بارش به طور عمده در فصل زمستان (ژانویه الی مارس) و پاییز (اکتبر الی

$$\text{ROCscore} = \frac{AUC - AUC_{ref}}{1.0 - AUC_{ref}} = \frac{AUC - 0.5}{1.0 - 0.5} \quad (4)$$

$$= 2 \times AUC - 1$$

۳- نتایج و تحلیل

بر مبنای داده‌های بارش مشاهداتی و برون‌داد بارش مدل CFSv2 در حوضه آبریز سد دز و برای ماه‌های مختلف سال، مقادیر شاخص‌های ارزیابی استخراج گردید که به عنوان نمونه در جدول ۳ خلاصه نتایج مربوط به این شاخص‌ها در دوره (۲۰۱۰-۱۹۸۲) برای زمان پیش‌دید یک نشان داده شده است و در ادامه متن برای فصل زمستان شامل ژانویه، فوریه و مارس ارزیابی با جزئیات کامل‌تر و برای تمامی پیش‌دیدها ارائه می‌شود. بررسی این شاخص‌ها با استفاده از نرم‌افزار EVS که توسط مرکز ملی هواشناسی آمریکا برای ارزیابی پیش‌بینی‌های گروهی متغیرهای عددی شامل دما، بارش و جریان طراحی و توسعه داده شده است انجام گردید. در این نرم‌افزار شاخص‌های مختلف ارزیابی آماری در مورد میانگین عضوهای پیش‌بینی و همچنین ارزیابی پیش‌بینی‌های احتمالاتی قابل انجام است (Brown et al., 2010). همانگونه که در جدول مشاهده می‌شود برای تمام ماه‌های سال و در پیش‌دید ۱ بر مبنای شاخص RME با کم برآورد بودن پیش‌بینی مواجه هستیم و همچنین نسبت واریانس که معادل واریانس پیش‌بینی به واریانس مشاهدات می‌باشد بیانگر این است که مدل پیش‌بینی به طور کامل قادر به پوشش دامنه بالا و پایین مشاهدات نیست. در مورد نمایه ROC با تعریف سه طبقه از داده‌ها به صورت احتمال تجمعی تجربی کمتر از ۰/۴ (طبقه ۱)، احتمال بین ۰/۴ و ۰/۶ (طبقه ۲) و احتمال تجمعی بالاتر از ۰/۶ (طبقه ۳)، تحلیل انجام و مقادیر این شاخص مطابق جدول ۴ بدست آمد. بر اساس جدول مذکور کیفیت پیش‌بینی‌ها بر اساس نمایه ROC-AUC در شرایط (pr < 0.4) و (pr > 0.6) قابل قبول است و در مقیاس ماهانه، ماه نوامبر برای طبقه ۱ (زیر نرمال)، ماه دسامبر برای طبقه ۲ (نزدیک نرمال) و ماه مارس نیز برای طبقه ۳ (بالاتر از نرمال)، بیشترین نمایه ROC-AUC را دارند.

شکل ۴ تغییرات معیارهای ارزیابی را برای متوسط عضوهای گروهی^{۱۲} ماه هدف ژانویه در پیش‌دیدهای مختلف نشان می‌دهد. در این شکل محور افقی بیانگر پیش‌دید ۱ ماه تا ۱۰ ماه می‌باشد و به عنوان مثال ماه ژانویه در شرایطی که ۱ ماه تا ۱۰ ماه قبل پیش‌بینی شود در مقایسه با داده‌های مشاهداتی، ضرایب همبستگی متفاوتی ایجاد می‌نماید به نحوی که بیشترین ضریب همبستگی در پیش‌دید ۱ می‌باشد و در بقیه پیش‌دیدها ضریب همبستگی کمتر از ۰/۳۵ می‌باشد.

ریشه متوسط مربع خطا RMSE، میانگین خطای نسبی (اریبی نسبی) RME، نمایه ROC^{۱۱} و ROCscore به عنوان ابزاری برای بررسی کیفیت پیش‌بینی سیستم استفاده گردیدند. از ضریب همبستگی پیرسون به عنوان ابزار نشان‌دهنده درجه خطی بودن وابستگی پیش‌بینی و مشاهدات مربوطه استفاده شد. اریبی نسبی، میانگین اختلاف پیش‌بینی‌ها و مشاهدات متناظر تقسیم بر میانگین مشاهدات است و ممکن است مثبت، منفی و صفر باشد که مثبت بودن آن نشانه بیش برآورد بودن و منفی بودن آن بیانگر کم برآورد بودن است. پیش‌بینی را ناریب گویند اگر اریبی نسبی صفر باشد. RMSE جذر میانگین مربع اختلاف بین پیش‌بینی و مشاهده متناظر آن است. از آنجایی که خطاها قبل از میانگین‌گیری به توان دو می‌رسند RMSE وزن نسبتاً بالایی به خطاهای بزرگ می‌دهد. شاخص دیگری که به منظور تعیین دقت پیش‌بینی محاسبه گردید شاخص میانگین قدرمطلق خطا (MAE) است که در واقع میانگین خطای مطلق بین متوسط پیش‌بینی‌های گذشته‌نگر بارش و مقادیر مشاهداتی است و در پیش‌دیدهای مختلف بررسی شد. نمایه ROC توانایی سیستم پیش‌بینی، در پیش‌بینی صحیح وقوع یک رخداد نشان می‌دهد (Brown, 2013) و بیانگر سطح استاندارد زیر منحنی ایجاد شده بر مبنای میزان هشدارهای صحیح (Hit rate) و هشدارهای غلط (False alarm rate) است به نحوی که مساحت معادل ۱ نشان‌دهنده پیش‌بینی عالی است و مساحت ۰/۵ که مساحت زیر منحنی حاصل از ترسیم قطر است بیانگر این می‌باشد که پیش‌بینی با مقدار نرمال دوره آماری برابر است و مقدار صفر نیز ناتوانی مدل در پیش‌بینی را نشان می‌دهد. ROCscore بر مبنای مساحت زیر منحنی ROC (AUC) است که نسبت به یک سطح مرجع نرمال می‌شود (Brown, 2011). از آنجایی که سطح زیر خط قطری در نمودار ROC بیانگر وضعیت کلی‌ماتولوژی است و معادل ۰/۵ است با در نظر گرفتن آن به عنوان سطح مرجع، ROCscore به صورت رابطه (۴) استخراج می‌شود و مقادیر -۱ تا +۱ را شامل می‌شود و مقدار -۱ ناتوانی مدل در پیش‌بینی و مقدار +۱ پیش‌بینی عالی و صفر شرایط نرمال دوره آماری را نشان می‌دهد. در این روابط f_i و f_i^{obs} به ترتیب آمین مقدار مشاهداتی و پیش‌بینی هستند.

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f_i^{obs} - f_i| \quad (1)$$

$$\text{RMSE} = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i^{obs} - f_i)^2 \right]^{0.5} \quad (2)$$

$$\text{RME} = \frac{\sum_{i=1}^n (f_i - f_i^{obs})}{\sum_{i=1}^n f_i^{obs}} \quad (3)$$

Table 3- Verification results of CFSv2 precipitation in the Dez dam basin (Lead time 1)

جدول ۳- خلاصه نتایج ارزیابی برونداد بارش مدل CFSv2 در حوضه سد دز (زمان پیش‌دید ۱)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Mean obs. (mm)	116.0	111.2	137.9	89.9	31.1	6.4	5.7	5.4	6.3	29.4	90.4	129.2
Mean of Lead 1 forecast data (mm)	75.6	74.9	96.4	75.7	21.6	1.9	1.3	1.5	3.5	19.5	52.5	78.4
Variance Ratio	0.16	0.28	0.26	0.15	0.23	0.10	0.05	0.08	0.11	0.17	0.05	0.07
corrolation	0.59	0.46	0.62	0.52	0.55	0.53	0.01	0.48	0.08	0.57	0.74	0.44
MAE (mm)	53.2	46.0	53.7	39.3	15.4	4.4	4.3	3.9	3.3	18.7	44.1	66.7
RMSE (mm)	62.7	57.8	66.9	46.6	22.9	5.4	5.2	4.6	6.3	28.7	79.6	87.1
RME	-0.35	-0.33	-0.30	-0.16	-0.30	-0.70	-0.77	-0.72	-0.45	-0.34	-0.42	-0.39

Table 4- ROC results for Lead time 1

جدول ۴- خلاصه نتایج نمایه ROC در زمان پیش‌دید ۱

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
ROC(AUC)- pr<0.4	0.72	0.77	0.84	0.83	0.86	0.81	0.61	0.62	0.37	0.73	0.88	0.75
ROCscore- pr<0.4	0.45	0.55	0.68	0.65	0.73	0.63	0.21	0.25	-0.25	0.47	0.76	0.49
ROC(AUC)- 0.4<pr<0.6	0.54	0.59	0.40	0.22	0.54	0.21	0.54	0.47	0.37	0.56	0.41	0.66
ROCscore- 0.4<pr<0.6	0.07	0.18	-0.19	-0.55	0.07	-0.56	0.09	-0.04	-0.25	0.11	-0.18	0.33
ROC(AUC)- pr>0.6	0.73	0.72	0.80	0.63	0.78	0.69	0.62	0.65	0.32	0.79	0.76	0.76
ROCscore- pr>0.6	0.45	0.45	0.60	0.26	0.56	0.37	0.24	0.31	-0.35	0.60	0.52	0.52

در این تحقیق به منظور بررسی تغییرات میزان بارش در کل فصل زمستان در حوضه آبریز سد دز، تحلیل پیش‌بینی مجموع بارش زمستانه نیز انجام گردید. پیش‌بینی این فصل در پیش‌دیدهای ۱ تا ۸ امکان پذیر می‌باشد و تغییرات ضریب همبستگی نشان می‌دهد که در پیش‌دید ۱ حدکثر ضریب همبستگی بین بارش مشاهده‌ای و پیش‌بینی وجود دارد و همچنین با افزایش پیش‌دید آریبی نسبی از مقادیر منفی به مثبت افزایش می‌یابد (شکل ۹). در جدول ۵ نیز نتایج در فصول مختلف و در پیش‌دید ۱ آورده شده است.

در بررسی فصلی نیز مشاهده می‌شود بهترین نتیجه از منظر نمایه ROC و ROCscore در پیش‌دید ۱ بدست می‌آید و با افزایش پیش‌دید مهارت نسبی پیش‌بینی کمتر می‌شود.

در بررسی عضوهای گروهی به صورت منفک نیز در بیش از ۵۰ درصد عضوهای گروهی بهترین ضریب همبستگی در پیش‌دید ۱ مشاهده می‌شود. تغییرات RME در پیش‌دیدهای مختلف، کم برآورد بودن پیش‌بینی را در تمام پیش‌دیدها نشان می‌دهد با توجه به این نکته که با افزایش زمان پیش‌دید این اختلاف برآورد کمتر می‌شود. تغییرات MAE و RMSE نیز در طول زمان پیش‌دید تقریباً یکنواخت و در بازه کمی نوسان کاهشی دارد که می‌تواند به دلیل کاهش مقادیر پیش‌بینی‌های حدی با خطاهای بزرگ باشد. به طور مشابه این تغییرات در شکل ۵ و شکل ۶ برای ماه‌های هدف فوریه و مارس ارائه شده است. روند تغییرات در این ماه‌ها نیز مشابه ماه ژانویه است و ضریب همبستگی نیز در پیش‌دید ۱ بیشترین مقدار را دارد و پس از آن روند کاهشی دارد.

Table 5- Seasonal verification results of CFSv2 precipitation in the Dez dam basin (Lead time 1)

جدول ۵- خلاصه نتایج ارزیابی فصلی برونداد بارش مدل CFSv2 در حوضه سد دز (زمان پیش‌دید ۱)

	JFM	AMJ	OND
Mean obs. (mm)	365.2	128.9	249
Mean of Lead 1 forecast data (mm)	267.6	110.8	160
Variance Ratio	0.08	0.12	0.07
corrolation	0.57	0.58	0.47
MAE (mm)	111	50	111
RMSE (mm)	138	60	140
RME	-0.27	-0.14	-0.36

همانگونه که اشاره شد جهت بررسی کیفیت پیش‌بینی از نمایه ROC و ROCscore نیز استفاده گردید که نتایج آن برای نمونه در ماه ژانویه مطابق شکل ۷ نشان داده شده است و بیانگر این است که در ماه ژانویه توانایی پیش‌بینی ماهانه بارش مدل در شرایط طبقه ۱ و طبقه ۳ به ویژه در پیش‌دید ۱ قابل قبول می‌باشد. در شکل ۸ منحنی‌های ROC مربوط به پیش‌دید ۱ ماه فوریه و مارس برای سه حالت ترسیم شده و نشان‌دهنده کیفیت مناسب‌تر پیش‌بینی در حالت فرارمال و زیرنرمال است. نمایه ROCscore نیز نشان می‌دهد به طور کلی با افزایش زمان پیش‌دید مهارت پیش‌بینی کاهش می‌یابد.

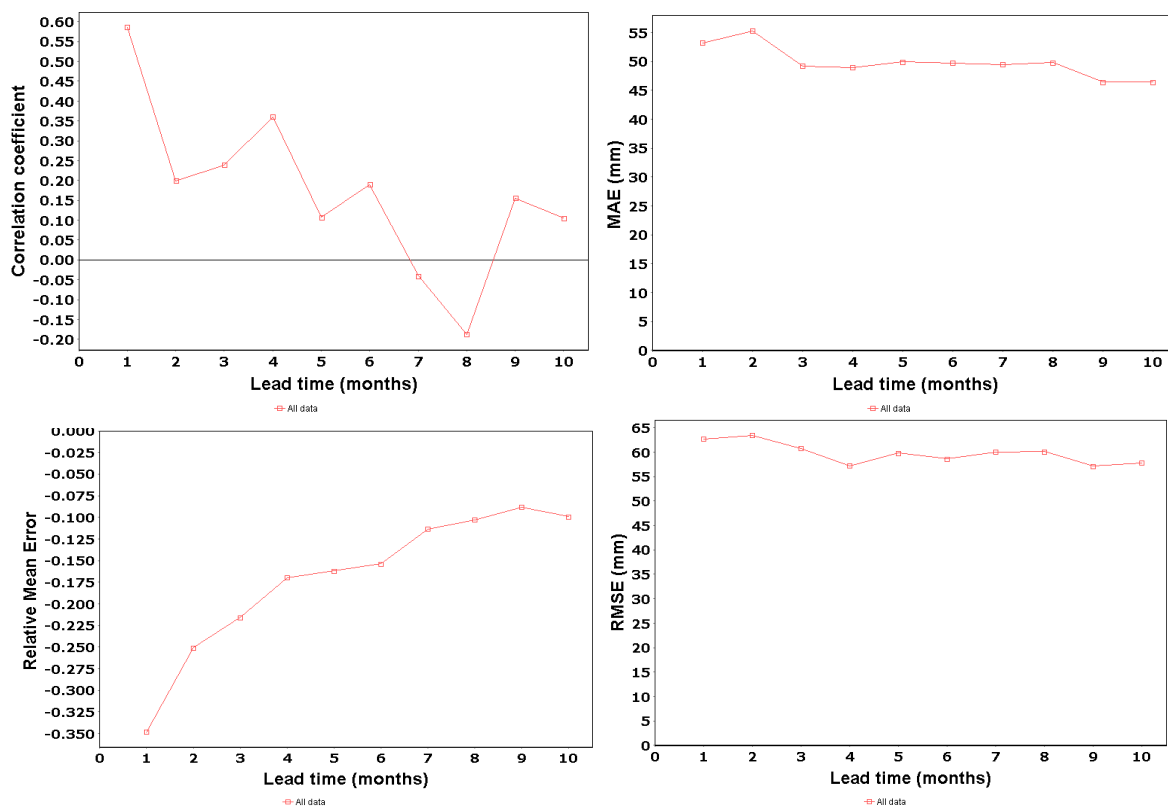


Fig. 4- Verification metrics for CFSv2 precipitation forecasts in target month "Jan"

شکل ۴- معیارهای ارزیابی پیش‌بینی‌های بارش مدل CFSv2 در ماه هدف ژانویه

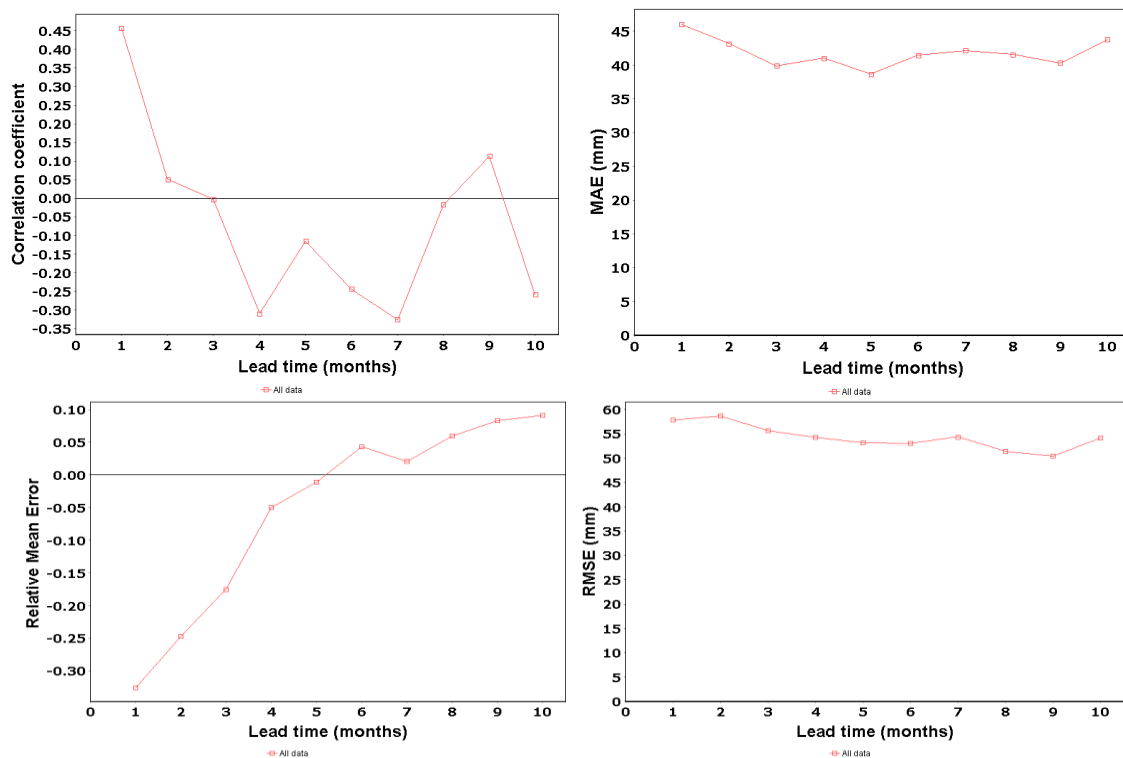


Fig. 5- Verification metrics for CFSv2 precipitation forecasts in target month "Feb"

شکل ۵- معیارهای ارزیابی پیش‌بینی‌های بارش مدل CFSv2 در ماه هدف فوریه

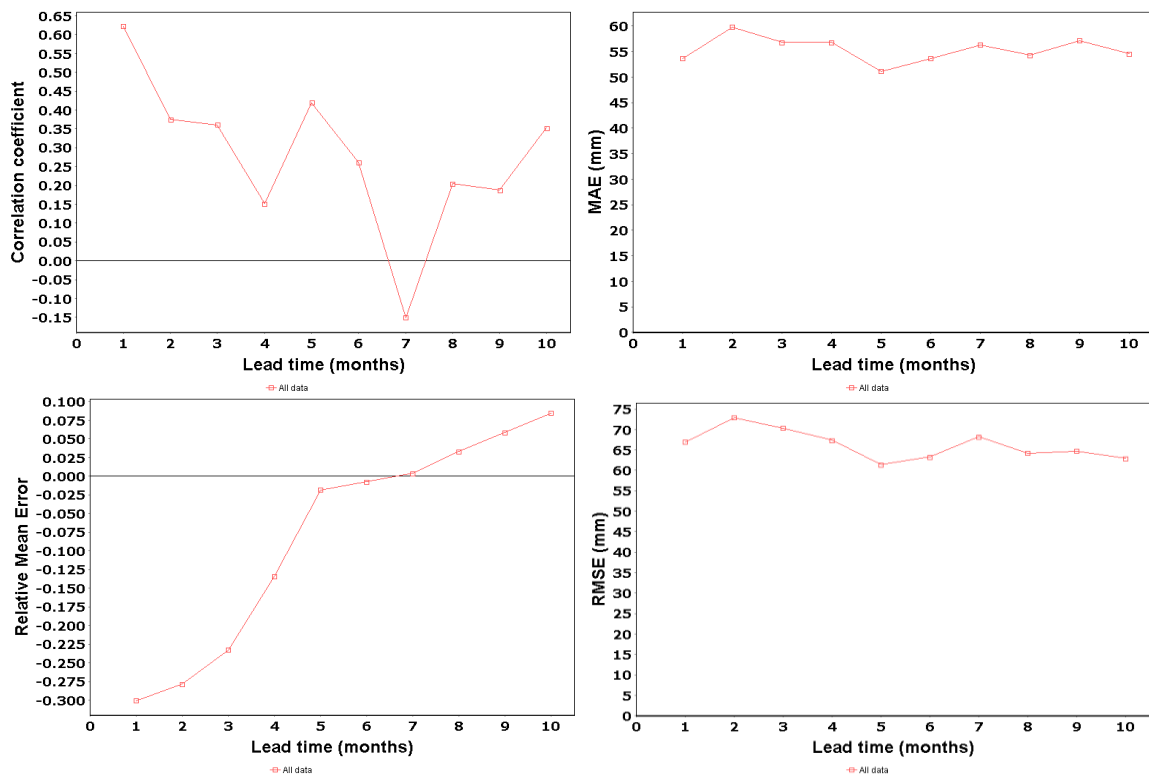


Fig. 6- Verification metrics for CFSv2 precipitation forecasts in target month “Mar”

شکل ۶- معیارهای ارزیابی پیش‌بینی‌های بارش مدل CFSv2 در ماه هدف مارس

در این روابط x مقدار پیش‌بینی شده، x' مقدار پیش‌بینی تصحیح شده، $F_x(\cdot)$ تابع توزیع تجمعی داده‌های پیش‌بینی و $F_0(\cdot)$ تابع توزیع تجمعی برای داده‌های مشاهداتی است.

نتایج ارزیابی در پیش‌دیدهای مختلف برای ماه‌های زمستان در جدول ۶ ارائه شده است. اعمال روش حذف آریبی باعث بهبود نسبت واریانس پیش‌بینی‌ها به واریانس داده‌های مشاهداتی بین ۰/۹ تا ۱ گردید. البته تأثیر بر میزان شاخص‌های MAE و RMSE تنها در پیش‌دید ۱ موجب بهبود نتایج تا ۲۰ درصد گردید و در بقیه پیش‌دیدها اثر مثبتی نداشته است.

در ادامه جهت کاهش آریبی پیش‌بینی‌ها از روش نگاشت چندک $QM^{1/2}$ نیز استفاده گردید که در این روش با بکارگیری توابع توزیع تجمعی برای مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی، تابع توزیع تجمعی پیش‌بینی‌ها با تابع توزیع تجمعی مشاهدات مطابقت داده می‌شود و تصحیح آریبی انجام می‌گردد. در این راستا با استفاده از رابطه (۵) و (۶) در ابتدا احتمال تجمعی برای هر یک از پیش‌بینی‌ها بر مبنای تابع توزیع تجمعی پیش‌بینی تخمین زده می‌شود سپس مقدار متناظر این چندک در تابع توزیع تجمعی مشاهدات به عنوان مقدار جدید پیش‌بینی لحاظ می‌گردد (Voisin et al., 2010; Zhao et al., 2017).

$$x' = F_0^{-1}[F_x(x)] \quad (5)$$

$$F_0(x') = F_x(x) \quad (6)$$

Table 6- Verification results of postprocessed CFSv2 precipitation in the Dez dam basin

جدول ۶- خلاصه نتایج ارزیابی برون‌داد بارش پس‌پردازش شده مدل CFSv2 در حوضه سد دز

Lead time (month)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jan postprocessed	corrolation	0.59	0.22	0.23	0.39	0.11	0.19	-0.04	-0.20	0.15	0.08
	MAE (mm)	42	62	60	50	65	58	71	68	63	66
	RMSE (mm)	51	71	70	62	75	71	81	87	73	76
Feb postprocessed	corrolation	0.38	0.02	0.01	-0.23	-0.13	-0.26	-0.31	0.02	0.15	-0.23
	MAE (mm)	40	52	50	57	58	59	61	55	50	61
	RMSE (mm)	56	69	69	76	74	78	80	69	64	77
Mar postprocessed	corrolation	0.60	0.37	0.37	0.15	0.43	0.25	-0.15	0.19	0.20	0.34
	MAE (mm)	43	64	53	67	60	67	77	70	67	60
	RMSE (mm)	59	74	75	84	69	79	99	83	72	74

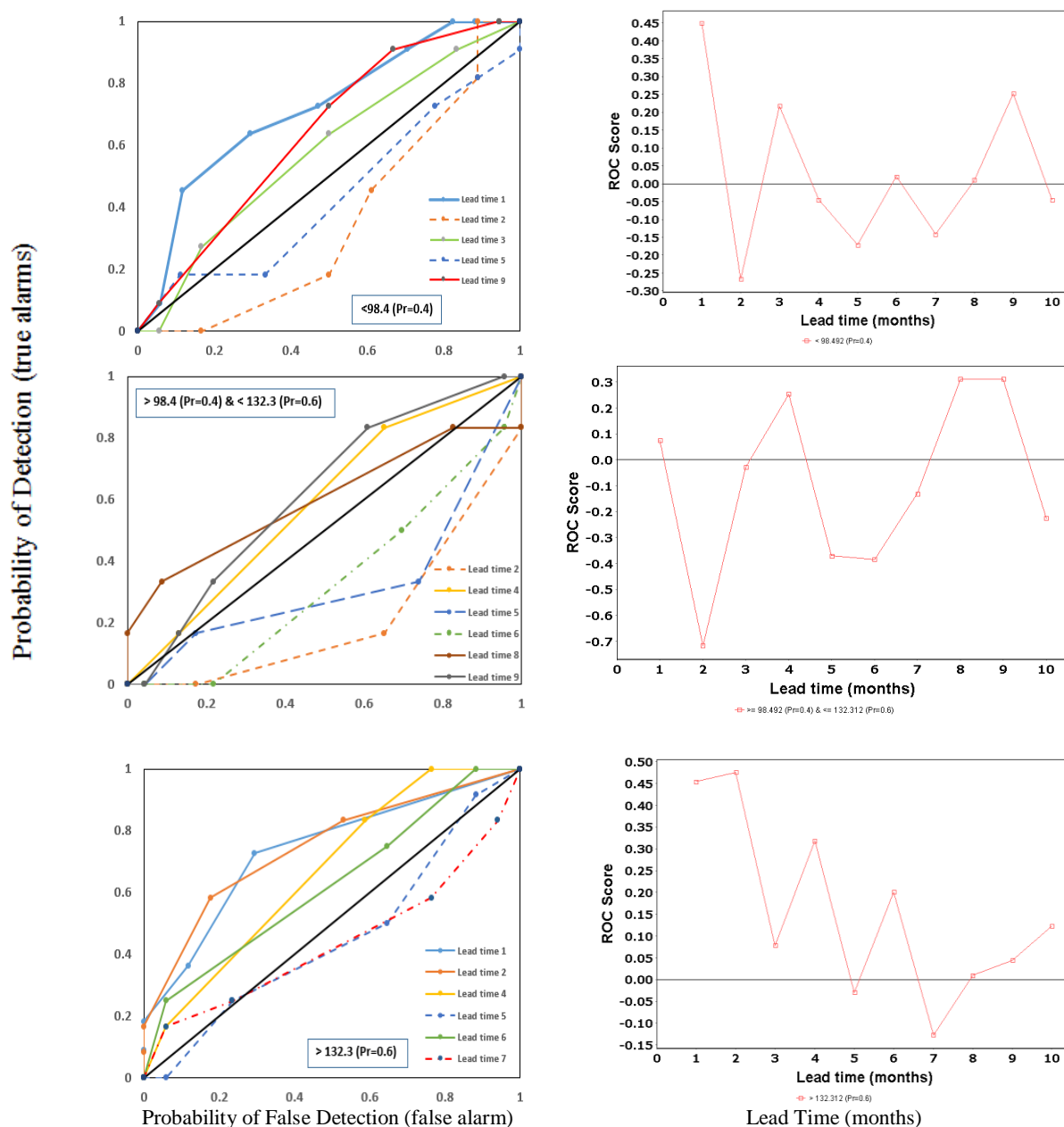


Fig. 7- ROC curves & ROCscore for CFSv2 precipitation forecasts in target month “ Jan “
شکل ۷- منحنی‌های ROC و ROCscore برای پیش‌بینی بارش مدل CFSv2 (ماه هدف ژانویه)

در این رابطه SPI نمایه استاندارد شده بارش، P_i و \bar{P} به ترتیب آمین مقدار بارش میانگین حوضه آبریز و میانگین بارش حوضه در طول دوره آماری است. δ نیز انحراف معیار بارش را نشان می‌دهد.

بر اساس طبقه‌بندی شاخص SPI (Mckee et al., 1993; Svoboda et al., 2012) مطابق با جدول ۷، پنج طبقه تعریف شد و صحت پیش‌بینی طبقه‌ای بارش بر مبنای پیش‌بینی درست طبقه بارش ارزیابی شد.

علاوه بر استفاده از شاخص‌های فوق جهت تحلیل پیش‌بینی‌ها، مهارت پیش‌بینی طبقه‌ای بارش بر مبنای شاخص SPI نیز بررسی گردید. بدین منظور در ابتدا شاخص SPI برای حوضه بر اساس داده‌های بارش مشاهداتی و داده‌های برون‌داد بارش مدل پیش‌بینی CFSv2 مطابق رابطه (۷) محاسبه گردید.

$$SPI = \frac{(P_i - \bar{P})}{\delta} \quad (7)$$

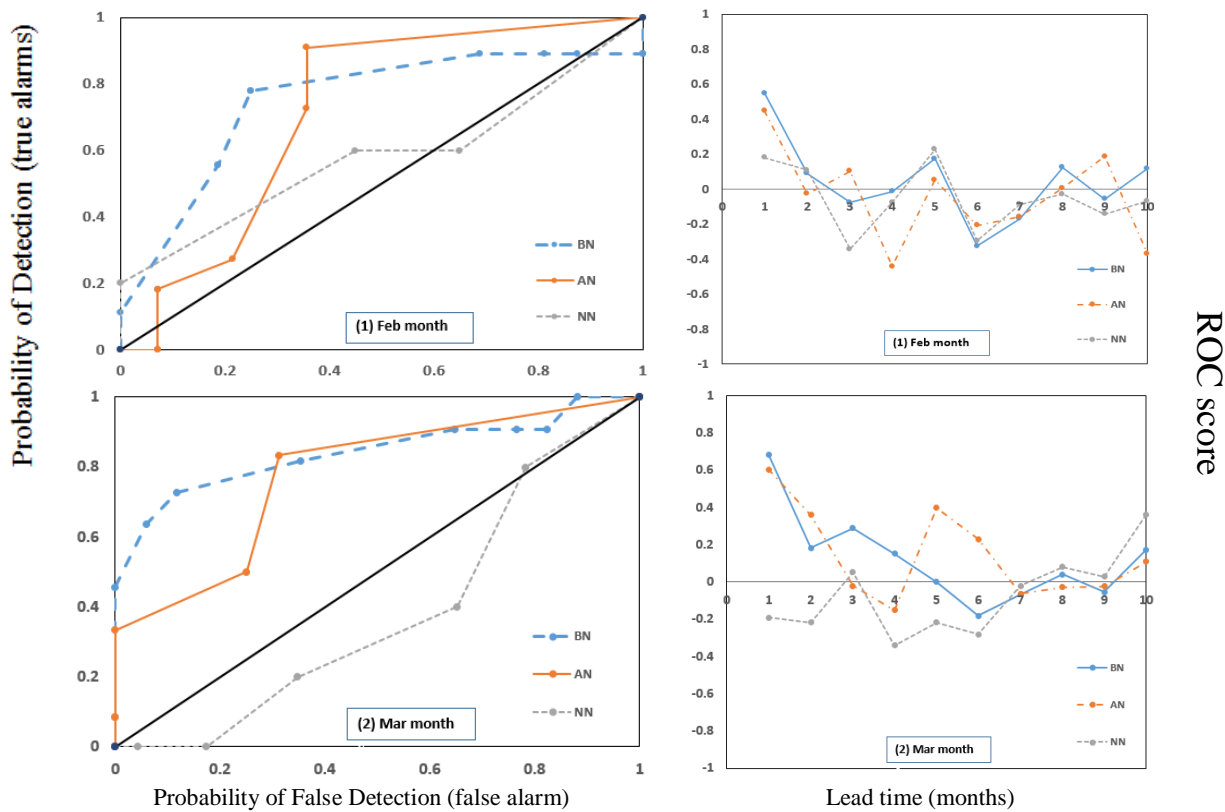


Fig. 8- ROC curves & ROCscore for CFSV2 precipitation forecasts in target month “1.Feb, 2.Mar”
 شکل ۸- منحنی‌های ROC و ROCscore برای پیش‌بینی بارش مدل CFSV2 (ماه هدف: ۱- فوریه، ۲- مارس)

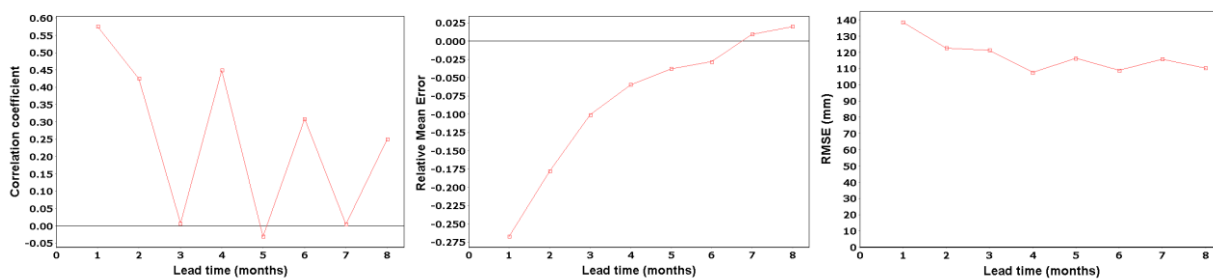


Fig. 9- Verification metrics for CFSV2 precipitation forecasts in target season “JFM”
 شکل ۹- معیارهای ارزیابی در فصل زمستان

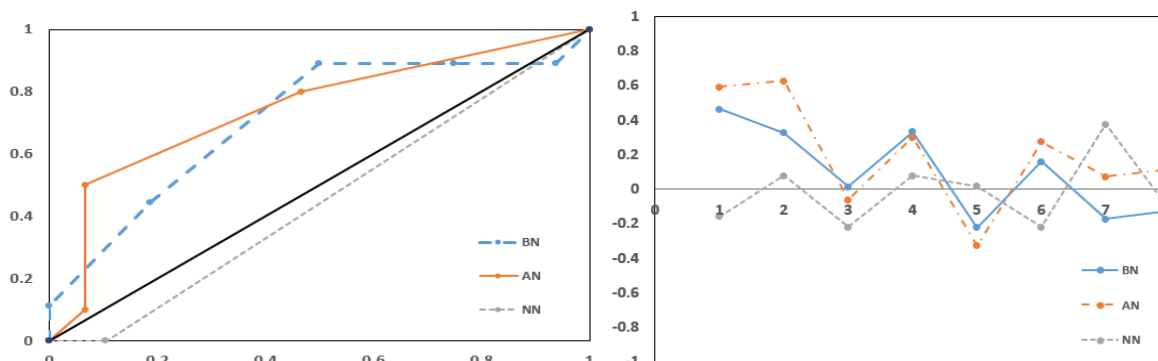


Fig. 10- ROC curves & ROCscore for CFSV2 precipitation forecasts in target season “JFM”
 شکل ۱۰- منحنی‌های ROC و ROCscore برای پیش‌بینی بارش مدل CFSV2 (فصل زمستان)

صحیح را در شرایط بدون اختلاف طبقه و همچنین با یک طبقه اختلاف در پیش‌بینی‌های ۱ تا ۱۰ ماه در ماه‌های هدف نشان می‌دهد.

Table 8- Average accuracy of predictions in different lead times in the target months of the winter

جدول ۸- میانگین صحت پیش‌بینی‌ها در پیش‌بینی‌های مختلف در ماه‌های هدف زمستانه

month_name	Correct forecast (± 0 category)	Correct forecast (± 1 category)
Jan	42	85
Feb	55	77
Mar	53	85

در جدول ۹ برای حوضه آبریز سد دز مقادیر مشاهداتی طبقه‌های خشک و تر و طبقه‌بندی منتج از برونداد بارش در پیش‌دید ۱ ماه ژانویه به عنوان نمونه آورده شده است. از مجموع ۱۷ رخداد در طبقه نرمال در ماه ژانویه، ۱۲ مورد درست پیش‌بینی شده است و ۱ رخداد بسیار تر نیز توسط مدل به درستی پیش‌بینی شده است.

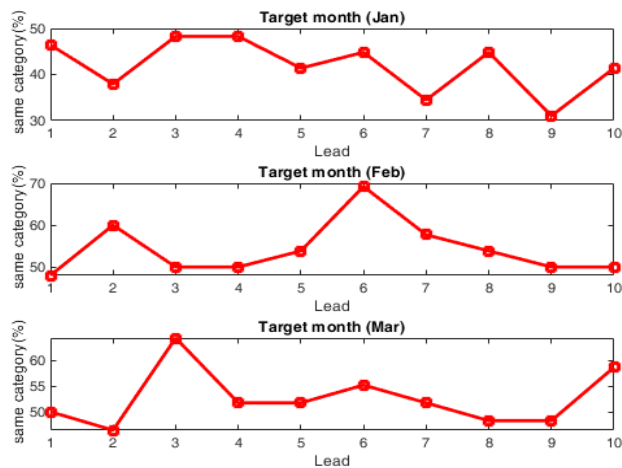


Table 7- Description of SPI drought index
جدول ۷- طبقه‌بندی مقادیر نمایه خشکسالی SPI

Category	Severity	SPI Index
1	Very Dry	≤ -1.5
2	Dry	$-1.5 < \text{SPI} \leq -1$
3	Normal	$-1 < \text{SPI} < +1$
4	Wet	$+1 \leq \text{SPI} < +1.5$
5	Very Wet	$\geq +1.5$

برای حوضه آبریز سد دز صحت پیش‌بینی طبقات مختلف خشکسالی در ماه‌های زمستانه (ژانویه، فوریه و مارس) بررسی گردید و نتایج آن در پیش‌بینی‌های مختلف در شکل ۱۱ آورده شده است. صحت پیش‌بینی‌ها به طور متوسط در ماه ژانویه ۴۲ درصد، ماه فوریه ۵۵ و ماه مارس ۵۳ درصد است. البته با لحاظ مورد قبول دانستن یک طبقه اختلاف در پیش‌بینی نیز صحت پیش‌بینی‌ها بررسی گردید یعنی به عنوان مثال صحیح دانستن پیش‌بینی "تر" و "خیلی تر" در شرایط واقعی "خیلی تر" موجب افزایش درصد پیش‌بینی‌های درست تا حدود ۳۰ درصد در پیش‌بینی‌های مختلف شد. جدول ۸ متوسط پیش‌بینی‌های

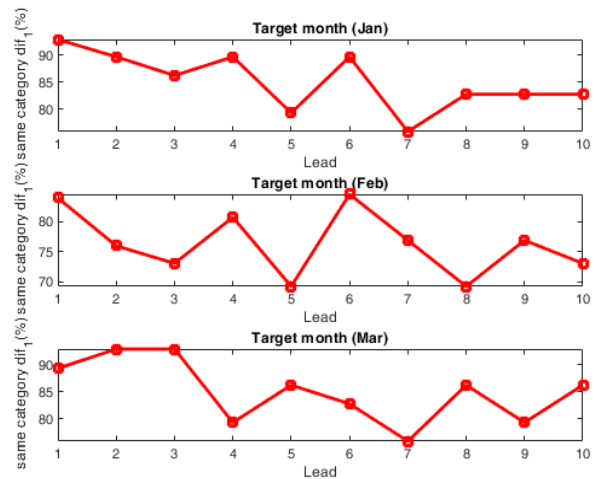


Fig. 11- Percentage prediction accuracy of the precipitation category based on the SPI index (left figure (± 0 category), right figure (± 1 category))

شکل ۱۱- درصد صحت پیش‌بینی طبقه بارش بر مبنای شاخص SPI (شکل چپ \pm صفر طبقه، سمت راست \pm یک طبقه)

Table 9- Frequency of observed and forecasted SPI index in the one-month lead time (January target month)
جدول ۹- فراوانی طبقات مختلف نمایه SPI مشاهداتی و پیش‌بینی در پیش‌دید یک (ماه هدف ژانویه)

	category	1	2	3	4	5	total
Jan Forecast (Lead 1)	1	0	2	1	0	0	3
	2	1	0	2	0	0	3
	3	0	3	12	4	0	19
	4	0	0	1	0	0	1
	5	0	0	1	0	1	2
Jan observation		1	5	17	4	1	28

افزایش می‌یابد و استفاده از پیش‌بینی‌های بارش با استفاده از این شاخص و استفاده از منظر پیش‌بینی طبقه بارشی، می‌تواند چشم‌انداز مناسبی در راستای برنامه‌ریزی بلندمدت مخازن ایجاد نماید.

پی‌نوشت‌ها

- 1- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
- 2- NOAA's National Centers for Environmental Prediction
- 3- Climate Prediction Center
- 4- Climate Forecast System Version 2
- 5- U.S. Geological Survey (USGS)
- 6- Ensemble Streamflow Prediction
- 7- Ensemble Forecasts
- 8- Precipitation Estimation From Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks - Climate Data Record)
- 9- Center for Hydrometeorology and Remote Sensing
- 10- Global Precipitation Climatology Project
- 11- Relative Operating Characteristic
- 12- Ensemble Mean
- 13- Quantile Mapping

۵- مراجع

- Ashouri H, Hsu KL, Sorooshian S, Braithwaite DK, Knapp KR, Cecil LD, Nelson BR and Prat OP (2015) PERSIANN-CDR: Daily precipitation climate data record from multisatellite observations for hydrological and climate studies. *Bulletin of the American Meteorological Society* 96(1):69-83
- Babaeian I, Khazanedari L, Abbasi F, Modirian R, Karimian M and Malbusi S (2018) Monthly prediction of drought over southwestern basin of Iran using CFSv2 model. *Iran-Water Resources Research* 14(3):133-145 (In Persian)
- Barnston AG and Tippet MK (2013) Predictions of Nino3.4 SST in CFSv1 and CFSv2: A diagnostic comparison. *Climate Dynamics* 41(5-6):1615-1633
- Borah N, Sahai AK, Abhilash S, Chattopadhyay R, Joseph S, Sharmila S and Kumar A (2015) An assessment of real-time extended range forecast of 2013 Indian summer monsoon. *International Journal of Climatology* 35(10):2860-2876
- Brown J (2013) Verification of temperature, precipitation and streamflow forecasts from the NWS Hydrologic Ensemble Forecast Service (HEFS): medium-range forecasts with forcing inputs from the frozen version of NCEP's Global Forecast System Revision: final, 139p

در تحلیل فصلی نیز مشاهده گردید پیش‌بینی صحیح طبقه‌بندی خشکسالی بر مبنای نمایه SPI در پیش‌دیده‌های مختلف در محدوده ۵۰ درصد است و با لحاظ صحیح دانستن یک طبقه اختلاف در پیش‌بینی، این محدوده به ۸۰ درصد صحت پیش‌بینی افزایش می‌یابد.

۴- نتیجه‌گیری

در مدیریت سیستم‌های منابع آب، بکارگیری مدل‌های تصمیم‌یار به منظور اتخاذ روش‌های بهره‌برداری بهینه نقش مهمی داشته و می‌تواند در شرایط خشکسالی و یا سیلاب از اثرات مخرب این وقایع بکاهد. یکی از پارامترهای مؤثر در تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی منابع آب آگاهی از میزان بارش و بالطبع مقادیر جریان می‌باشد. در این راستا در مطالعه حاضر، پیش‌بینی‌های فصلی گروهی تولید شده توسط مدل CFSv2 در دوره کلیما‌تولوژی (۲۰۱۰-۱۹۸۲) در یک پهله وسیع از حوضه آبریز با مساحت حدود ۱۷۰۰۰ کیلومتر مربع با رویکرد استفاده از این اطلاعات در مدیریت منابع آب مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی شاخص‌های مختلف نشان می‌دهد که پیش‌دید ۱ در پیش‌دیده‌های مختلف پیش‌بینی ماه هدف، مناسب‌ترین نتایج را دارد. البته در این پیش‌دید ارزیابی نسبی بالاتری با ایجاد پیش‌بینی‌های کم برآورد نسبت به بقیه پیش‌دیده‌ها وجود دارد. در این تحقیق که شرایط بزرگ مقیاس حوضه در مقایسه با ایستگاه نقطه‌ای مدنظر قرار گرفت حداکثر میزان همبستگی در بررسی ماهیانه و فصلی حدود ۰/۶ ملاحظه می‌شود که برای استفاده در مدل‌های بارش رواناب مقدار مناسبی نمی‌باشد و این نکته پس از اعمال یک روش پس‌پردازش مانند روش نگاشت چندک QM علیرغم حذف کامل ارزیابی و بهبود نسبی نتایج در پیش‌دید ۱، نیز مشهود است لذا از منظر استفاده در مدل‌های هیدرولوژیکی بکارگیری این پیش‌بینی‌ها مطلوب ارزیابی نمی‌شود. در مورد نمایه ROC با تعریف سه طبقه از داده‌ها به صورت احتمال تجمعی تجربی کمتر از ۰/۴، احتمال بین ۰/۴ و ۰/۶ و احتمال تجمعی بالاتر از ۰/۶ نتایج بیانگر قابل قبول بودن توانایی پیش‌بینی ماهانه و فصلی بارش مدل در شرایط طبقه ۱ و طبقه ۳ به ویژه در پیش‌دید ۱ است و در شرایط طبقه ۲ نتایج نسبتاً ضعیف می‌باشند. نمایه ROCscore نیز نشان می‌دهد به طور کلی با افزایش زمان پیش‌دید مهارت پیش‌بینی کاهش می‌یابد.

با توجه به نتایج فوق در تحلیل دیگری با استفاده از نمایه SPI به بررسی پیش‌بینی طبقه خشکسالی پرداخته شد که نتایج نشان می‌دهد پیش‌بینی صحیح طبقه خشکسالی بر مبنای ۵ طبقه خیلی خشک، خشک، نرمال، تر و خیلی تر حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد است که با لحاظ قابل قبول بودن \pm یک طبقه، صحت پیش‌بینی تا بیش از ۸۰ درصد

- for Indian monsoon rainfall forecast. *Atmospheric Science Letters* 16(1):10-21
- Peng P, Barnston AG, and Kumar A (2013) A comparison of skill between two versions of the NCEP Climate Forecast System (CFS) and CPC's operational short-lead seasonal outlooks. *Weather and Forecasting* 28(2):445-462
- Saha S, Moorthi S, Wu X, Wang J, Nadiga S, Tripp P, Behringer D, Hou YT, Chuang HY, Iredell M et al. (2014) The NCEP climate forecast system version 2. *Journal of Climate* 27(6):2185-2208
- Svoboda M, Hayes M, and Wood D (2012) Standardized precipitation index user guide. World Meteorological Organization Geneva, Switzerland (1090)
- Tian D, Wood E, and Yuan X (2017) CFSv2-based sub-seasonal precipitation and temperature forecast skill over the contiguous United States. *Hydrology and Earth System Sciences*, 1477-1490
- Voisin N, Schaake JC, and Lettenmaier DP (2010) Calibration and downscaling methods for quantitative ensemble precipitation forecasts. *Weather and Forecasting* 25(6):1603-1627
- Yuan X, Wood EF, Luo L, and Pan M (2011) A first look at Climate Forecast System version 2 (CFSv2) for hydrological seasonal prediction. *Geophysical Research Letters* 38(13):1-7
- Yuan X, Wood EF, Roundy JK, and Pan M (2013) CFSv2-Based seasonal hydroclimatic forecasts over the conterminous United States. *Journal of Climate* 26(13):4828-4847
- Zhao T, Bennett JC, Wang QJ, Schepen A, Wood AW, Robertson DE, and Ramos MH (2017) How suitable is quantile mapping for postprocessing GCM precipitation forecasts. *Journal of Climate* 30(9):3185-3196
- Brown JD (2011) Ensemble verification user's manual. Hydrologic Solutions Limited, Southampton, UK, 121p
- Brown JD, Demargne J, Seo D-J, and Liu Y (2010) The Ensemble Verification System (EVS): A software tool for verifying ensemble forecasts of hydrometeorological and hydrologic variables at discrete locations. *Environmental Modelling & Software* 25(7):854-872
- Chaudhuri S, Das D, Goswami S, and Das SK (2016) Long-range forecast of all India summer monsoon rainfall using adaptive neuro-fuzzy inference system: skill comparison with CFSv2 model simulation and real-time forecast for the year 2015. *Climate Dynamics*. Springer Berlin Heidelberg 47(9-10):3319-3333
- Jones C, Carvalho LM V, and Liebmann B (2012) Forecast skill of the South American monsoon system. *Journal of Climate* 25(6):1883-1889
- Kumar A, Chen M, and Wang W (2013) Understanding prediction skill of seasonal mean precipitation over the tropics. *Journal of Climate* 26(15):5674-5681
- Li Y, Han W, Wang W, Zhang L, and Ravichandran M (2018) The Indian summer monsoon intraseasonal oscillations in CFSv2 forecasts: Biases and importance of improving air-sea interaction processes. *Journal of Climate* 31(14):5351-5370
- Luo L, Tang W, Lin Z, and Wood EF (2013) Evaluation of summer temperature and precipitation predictions from NCEP CFSv2 retrospective forecast over China. *Climate Dynamics* 41(7-8):2213-2230
- Mckee TB, Doesken NJ, Kleist J, and others (1993) The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 179-183
- Pattanaik DR and Kumar A (2015) A hybrid model based on latest version of NCEP CFS coupled model