



Monthly Prediction of Drought over Southwestern Basin of Iran Using CFSv.2 Model

I. Babaeian^{1*}, L. Khazanedari², F. Abbasi³,
R. Modirian⁴, M. Karimian⁴ and Sh. Malbusi⁵

Abstract

Prediction of drought is a main challenge even for those countries with dynamic monthly prediction modeling systems. In such meteorologically advanced countries, prediction of monthly precipitation through dynamical methods is the first step in prediction of drought indices such as SPI and SPEI. Since southwestern basins of Iran including Great Karoon, Jarrahi and Zohreh have significant contribution in providing water for agriculture, drinking, industrial and hydropower demands, so having a seasonal prediction of precipitation and drought is of vital importance for management of water resources in these basins. In this study, the raw output of CFSv2 seasonal forecast model were calibrated in the base period and then monthly precipitation forecasts for the next three months were corrected based on the monthly derived equations. The corrected monthly precipitation was used for three months SPI forecasts. Observed precipitation corrected by APHRODITE dataset and historical forecast were used for calibration. Results showed that the highest efficiency of drought forecast with 81.5% were occurred in the case of normal precipitation condition over the basin. Efficiency of the drought forecast were respectively 62.3 and 42.3 percent for the precipitation in in wet or drought conditions. Taking into account the frequency of observed drought events for normal, wet, and dry cases which were 76.4, 12.5 and 8 percent, respectively, the overall skill of SPI index were found to be 73.4 percent.

Keywords: Seasonal Forecast Model, CFSv2, APHRODITE, Drought Warning, Karoon Basin.

Received: January 16, 2017

Accepted: March 4, 2018

پیش‌بینی ماهانه خشکسالی در حوضه آبریز جنوب غرب کشور با استفاده از مدل CFSv.2

ایمان بابائیان^{۱*}، لیلی خزانهداری^۲، فاطمه عباسی^۳،
راهله مدیریان^۴، مریم کریمیان^۴ و شراره ملبوسی^۵

چکیده

پیش‌بینی خشکسالی نه تنها یکی از چالش‌های اساسی کشور بلکه چالشی برای کشورهای دارای فناوری مدل‌سازی دینامیکی پیش‌بینی ماهانه است. در کشورهای پیشرو، برای پیش‌بینی خشکسالی ابتدا بارش به روش دینامیکی پیش‌بینی شده و پس از پس‌پردازش آماری، خشکسالی در قالب نمایه‌های خشکسالی مانند SPI، SPEI و غیره پیش‌بینی می‌گردد. به دلیل این‌که حوضه‌های آبریز جنوب غرب کشور شامل کرخه، کارون بزرگ، جراحی و زهره سهم چشمگیری در تامین منابع آبی کشور برای مصارف کشاورزی، شرب، صنعت و تولید انرژی برقی دارند، از این رو برخورداری این حوزه از سامانه پیش‌بینی بارش و خشکسالی دارای اهمیت حیاتی برای مدیریت منابع آب است. در این پژوهش ابتدا برون‌داد بارش خام مدل دینامیکی پیش‌بینی فصلی CFSv.2 در دوره پایه واسنجی شد و سپس براساس معادلات مستخرج، پیش‌بینی‌های خام بارش مدل تا سه ماه آینده تصحیح شدند. از برون‌داد پس‌پردازش شده بارش برای محاسبه نمایه خشکسالی SPI سه ماه آینده حوضه آبریز جنوب غرب استفاده شد. در فرآیند واسنجی از داده‌های مشاهداتی تصحیح‌شده APHRODITE و پیش‌بینی‌های گذشته‌نگر مدل دینامیکی پیش‌بینی فصلی استفاده گردید. نتایج نشان داد بیشترین کارایی پیش‌بینی خشکسالی با ۸۱/۵ درصد هنگامی رخ می‌دهد که شرایط واقعی حوضه در حالت نرمال باشد، اما هنگامی که نمایه SPI مشاهداتی حوضه وضعیت ترسالی یا خشکسالی را نشان دهد، در آن صورت صحت پیش‌بینی نمایه SPI به ترتیب ۶۲/۳ و ۴۲/۳ درصد است. با لحاظ فراوانی‌های کل رخداد‌های خشکسالی مشاهداتی برای وضعیت‌های نرمال، ترسالی و خشکسالی که به ترتیب ۷۶/۴، ۱۲/۵ و ۸ درصد کل حالات را شامل می‌شوند، صحت کلی پیش‌بینی نمایه خشکسالی SPI به ۷۳/۴ درصد می‌رسد.

کلمات کلیدی: مدل پیش‌بینی فصلی، CFSv.2، APHRODITE،

پیش‌آگاهی خشکسالی، حوضه کارون.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۱۰/۲۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۱۲/۱۳

1- Assistant Professor, Climate Change Research Group, Climatological Research Institute, Mashahd, Iran. Email: ibabaeian@yahoo.com

2- Researcher, Climatic Disasters Research Group, Climatological Research Institute, Mashahd, Iran.

3- Researcher, Applied Climatology Research Group, Climatological Research Institute, Mashahd, Iran.

4- Researcher, Climate Change Research Group, Climatological Research Institute, Mashahd, Iran.

5- Researcher, Climatic Disasters Research Group, Climatological Research Institute, Mashahd, Iran.

*- Corresponding Author

۱- استادیار گروه پژوهشی تغییر اقلیم، پژوهشکده اقلیم شناسی، مشهد، ایران.

۲- کارشناس پژوهشی، گروه پژوهشی بلایای جوی اقلیمی، پژوهشکده اقلیم شناسی، مشهد، ایران.

۳- کارشناس پژوهشی، گروه پژوهشی اقلیم‌شناسی کاربردی، پژوهشکده اقلیم شناسی، مشهد، ایران.

۴- کارشناس پژوهشی، گروه پژوهشی تغییر اقلیم، پژوهشکده اقلیم شناسی، مشهد، ایران.

۵- کارشناس پژوهشی، گروه پژوهشی بلایای جوی اقلیمی، پژوهشکده اقلیم شناسی، مشهد، ایران.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان زمستان ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

۱- مقدمه

حاصله در پیش‌بینی ماهانه بارش کشور، موفقیت‌ها در پیش‌بینی ماهانه خشکسالی قابل توجه نبوده‌اند و هشدارهای خشکسالی، بدون تهیه نقشه‌های پیش‌بینی خشکسالی، عمدتاً با مقایسه شرایط بارش پیش‌بینی شده ماه‌های آتی نسبت به وضعیت بارش بلندمدت صادر می‌شود.

در سطح بین‌المللی، تعداد زیادی از پژوهشگران پس از پس‌پردازش برونداد مدل‌های دینامیکی، از پیش‌بینی‌های تصحیح شده برای پیش‌بینی شاخص‌های خشکسالی استفاده کرده‌اند. این روش عمدتاً در آمریکای شمالی و با به‌کارگیری مدل دینامیکی CFSv2^۱ و یا سامانه چندمدلی آمریکای شمالی NMME^۲ اجرا شده است (Steinemann, 2006; Hwang et al., 2009; Yoon et al., 2012). پژوهش‌هایی با روش مشابه، خشکسالی را در قاره آفریقا و از طریق به‌کارگیری داده‌های پس‌پردازش شده مدل CFSv2 پیش‌بینی نموده‌اند (Yuan et al., 2013; Landman et al., 2012). در تعدادی از پژوهش‌ها با هدف کاهش عدم قطعیت پیش‌بینی خشکسالی، از چندین مدل دینامیکی پیش‌بینی استفاده شده است و بر اساس آن پیش‌بینی احتمالاتی چندمدلی تهیه می‌شود که از آن جمله می‌توان به سامانه پیش‌بینی خشکسالی چندمدلی آمریکای شمالی اشاره کرد (Mo et al., 2015). برخی از پژوهش‌ها باروشی مشابه شاخص خشکسالی هیدرولوژی را پیش‌بینی کرده‌اند (Mo et al., 2011; Madadgar and Moradkhani, 2013). علیرغم پیشرفت‌های حاصله در پیش‌بینی دینامیکی خشکسالی، پژوهش‌های متعددی نیز از روش‌های هوشمند و با به‌کارگیری داده‌های مشاهداتی، شاخص‌های خشکسالی را پیش‌بینی نموده‌اند (Maca and Pech, 2016; Labeledzki L, 2017).

در ارتباط با به‌کارگیری یک شاخص مناسب جهت پایش خشکسالی، Guttman (1998) در بررسی‌های انجام داده به این نتیجه رسید که شاخص SPI نسبت به سایر شاخص‌ها، به طرز بهتری قادر است تفاوت خشکسالی در یک ناحیه خاص را نسبت به سایر نواحی نشان دهد. Bordi et al. (2001) از شاخص استاندارد شده بارش جهت رسم نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی ماهانه در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت، میان مدت و بلندمدت در ایتالیا استفاده کردند. Bronini (2001) نیز نشان داد شاخص استاندارد شده بارش جهت کمی کردن و پایش خشکسالی می‌تواند بسیار مفید باشد. Hayes (2009) نیز نمایه SPI را انعطاف‌پذیر و توانمند در تحلیل خشکسالی برای مقیاس‌های زمانی مختلف معرفی کرد.

ایران از نقطه نظر اقلیمی کشوری دارای تنوع اقلیمی بسیار زیاد است. کمبود بارش و نوسانات شدید آن، سبب عدم اطمینان کافی از دریافت حداقل بارش مورد نیاز جهت مصارف مختلف از قبیل کشاورزی و تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌شود. علاوه بر روند افزایشی تقاضای آب، به سبب فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و شرب، وقوع خشکسالی نیز در تأمین منابع آبی تأثیر منفی داشته و کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Farajzade, 2000; Nicolas, 2001). حوضه آبریز جنوب غرب کشور شامل کرخه، کارون بزرگ، جراحی و زهره در دهه گذشته درگیر درجات مختلفی از خشکسالی بوده است که در مقایسه با سایر نواحی کشور از شدت بیشتری برخوردار است. حوضه یادشده نقش حیاتی در تأمین منابع آبی استان‌های غرب، جنوب غرب و حتی برخی از استان‌های مرکزی کشور دارد.

در ایران پیش‌بینی روزانه وضع هوا برای حدود ده روز آینده توسط سازمان هواشناسی کشور با به‌کارگیری روش‌های دینامیکی مبتنی بر حل عددی معادلات حرکت هوا و با دریافت داده‌های شرایط مرزی از مراکز بین‌المللی تهیه می‌شود (Azadi et al., 2008; Ashrafi et al., 2011; Azadi et al., 2016). در مقیاس ماهانه تا کمتر از یک سال، به دلیل عدم دسترسی به داده‌های شرایط مرزی به عنوان خوراک اولیه مدل‌های دینامیکی، امکان تهیه پیش‌بینی ماهانه تا سالانه به روش دینامیکی وجود ندارد. از این رو، محققان کشورمان عمدتاً دو روش آماری-دورپیوندی و پس‌پردازش برونداد مدل‌های دینامیکی اجرا شده در مراکز بین‌المللی را برای پیش‌بینی ماهانه بارش و دمای کشور مورد توجه قرار داده‌اند. در روش یاد شده با شناسایی نحوه تأثیر دمای سطح پهنه‌های آبی مانند خلیج فارس و سایر پهنه‌های آبی منطقه‌ای و دوردست، ارتباط بین پدیده‌های دورپیوندی مانند النینو-نوسان جنوبی، نوسان مادن جولیان بر اقلیم ایران، بارش و دمای کشور پیش‌بینی شده است. اخیراً به دلیل سهولت دسترسی به برونداد انواع مدل‌های دینامیکی پیش‌بینی ماهانه، از روش پس‌پردازش آماری برای پیش‌بینی ماهانه کشور استفاده می‌شود که از جمله می‌توان به استفاده سازمان هواشناسی کشور از این روش اشاره کرد. برای برخورداری از دانش فنی پیش‌بینی دینامیکی در کشور دو گام اساسی مورد نیاز می‌باشد که عبارتند از: سامانه جهانی داده‌گواری داده‌ها و اجرای مدل دینامیکی گردش کلی. دو موضوع اخیر، از محورهای پژوهشی محققان کشورمان می‌باشد، اما تاکنون منجر به تهیه پیش‌بینی ماهانه عملیاتی در کشور نشده است (Nazemossadat et al., 2003; Babaeian et al., 2016; Babaeian and Rezaadeh, 2017). علیرغم پیشرفت‌های نسبی

با توجه به اهمیت حوضه‌های آبریز جنوب غرب کشور در تأمین منابع آب برای مصارف مختلف، ایجاد سامانه پیش‌بینی بارش و خشکسالی در این منطقه برای مدیریت منابع آب ضروری است؛ از این رو این پژوهش با هدف تهیه پیش‌بینی‌های قابل اعتماد خشکسالی از برون‌داد مدل‌های دینامیکی پیش‌بینی فصلی برای اتخاذ تدابیر مدیریتی متناسب با شرایط خشکسالی در حوضه آبریز جنوب غرب کشور انجام شد.

۲- روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه حوضه‌های آبریز جنوب غرب شامل کرخه، کارون بزرگ، جراحی و زهره است که تمام یا بخشی از استان‌های خوزستان، کرمانشاه، ایلام، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، اصفهان، همدان، فارس و لرستان را پوشش می‌دهد (شکل ۱). به طور کلی در این محدوده تعداد ۱۳۵ ایستگاه سینوپتیک، اقلیم‌شناسی، تبخیرسنجی و بارانسنجی تحت پوشش سازمان هواشناسی کشور یا وزارت نیرو وجود دارد که از داده‌های بارش ماهانه ایستگاه‌های یاد شده استفاده شد.

شکل ۲ تقسیم‌بندی حوزه مورد مطالعه را به سلول‌های مختلف نشان می‌دهد. مطابق شکل این حوزه به سه بخش شمالی، مرکزی و جنوبی تقسیم شد و سپس کارایی پیش‌بینی‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. بخش شمالی شامل سلول‌های ۱۰۳ تا ۳۰۹، بخش مرکزی شامل سلول‌های ۴۰۳ تا ۷۱۲ و بخش جنوبی شامل سلول‌های ۸۰۵ تا ۱۰۱۳ است. به دلیل حجم زیاد نقشه‌ها، نمودارها و تحلیل‌ها که برای هر سلول به طور جداگانه انجام شد، در اینجا جزئیات تحلیل‌ها و پیش‌بینی‌ها به طور نمونه فقط برای یکی از سلول‌های واقع در شمال حوضه (سلول ۳۰۳) ارائه می‌شود.

برای پیش‌بینی خشکسالی، داده‌های پایه بارش ماهانه با تفکیک پذیری ۰/۵ درجه در حوضه آبریز جنوب غرب تهیه شد. در تهیه داده‌های پایه و به منظور تکمیل خلاءهای آماری، دو سری داده‌های دیدبانی شده و افرویدیت با هم تلفیق شدند. به دلیل محدودیت در داده‌های افرویدیت،

در این تحقیق از پیش‌بینی‌های تاریخی مدل CFSv.2 در مقیاس ماهانه استفاده می‌شود. CFSv.2 ویرایش دوم سامانه پیش‌بینی اقلیمی سازمان هواشناسی و اقیانوس‌شناسی آمریکا است که در سال ۲۰۱۱ عملیاتی شد.

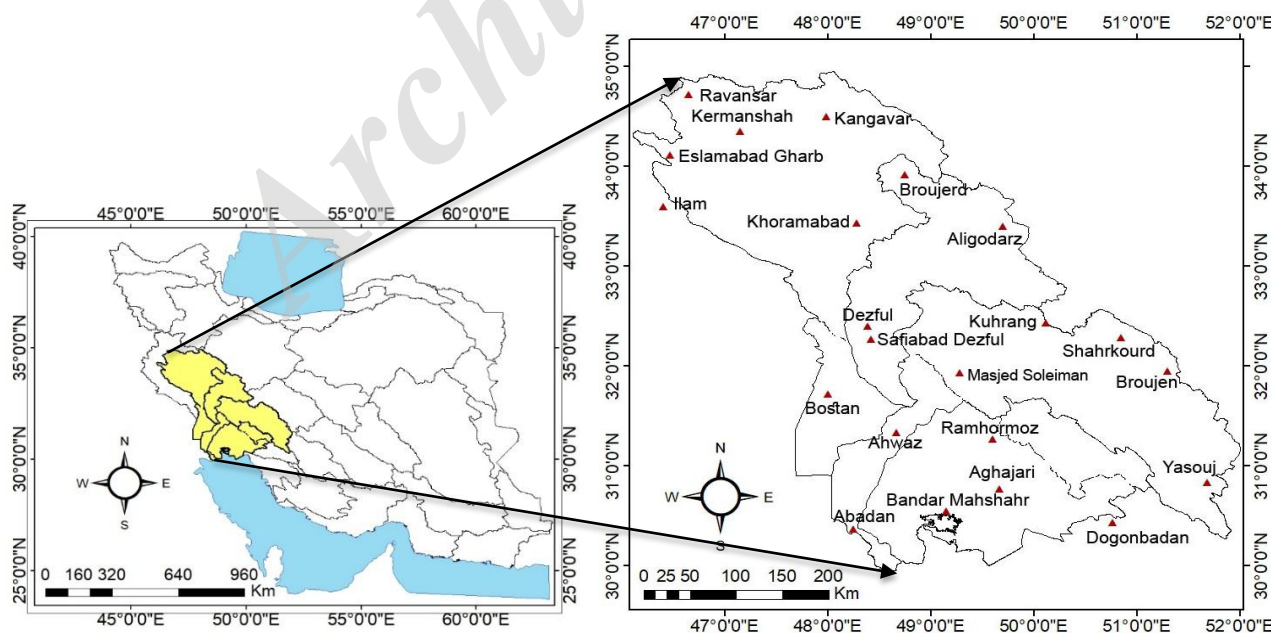


Fig. 1- Geographical location and synoptic stations in the Southwest Basin of Iran

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در حوضه آبریز جنوب غرب کشور

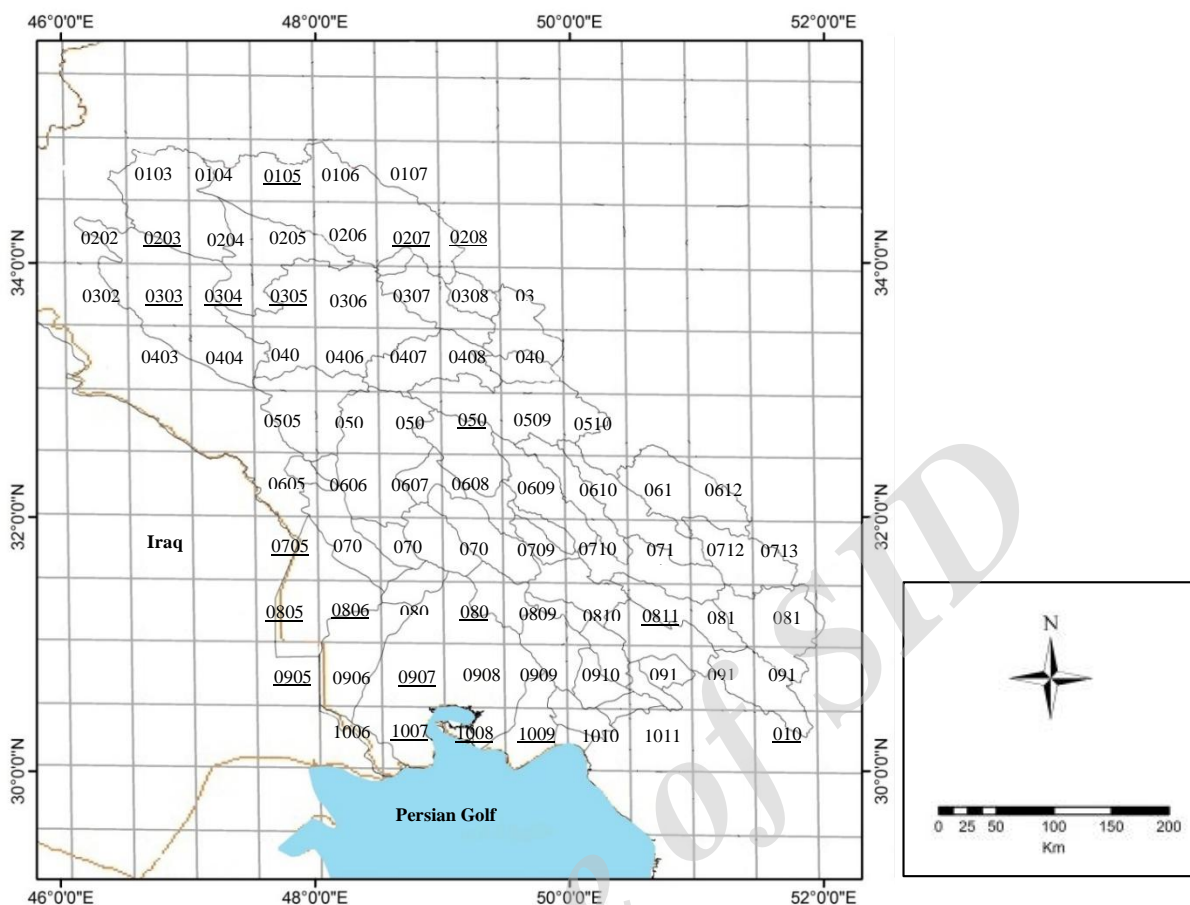


Fig. 2-Geographical location of grid cells used for postprocessing of CFSv.2 model

شکل ۲- موقعیت جغرافیایی سلول‌های محاسباتی حوزه آبریز جنوب غرب کشور برای پس پردازش برون داد مدل دینامیکی پیش بینی فصلی

گردید. در ویرایش‌های اولیه مدل فقط مؤلفه‌های جوی و اقیانوسی با هم جفت شده بودند و کارایی مدل صرفاً محدود به نواحی حاره‌ای بود، در حالی که در ویرایش دوم علاوه بر دو مؤلفه مذکور، مؤلفه‌های خشکی و یخ نیز در نظر گرفته شده‌است و کارایی آن در سایر مناطق بهبود قابل توجهی دارد. CFSv.2 چهار مؤلفه اصلی دارد که عبارتند از: دو مدل پیش‌بینی برای جو و اقیانوس و دو سامانه داده‌گذاری داده‌ها برای شرایط مرزی جوی و خشکی و شرایط مرزی اقیانوسی. وضوح^۶ افقی مدل 0.95×0.95 درجه است (Saha et al., 2006; Saha et al, 2014).

۳- نتایج و بحث

با استفاده از پیش‌بینی‌های گذشته‌نگر، مدل CFSv.2 واسنجی گردید. یک نمونه از نتایج واسنجی و راستی‌آزمایی آن در شکل ۳ نشان داده

توانایی مدل CFS توسط پژوهشگران متعددی مورد تأیید قرار گرفته‌است. از آن جمله Sooraj et al. (2012) نشان دادند که مدل CFS می‌تواند به خوبی دمای پهنه‌های آبی اقیانوس آرام حاره‌ای، غرب اقیانوس هند و شمال اقیانوس اطلس را پیش‌بینی نماید. همچنین مدل توانست در سطح قابل قبولی بارش مناطق مختلف کره زمین را پیش‌بینی کند، اما توانایی پیش‌بینی دمای سطح دومتري در فصول سرد بیش از فصول گرم بود. پیش‌بینی‌های تاریخی مدل از سال ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۰ در دسترس هستند. ارزیابی‌ها نشان از توانایی مدل در پیش‌بینی متغیرهای هواشناسی در مقیاس زمانی زیرفصلی^۴ و شناسایی پدیده‌ی مادن جولیان^۵ دارد. برخورداری این مدل از انواع برون‌دادها از قبیل پیش‌بینی‌های تاریخی و پیش‌بینی برخط، موجب تسهیل در واسنجی پیش‌بینی‌ها و کاربرد وسیع آن در حوزه‌های مختلف مانند مدیریت منابع آب، پیش‌بینی عملکرد محصولات کشاورزی، ترابری و انرژی شده‌است. ویرایش اول مدل CFS در سال ۲۰۰۴ عملیاتی

ROC برابر ۰/۵ باشد، پیش‌بینی با مقدار نرمال دوره آماری برابر است. مقدار عددی ROC با استفاده از جدول توافقی دیدبانی-پیش‌بینی سه طبقه‌ای کمتر از نرمال، نرمال و بیش از نرمال محاسبه می‌شود (Saha et al., 2014). جدول ۱ نتایج حاصل از پس‌پردازش داده‌ها به روش میانگین متحرک را برای سلول KB303 طی دوره آموزش (۱۹۸۷-۲۰۰۱) نشان می‌دهد. در این جدول نمایه ROC برای سه طبقه نرمال (NN)، بیشتر از نرمال (AN) و کمتر از نرمال (BN) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود در مقیاس ماهانه بیشترین نمایه ROC مربوط به ماه آوریل برای وضعیت بارشی واقع در طبقه بالاتر از نرمال به مقدار ۰/۸۲ می‌باشد. بیشترین نمایه ROC در مقیاس سالانه در شرایط بارشی بالاتر از نرمال به مقدار ۰/۸۰ رخ داده است.

در جدول ۲ توانایی روش پس‌پردازش آماری برای دوره پیش‌بینی (۲۰۰۲-۲۰۰۷) ارایه شده است. نمایه ROC در دوره پیش‌بینی برای شرایط بارشی بیش از نرمال، حدود ۰/۸۷ است که بسیار مناسب می‌باشد.

است. دوره ۲۰۰۱-۱۹۸۷ (۱۵ سال) به‌عنوان دوره آموزش و دوره ۲۰۰۲-۲۰۰۷ (۶ سال) دوره آزمون برای راستی‌آزمایی پیش‌بینی‌ها در نظر گرفته شد. این شکل میانگین درجه تأثیرپذیری (توازن جرم) پیش‌بینی‌های بارش سالانه با تغییر پنجره میانگین‌گیری از ۱ تا ۱۸۰ ماه را برای شبکه (سلول) KB303 به روش میانگین متحرک نشان می‌دهد. از آنجا که این شبکه فاقد ایستگاه هواشناسی یا بارانسنجی است، از این‌رو از داده‌های افروودیت تصحیح شده برای واسنجی پرونداد مدل پیش‌بینی استفاده گردید. براساس مقادیر مختلف درجه تأثیرپذیری (DMB^۷) (شکل ۳-راست)، میانگین خطای مطلق (شکل ۳-چپ) بارش پس‌پردازش شده محاسبه شد. ملاحظه می‌شود نمودار DMB در پنجره ۱۵۹ام به مقدار تقریباً ثابت رسیده و دارای کمترین خطای مطلق در محدوده پایداری است.

مطابق دستورالعمل سازمان جهانی، برای راستی‌آزمایی پیش‌بینی‌ها از نمایه ROC استفاده شد. مقادیر نمایه ROC بین صفر و یک متغیر است که مقدار صفر نشان‌دهنده ناتوانی مدل در پیش‌بینی و مقدار یک نشان از توانایی کامل مدل در پیش‌بینی می‌باشد. در صورتی که مقدار

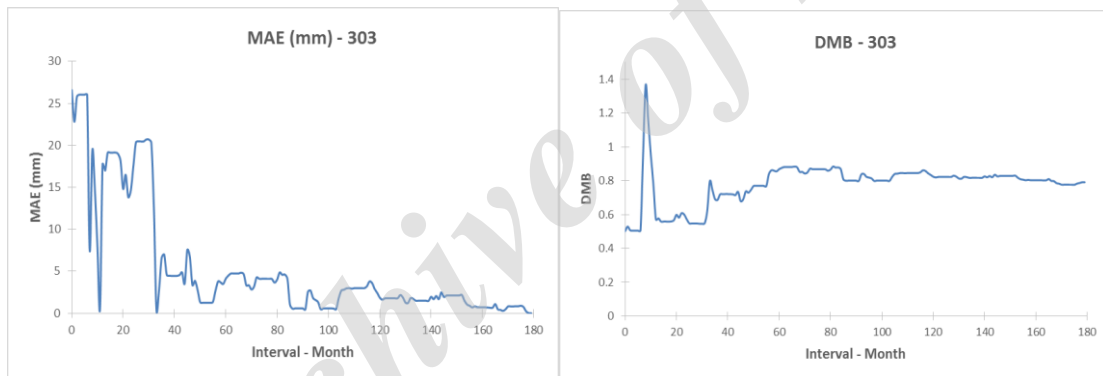


Fig. 3-Degree of mass balance (reight) and absolute error (left) in grid KB303
شکل ۳- میانگین درجه موازنه جرم (راست) و خطای مطلق (چپ) بارش سالانه برای شبکه KB303

Table 1- Postprocessed precipitation by moving average for KB303 site for training period: 1987-2001

جدول ۱- نتایج حاصل از پس‌پردازش بارش به روش میانگین متحرک برای شبکه KB303 طی دوره آموزش (۱۹۸۷-۲۰۰۱)

Training period (1987-2001)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Mean obs. (mm)	94.2	83.7	113.5	50.9	14.9	0.6	0.6	0.1	0.1	24.7	71.6	96.8	551.5
Mean raw data (mm)	62.4	51.5	105.3	94.6	13.6	0.4	0	0.1	0.4	17.7	33.6	65.7	445.2
Mean postprocessed (mm)	77.7	64.1	131.2	117.7	16.9	0.5	0	0.1	0.5	22.1	41.8	81.8	554.4
MBE of raw data (mm)	-33.8	-38.5	-7.2	85.9	-9.0	-27.6	-96.3	42.5	379.0	-28.2	-53.1	-32.2	-19.3
MBE of postprocessed (mm)	-17.5	-23.4	15.6	131.5	13.4	-9.9	-95.3	77.5	496.4	-10.6	-41.6	-15.5	0.5
Categorical skill (%)	76.7	46.7	60.0	70.0	80.0	56.7	76.7	86.7	70.0	70.0	76.3	56.7	78.9
BN- ROC score	0.27	0.69	0.42	0.37	0.24	0.69	0.21	0.29	0.44	0.30	0.29	0.50	0.19
NN ROC score	0.48	0.28	0.50	0.42	-	-	-	-	-	-	0.51	0.50	0.62
AN ROC score	0.81	0.44	0.58	0.82	0.76	0.31	0.79	0.71	0.56	0.70	0.76	0.50	0.80

Table 2- Postprocessed precipitation by moving average for KB303 site for forecast period: 2002-2007

جدول ۲- نتایج حاصل از پس پردازش به روش میانگین متحرک برای شبکه KB303 طی دوره پیش‌بینی (۲۰۰۷-۲۰۰۲)

Prediction period (2002-2007)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Mean obs. (mm)	100.9	80.5	78.5	65.0	12.0	0.6	0	0	0.1	16.7	69.6	83.9	507.7
Mean raw data (mm)	73.4	70.6	59.1	65.2	8.8	0.1	0	0.3	1.3	9.2	72.1	36.8	396.9
Mean postprocessed (mm)	91.4	88.0	73.6	81.1	10.9	0.1	0	0.4	1.6	11.5	89.8	458	494.1
MBE of raw data (mm)	-27.3	-12.2	-24.7	0.3	-26.6	-83.4	-100.0	615.4	1775	-44.5	3.6	-56.2	-21.8
MBE of postprocessed (mm)	-9.5	9.3	-6.2	24.8	-8.6	-79.3	-100.0	790.8	2235	-30.9	29.0	-45.4	-2.7
Categorical skill (%)	66.7	75.0	83.3	75.0	75.0	58.3	50.0	41.7	66.7	50.0	91.7	66.7	84.0
BN- ROC score	0.39	0	0.19	0.28	0.10	0.70	-	0.67	0.60	0.80	0.06	0.39	0.10
NN ROC score	0.40	0.88	0.60	0.50	-	-	-	0.40	-	-	0.50	0.60	0.71
AN ROC score	0.69	0.63	0.90	0.75	0.90	0.30	-	0.38	0.40	0.20	1.0	0.56	0.87

McKee (1997) از نتایج حاصله از SPI، سیستم طبقه‌بندی برای تعریف شدت خشکسالی را معرفی کردند. مقادیر SPI جهت طبقه‌بندی خشکسالی در جدول ۳ آورده شده است. برای پیش‌بینی خشکسالی حوضه آبریز جنوب غرب کشور، نمایه SPI برای هر یک از سلول‌های حوضه و براساس مقادیر بارش پس‌پردازش شده محاسبه گردید. برای بررسی کارایی پیش‌بینی خشکسالی، دو سری نمایه‌های SPI مشاهداتی و پیش‌بینی مطابق جدول ۳ در طبقات مختلف با هم مقایسه شدند که در بخش نتایج در مورد آن بحث می‌شود. همان‌طور که پیشتر گفته شد، منظور از داده‌های بارش مشاهداتی و پیش‌بینی، به ترتیب داده‌های تصحیح شده شبکه‌ای افرودیت و داده‌های پیش‌بینی بارش شبکه‌ای پس‌پردازش شده برونداد مدل می‌باشد که نمایه‌های خشکسالی SPI مشاهداتی و پیش‌بینی نیز به ترتیب از دو سری داده‌های بارش مذکور تهیه شده‌اند.

Table 3- Description of SPI drought index in 5 standard categories

جدول ۳- توصیف و محدوده مقادیر نمایه خشکسالی SPI در پنج طبقه استاندارد

Category	Severity	SPI Index	Description
1	Very dry	Less than -1.6	Not included -1.6
2	Dry	-1.6 to -1	Not included -1
3	Normal	-1 to +1	-
4	Wet	+1 to +1.5	Not included +1
5	Very wet	Greater than +1.5	-

در این بخش ابتدا به نتایج حاصل از راستی‌آزمایی پیش‌بینی‌ها در دوره تاریخی (پیش‌بینی گذشته‌نگر) می‌پردازیم. شکل ۴ منحنی ROC داده‌های بارش پس‌پردازش شده در دوره تاریخی را به روش DMB

نمایه ROC برای شرایط بارشی در محدوده نرمال، حدود ۰/۷۱ است که معرف توانایی مناسب روش مورد استفاده برای پس‌پردازش است، اما مقدار این نمایه برای شرایط بارشی پیش‌بینی کمتر از نرمال، کمتر از ۰/۵ است که قابل قبول نیست. مهارت کلی این روش در پیش‌بینی طبقات بارشی حدود ۸۴ درصد است که علیرغم قابل قبول بودن، فاقد توانایی لازم برای پیش‌بینی بارش ماه‌های گرم سال است.

در این تحقیق برای بررسی خشکسالی و راستی‌آزمایی آن از نمایه SPI استفاده شد. این نمایه برای اولین بار بوسیله McKee (1997) پیشنهاد گردید. SPI شاخصی است که براساس احتمال بارش برای هر بازه زمانی قابل محاسبه است. این نمایه امکان پایش خشکسالی برای مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت نظیر رطوبت خاک و نیز برای مقیاس‌های بلندمدت نظیر آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی فراهم می‌سازد. اساس این نمایه انحراف از میانگین نسبت به انحراف داده‌های آماری است. به عبارت دیگر در این روش علاوه بر انحراف از میانگین بارش‌های رخ داده طی یک دوره آماری، انحراف معیار داده‌ها نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد، به طوری که نسبت اختلاف میانگین جامعه یا نمونه از مقدار بارندگی هر سال آماری به انحراف معیار جامعه یا نمونه محاسبه می‌شود (Farajzade, 1995). نمایه استاندارد شده بارش طبق رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$SPI = (X_i - X) / \delta \quad (1)$$

در این رابطه، SPI نمایه استاندارد شده بارش برای یک دوره معین، X_i بارندگی هر ایستگاه، X میانگین و δ انحراف معیار بارش در همان ایستگاه است. اهمیت SPI در نیاز اطلاعاتی کم و محاسبات نسبتاً آسان آن می‌باشد. از طرفی قابلیت پایش نزدیک به زمان واقعی، این شاخص را در موقعیت نسبتاً مناسبی قرار داده است. محاسبه SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف انجام‌پذیر است (Wilhite, 2000).

شکل ۵ میانگین داده‌های بارش دیدبانی شده، خام مدل و پس‌پردازش شده به روش DMB برای شبکه KB303 طی دوره پیش‌بینی (۲۰۰۲-۲۰۰۷) را نشان می‌دهد. نتایج این شکل نشان می‌دهد که تفاوت معناداری بین پیش‌بینی خام و پس‌پردازش شده مدل وجود دارد، به طوری که پیش‌بینی پس‌پردازش شده مدل با داده‌های دیدبانی در اکثر ماه‌ها همخوانی بهتری دارد.

میانگین صحت پیش‌بینی ماهانه بارش در بخش‌های شمالی حوضه آبریز کارون بزرگ که ۲۰ سلول را در بر می‌گیرد، ۶۳ درصد محاسبه شد که در فصل بارش (نوامبر تا می، معادل آبان تا اردیبهشت) ۶۸/۸ درصد می‌باشد.

برای یکی از سلول‌های واقع در شمال حوضه (سلول شماره ۳۰۳) طی دو دوره آموزش و پیش‌بینی در مقیاس سالانه نشان می‌دهد. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود بیشترین کارایی مدل در پیش‌بینی سالانه بارش هنگامی رخ می‌دهد که بارش در محدوده نرمال تا بیشتر از نرمال باشد. کارایی این مدل هنگام بارش کمتر از نرمال، کمتر و در مواردی قابل قبول نمی‌باشد (این موضوع در نمودار ROC سالانه به وضوح قابل رؤیت است). در شکل مذکور محور قائم پیش‌بینی‌های درست (HR^8) و محور افقی پیش‌بینی‌های نادرست (FAR^9) است. در بررسی پیش‌بینی‌های بارش سالانه برای این شبکه، مشاهده شد که صحت پیش‌بینی‌ها قبل از پس‌پردازش ۷۸/۹ درصد است و پس از پردازش به ۸۴ درصد رسید و این بدان معنا است که فرآیند پس‌پردازش صحت پیش‌بینی‌ها را حدود ۶ درصد افزایش داده است.

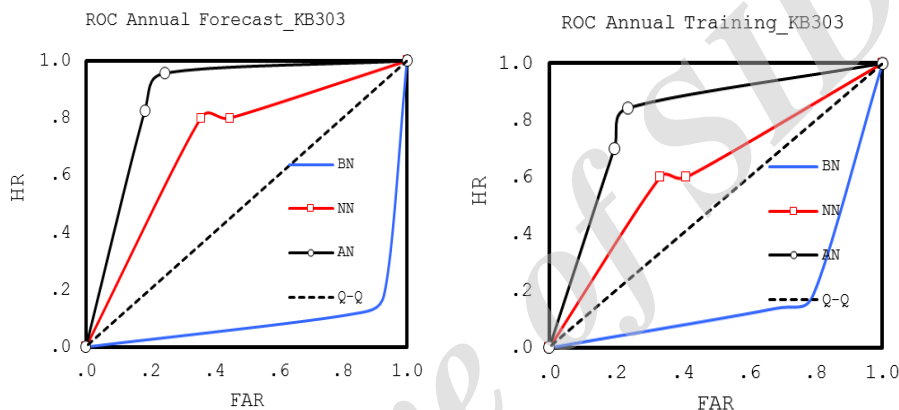


Fig. 4- Annual ROC curve for postprocessed precipitation using DMB for training (reight) and forecasting (left) periods

شکل ۴- منحنی ROC داده‌های بارش پس‌پردازش شده به روش DMB، برای دوره آموزش (راست) و دوره پیش‌بینی (چپ) در مقیاس سالانه

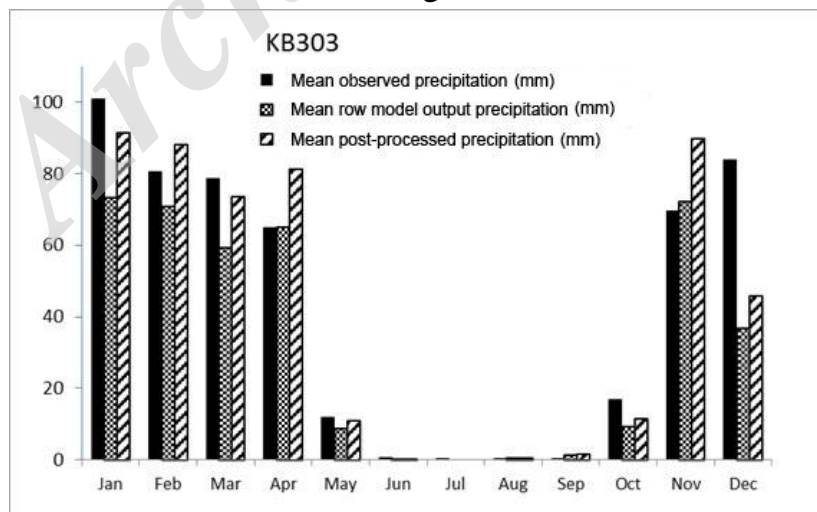


Fig. 5- Observed, raw and DMB-postprocessed precipitation for KB303 during forecast period

شکل ۵- مقایسه بارش دیدبانی، برون داد خام مدل و برون داد پس‌پردازش شده مدل به روش DMB برای شبکه KB303 در دوره پیش‌بینی

ماهانه را به مقدار بسیار زیادی کاهش دهد. براساس شکل، صحت کلی روش مورد استفاده حدود ۶۵ درصد می‌باشد.

جدول ۴ ضریب همبستگی بین مقادیر بارش ماهانه پیش‌بینی و دیدبانی را نشان می‌دهد. مقادیر همبستگی در سطح اعتماد ۰/۰۵ معنادار است. معنادار بودن ضرایب همبستگی نشان می‌دهد مدل قادر به پیش‌بینی نوسانات ماهانه بارش بوده و از طرفی با توجه به این که نمایه خشکسالی ارتباط مستقیمی با نوسانات بارش نسبت به میانگین بلندمدت آن دارد، لذا پیش‌بینی صحیح نوسانات ماهانه بارش می‌تواند منجر به پیش‌بینی صحیح خشکسالی شود.

Table 4- Correlation between observed and predicted monthly precipitation in north, center and south of the basin

جدول ۴- ضریب همبستگی بین مقادیر بارش ماهانه پیش‌بینی شده و بارش مشاهداتی در سه منطقه حوضه

Correl. index	North basin	Center basin	South basin
	0.69	0.61	0.52

به منظور تهیه پیش‌بینی خشکسالی، بارش‌های پس‌پردازش شده ماهانه به نرم‌افزار محاسبه نمایه خشکسالی SPI خوانده شد و سپس وضعیت خشکسالی پیش‌بینی گردید. همان‌طور که پیشتر بیان شد، دوره ۱۹۸۷-۲۰۰۱ برای واسنجی و دوره ۲۰۰۲-۲۰۰۷ برای صحت‌سنجی مقادیر خشکسالی پیش‌بینی شده انتخاب شدند.

در شکل ۸ به عنوان نمونه نمودار سری‌های زمانی نمایه خشکسالی مربوط به داده‌های پایه مشاهداتی (تلفیقی افروودیت-دیدبانی)، واسنجی و پیش‌بینی برای سلول KB303 آورده شده است. جدول ۵ فراوانی طبقات مختلف خشکسالی پیش‌بینی شده و دیدبانی در دوره پیش‌بینی (۲۰۰۲-۲۰۰۷) را نشان می‌دهد.

کمترین صحت پیش‌بینی در ماه فوریه (بهمن) با ۴۹/۲ درصد و بیشترین صحت با ۷۷/۱ درصد در ماه نوامبر می‌باشد. ضریب همبستگی بین مقادیر بارش ماهانه پیش‌بینی شده و مقادیر مشاهداتی ۰/۶۹ می‌باشد که در سطح ۰/۰۵ معنادار است.

مساحت زیر منحنی ROC برای مناطق شمالی حوضه نشان می‌دهد پیش‌بینی ماهانه بارش هنگام بارش نرمال یا بیش از نرمال، بیشتر از ۰/۵ بوده و قابل قبول است، اما از آنجایی که مساحت زیر منحنی ROC برای شرایط بارش کمتر از نرمال، کمتر از ۰/۵ است، پیش‌بینی بارش برای این طبقه قابل قبول نیست (شکل ۶).

ROC, Northern Basin

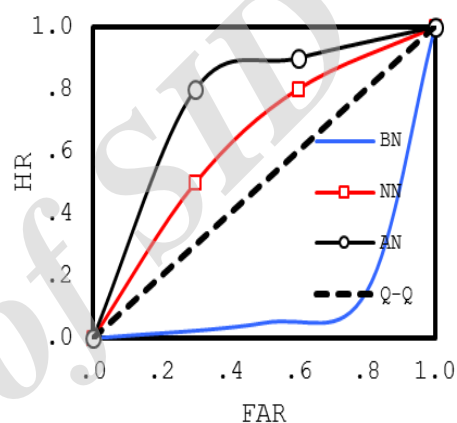


Fig. 6- ROC curve for Bellow Normal (BN), Normal (NN) and Above Normal (AN) categories in north of basin

شکل ۶- نمودار ROC برای مناطق شمالی حوضه به تفکیک طبقات بارش کمتر از نرمال (BN)، نرمال (NN) و بیش از نرمال (AN)

صحت کلی پیش‌بینی ماهانه با لحاظ تمامی ماه‌های سال به تفکیک شمال، مرکز و جنوب حوضه در شکل ۷ نشان داده شده است. در ماه‌های کم بارش، وقوع بارش هرچند اندک می‌تواند صحت پیش‌بینی

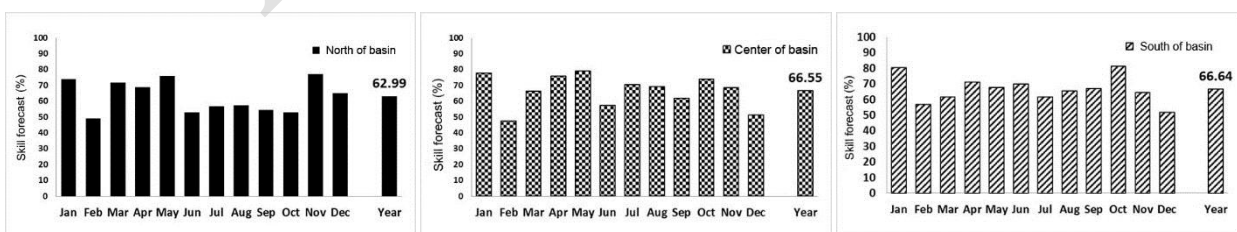


Fig. 7- Accuracy of monthly precipitation forecast in north (left), central (centre) and south (reight) of basin (i.e. 63%, 66.7% and 66.6%, respectively)

شکل ۷- صحت پیش‌بینی ماهانه بارش در مناطق شمالی (چپ) حدود ۶۳٪، مرکزی (وسط) حدود ۶۶/۵٪ و جنوبی (راست) حوضه حدود ۶۶/۶٪ محاسبه شد.

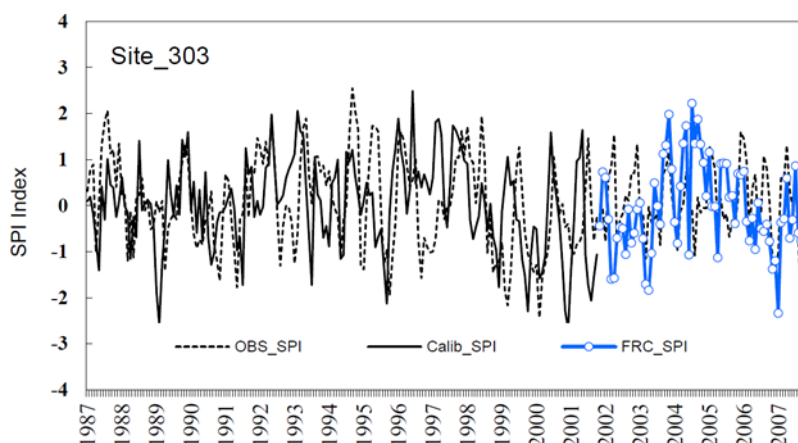


Fig. 8- SPI drought index for forecast (blue), observation (dashed) and calibration (black) in KB303 site
 شکل ۸- نمایه خشکسالی SPI برای داده‌های پیش‌بینی (آبی)، دیدبانی (سیاه خط چین) و دوره واسنجی (سیاه ممتد) برای سلول
 نمونه KB303

نظر محاسبه شد که نتایج در جدول ۶ آورده شده است. محاسبات مشابهی نیز بر روی تمامی سلول‌های حوضه انجام گردید.

همان‌طور که مشاهده می‌شود صحت پیش‌بینی صحیح نمایه خشکسالی SPI پس از پس‌پردازش در دوره ۲۰۰۲-۲۰۰۷ برای شبکه KB303 ۷۰/۸٪ می‌باشد، اما در صورتی که خطاهای با یک طبقه اختلاف پیش‌بینی هم در زمره پیش‌بینی‌های صحیح در نظر گرفته شود، در آن صورت به صحت پیش‌بینی‌ها ۲۰/۸٪ افزوده شده و به ۹۱/۶٪ می‌رسد. پس از انجام محاسبات فوق برای تمام سلول‌های حوضه آبریز جنوب غرب کشور، پهنه‌بندی صحت پیش‌بینی خشکسالی منطقه در مقایسه با داده‌های دیدبانی تهیه شد که نتایج آن در شکل ۹ نشان داده شده است.

به عنوان مثال در سلول KB303 تعداد رخداد‌های خشکسالی دیدبانی شده بسیار خشک، ۵ مورد می‌باشد که مدل مورد استفاده در این تحقیق توانسته است ۲ مورد آن را دقیقاً در طبقه بسیار خشک پیش‌بینی کند ولی ۳ مورد آن را نرمال پیش‌بینی کرده است. همچنین، مدل توانسته است ۴۵ مورد از مجموع ۵۶ مورد SPI‌های واقع در طبقه نرمال را به درستی پیش‌بینی کند. جزئیات پیش‌بینی سایر طبقات در جدول ۵ مشاهده می‌شود.

با استفاده از فراوانی‌های دیدبانی - پیش‌بینی موجود در جدول ۵، درصد پیش‌بینی صحیح، با خطای قابل قبول \pm صفر طبقه و \pm یک تا چهار طبقه (در داخل جدول $In \pm 1$ cat تا $In \pm 4$ cat) برای سلول مورد

Table 5- Frequency of observed and predicted SPI index during 2002-2007 for KB303 site
 جدول ۵- نتایج فراوانی طبقات نمایه SPI دیدبانی و پیش‌بینی در دوره (۲۰۰۲-۲۰۰۷) برای شبکه KB303

Category	Prediction					Total
	1	2	3	4	5	
Observation	1	2	0	3	0	5
	2	0	2	5	0	7
	3	1	3	45	5	56
	4	0	0	2	1	3
	5	0	0	0	0	1
Total	0	3	5	55	6	72

Table 6- Frequency and percentage of observed and predicted SPI categories during 2002-2007 in KB303 site
 جدول ۶- نتایج فراوانی و درصد طبقات نمایه SPI دیدبانی و پیش‌بینی در دوره پیش‌بینی (۲۰۰۲-۲۰۰۷) برای شبکه KB303

	correct f/c	$In \pm 1$ cat	$In \pm 2$ cat	$In \pm 3$ cat	$In \pm 4$ cat
Frequency	51	15	6	0	0
%	70.83	20.83	8.33	0	0

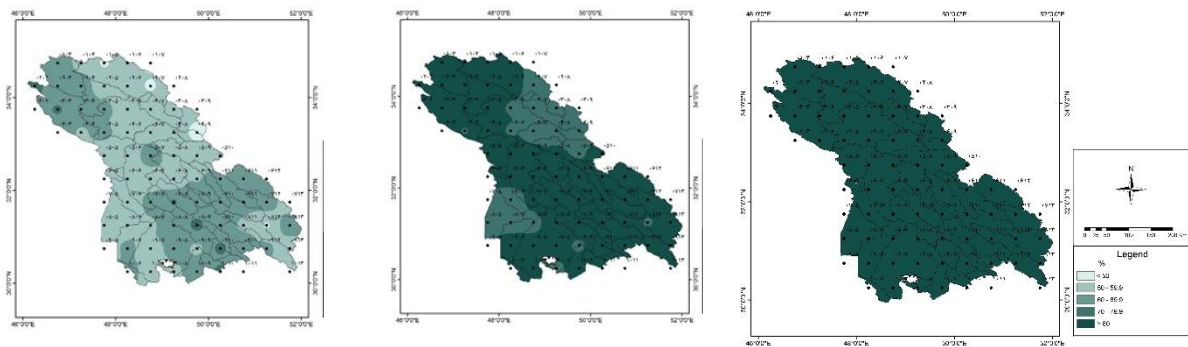


Fig. 9- Accuracy of SPI prediction after postprocessing for the period of 2001-2007 with error range of \pm zero (left), one (center), and two (right) category

شکل ۹- پهنه‌بندی صحت پیش‌بینی نمایه خشکسالی SPI پس از پس‌پردازش به روش DMB برای دوره (۲۰۰۷-۲۰۰۱) با دامنه خطای \pm صفر طبقه (چپ)، یک طبقه (وسط) و دو طبقه (راست)

در صورت مقایسه نمایه‌های خشکسالی در هر یک از ۵ طبقه (طبق تعریف جدول ۳) مشاهداتی و پیش‌بینی، می‌توان نتیجه گرفت که از ۵۴۰۰ پیش‌بینی انجام شده، ۳۲۵۴ مورد صحیح است، به عبارت دیگر در تمام منطقه دقت کلی پیش‌بینی ۶۰٪ است اما اگر تعریف در نظر گرفته شده در جدول ۳ اصلاح شده و طبقات پیش‌بینی از ۵ به ۳ طبقه (شامل خشک، نرمال و تر) تغییر یابند که مطابق با دستورالعمل استاندارد سازمان جهانی هواشناسی برای راستی‌آزمایی پیش‌بینی‌های فصلی می‌باشد، در آن صورت صحت پیش‌بینی‌ها به حدود ۸۲٪ افزایش می‌یابد. در صورتی که صحت‌سنجی با لحاظ ۵ طبقه خشکسالی ولی با خطای \pm یک طبقه محاسبه شود، صحت پیش‌بینی نمایه خشکسالی حدود ۸۴٪ خواهد بود. جدول ۸ محاسبات فوق را به همراه مقادیر عددی پیش‌بینی نمایه خشکسالی با دامنه خطای حداکثر صفر، ۱ و ۲ طبقه نشان می‌دهد. هنگامی که دامنه خطا حداکثر صفر طبقه \pm در نظر گرفته می‌شود، پیش‌بینی‌های نمایه خشکسالی به صورت یک به یک با طبقه متناظر در دیدبانی مقایسه می‌شود اما وقتی دامنه خطا \pm یک طبقه در نظر گرفته می‌شود، به اندازه یک طبقه مجاز به خطا در پیش‌بینی نمایه خشکسالی هستیم.

صحت پیش‌بینی‌ها در مناطق شمال غرب و جنوب حوضه حدود ۷۰٪ است، اما در سایر مناطق حدود ۶۰٪ محاسبه شد. شکل‌های ۱۰ و ۱۱ به ترتیب پهنه‌بندی پیش‌بینی خشکسالی با خطای قابل قبول \pm یک طبقه و \pm دو طبقه را نشان می‌دهند. همانطور که مشاهده می‌شود در شکل ۱۰ صحت پیش‌بینی‌ها با خطای \pm یک طبقه در اکثر مناطق بیش از ۸۰٪ و در مناطق جنوب غرب و شمال شرق حوضه بیش از ۷۰٪ و کمتر از ۸۰٪ است. صحت پیش‌بینی‌ها با خطای \pm دو طبقه در تمام حوضه بیشتر از ۸۰٪ می‌باشد.

مطابق جدول ۳ درجات خشکسالی حوزه در محدوده خشک تا ترسالی طبقه‌بندی می‌شود. از آنجا که توانایی مدل پیش‌بینی فصلی برای هر یک از طبقات خشکسالی متفاوت است، لذا نمایه SPI مشاهداتی با نمایه SPI پیش‌بینی پس‌پردازش شده در طبقه مشابه مقایسه گردید و صحت پیش‌بینی‌های خشکسالی به تفکیک درجات (طبقات) مختلف مورد بررسی قرار گرفت. در جدول ۷، وضعیت خشکسالی دیدبانی و پیش‌بینی شده برای دوره واسنجی (۱۹۸۷-۲۰۰۶) و پیش‌بینی (۲۰۰۲-۲۰۰۷) نشان داده شده است.

Table 7- Frequency of observed and predicted SPI during validation period of 1987-2006
جدول ۷- فراوانی نمایه خشکسالی SPI دیدبانی و پیش‌بینی شده در دوره اعتبارسنجی مدل (۱۹۸۷-۲۰۰۶) برای حوضه آبریز جنوب غرب کشور

Category	Prediction					Total	
	1	2	3	4	5		
Observation	1	13	23	65	4	0	105
	2	29	64	209	6	4	312
	3	316	412	3098	342	245	4414
	4	10	14	221	40	52	337
	5	6	10	137	40	39	232

Table 8- SPI frequency and accuracy (%) during prediction period of 2002-2007

جدول ۸- فراوانی و درصد صحت پیش‌بینی نمایه SPI پیش‌بینی در دوره پیش‌بینی (۲۰۰۷-۲۰۰۲) برای کل حوضه آبریز جنوب غرب کشور

	correct f/c	In \pm 1 cat	In \pm 2 cat	In \pm 3 cat	In \pm 4 cat
Frequency	3254	1329	783	28	6
%	60.26	24.61	14.5	0.52	0.11
Accumulated (%)	60.26	84.8	99.1	99.62	99.73

۴- جمع‌بندی

پیش‌بینی خشکسالی یکی از چالش‌های مهم در حوزه آب، کشاورزی و مدیریت مخاطرات اقلیمی می‌باشد. سازمان هواشناسی کشور برای پیش‌بینی‌های کمتر از دو هفته از مدل‌های دینامیکی پیش‌بینی عددی وضع هوا استفاده می‌کند، اما به دلیل عدم وجود مدل عملیاتی گردش کلی در کشور، برای پیش‌بینی متغیرهای هواشناسی در مقیاس ماهانه، از برون‌داد مدل‌های گردش کلی اجرا شده توسط مراکز بین‌المللی استفاده می‌شود. دو مرکز ECMWF (مدل پیش‌بینی GloSea 4) و NCEP (مدل CFSv.2) از مراکز شاخص پیش‌بینی ماهانه هستند که از این بین داده‌های مدل CFSv.2 در دسترس می‌باشند. در این مطالعه طی دو مرحله ابتدا داده‌های خام پیش‌بینی ماهانه مدل یاد شده براساس رفتار بارش حوضه جنوب غرب کشور تصحیح گردید و در مرحله بعد از داده‌های پیش‌بینی تصحیح شده بارش برای پیش‌بینی نمایه خشکسالی برای سه ماه آینده استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد صحت پیش‌بینی‌های بارش در مناطق شمال غرب و جنوب حوضه به طور میانگین حدود ۷۰٪ است، اما در مناطق مرکزی و شمال شرق حدود ۶۵٪ می‌باشد. در صورتی که دامنه مجاز خطای پیش‌بینی‌ها \pm یک طبقه در نظر گرفته شود، صحت پیش‌بینی‌ها بیش از ۸۰٪ خواهد بود.

به عنوان مثال اگر وضعیت واقعی خشکسالی در شرایط «خیلی خشک» باشد، پیش‌بینی‌های «خشک» و «خیلی خشک» هر دو به عنوان پیش‌بینی صحیح در نظر گرفته می‌شوند.

براساس نتایج جدول ۸، هنگامی که در حوضه شرایط خشکسالی حاکم باشد مدل ۴۲/۳٪ خشکسالی‌ها را به درستی پیش‌بینی می‌کند و مابقی حالات را به نادرست نرمال (۳۹/۵٪ موارد) و ترسالی (۱۸/۲٪ موارد) پیش‌بینی می‌کند. هنگامی که حوضه از نظر نمایه خشکسالی SPI در شرایط نرمال باشد، مدل با دقت ۸۱/۵٪ می‌تواند آنرا پیش‌بینی کند که در این حالت ۸/۳٪ پیش‌بینی‌های نادرست در طبقه خشک و ۱۰/۲٪ پیش‌بینی‌های نادرست در طبقه تر قرار می‌گیرد. همچنین، هنگامی که شرایط واقعی حوضه در وضعیت تر باشد، درصد پیش‌بینی صحیح ۶۲/۳ بوده که به ترتیب ۳۵/۵ و ۲/۲ درصد پیش‌بینی‌ها نادرست به ترتیب نرمال و خشک پیش‌بینی شده‌است (شکل ۱۰). هنگامی که حوضه در شرایط خشکسالی قرار دارد، اغلب مقدار بارش رخ داده با مقدار خطای مدل برابری می‌کند، و اندک تفاوتی در پیش‌بینی بارش موجب خطای زیاد در پیش‌بینی بارش و به تبع آن پیش‌بینی شاخص خشکسالی می‌گردد.

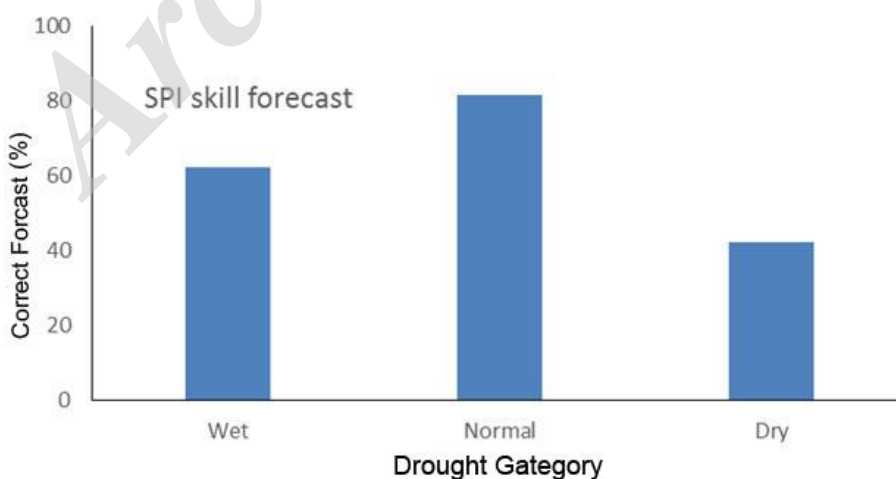


Fig. 10- Accuracy (%) of SPI forecast for wet, normal and dry conditions

شکل ۱۰- صحت پیش‌بینی‌های نمایه خشکسالی SPI در هر یک از شرایط مشاهداتی تر، نرمال و خشک

- outputs. *Geophysics of Iran* 10(2):110-119 (In Persian)
- Azadi M, Jafari S, Mirzaei E, Arabli P (2008) Post processing of the output of MM5 meso-scale model for minimum and maximum temperature using Kalman filter. *Physics of Earth and Space* 34(1):45-61 (In Persian)
- Babaeian I, Rezazadeh P (2017) On the relationship between Indian monsoon withdrawal and Iran's fall precipitation onset. *Theoretical and Applied Climatology*, <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2260-0>
- Babaeian I, Karimian M, Modirian R, Bayatani F, Fahiminejad E (2016) Performance of statistical post processing techniques in improvement of monthly precipitation forecast of MRI-CGCM3 model over Khorasan-Razavi Province. *Iran-Water Resource Research* 12(2):83-92 (In Persian)
- Bordi IS, Frigio P, Parenti A, Speranze A (2001) The analysis of standardized precipitation index in the Mediterranean area (part I). <http://www.phys.uniroma1.it/index.html>
- Bronini O, Pinto HS, Zu J, Barbano MT, Camargo MB, Alfonsi RR, Blain GC, Pedro Jr, Pellegrino GQ (2001) Drought quantification and preparedness in Brazil- the example of Sao Paulo State, Local Government, Community and business, Working Group Draft Report, June 15
- Farajzade M (2000) Drought in Iran by using some statistical indices. *Journal of Agriculture Science* 5(1):17-30 (In Persian)
- Farajzade M, Movaheddanesh A, Ghaemi H (1995) Drought in Iran. *Journal of Agriculture Science* 5(1):45-59 (In Persian)
- Guttman NB (1998) Comparing the Palmer drought index and the standardized precipitation index, *J. of Am. Water Resources Association* 34:113-121
- Hayes MJ, Svoboda MD, Wilhite DA and Vanyarkho OV (1999) Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of the American Meteorological Society* 80(3):429-437
- Hwang Y and Carbone GJ (200) Ensemble forecasts of drought indices using a conditional residual resampling technique. *Applied Meteorology and Climatology* 48(6):1289-1301
- Labedzky L (2017) Categorical Forecast of precipitation anomaly using the standardized precipitation index SPI. *Journal of Water* 9(8):8, 1-14
- Landman WA, Dewitt D, Lee D, Beraki A, Lotter D (2012) Seasonal rainfall prediction skill over South
- بیشترین کارایی پیش‌بینی خشکسالی درحالتی است که شرایط واقعی حوضه در وضعیت نرمال باشد، به عبارتی کارایی مدل در پیش‌بینی وضعیت نرمال ۸۱/۵٪ است، اما اگر حوضه در وضعیت ترسالی یا خشکسالی باشد صحت پیش‌بینی‌ها به ترتیب ۶۲/۳ و ۴۲/۳ درصد می‌باشد. این درحالی است که فراوانی کل رخدادهای مشاهداتی نرمال، ترسالی و خشکسالی به ترتیب ۷۶/۴، ۱۲/۵ و ۸ درصد کل حالات است. بر این اساس و با در نظر گرفتن فراوانی هر یک رخدادها، صحت کلی پیش‌بینی نمایه خشکسالی SPI به ۷۳/۴٪ می‌رسد. ممکن است یکی از دلایلی که موجب شده است کارایی مدل در پیش‌بینی نمایه خشکسالی SPI بیش از کارایی آن در پیش‌بینی بارش باشد این است که نمایه خشکسالی به جای ارتباط مستقیم با مقدار بارش مطلق پیش‌بینی شده به افت و خیز آن وابسته است، لذا مدلی که بتواند افت خیز بارش را به خوبی پیش‌بینی نماید کارایی بالاتری در پیش‌بینی نمایه خشکسالی دارد تا پیش‌بینی مقدار مطلق بارش.

۵- تشکر

این مقاله مستخرج از پروژه «پیش‌بینی سه ماهه خشکسالی برای حوضه‌های آبریز جنوب غرب کشور با استفاده از پس‌پردازش برون‌داد مدل‌های دینامیکی پیش‌بینی فصلی» می‌باشد که طی قرارداد شماره ۹۳-۰۲-۰۲-۰۱۵ با حمایت مالی سازمان آب و برق خوزستان اجرا شده است، بدینوسیله نویسندگان مقاله مراتب سپاس خود را از شرکت مذکور اعلام می‌دارند.

پی‌نوشت‌ها

- 1- Climate Forecast System Version 2 (CFSv2)
- 2- North American Multi Model Ensemble (NMME) Forecast
- 3- Reforecast
- 4- Sub-Seasonal
- 5- Madden Julian Oscillation (MJO)
- 6- Resolution
- 7- Degree of Mass Balance (DMB)
- 8- Hit Rate (HR)
- 9- False Alarm Rate (FAR)

۶- مراجع

- Ashrafi KH, Azadi M, Sabetghadam S (2011) Effects of various digital filter initialization methods on results of weather research and forecasting (WRF) model. *Geophysics of Iran* 5(1):16-33 (In Persian)
- Azadi M, Sufiani M, Vakili Gh, Ghaemi H (2016) Case study the effect of data assimilation of surface and upper air weather stations of Iran in the WRF

- Saha S, Moorthi S, Wu X, Wang J, Nadiga S, Tripp P, Behringer D, Hou Y, Chuang H, Iredell M, Ek M, Meng J, Yang R, Mendez MP, Dool H, Zhang Q, Wang W, Chen M, Becker E (2014) The NCEP climate forecast system version 2. *Climate* 27:2185-2208
- Saha S, Nadiga S, Thiaw C, Wang J, Wang W, Zhang Q, Dool HM, Pan HL, Moorthi S, Behringer D, Stokes D, Peña M, Lord S, White G, Ebisuzaki W, Peng P, Xie P (2006) The NCEP climate forecast system. *Climate* 19:3483–3517
- Sooraj KP, Annamalai H, Kumar A, Wang H (2012) A comprehensive assessment of CFS seasonal forecasts over the tropics. *Weather and Forecasting* 27:3-27
- Steinemann AC (2006) Using climate forecast for drought management. *Applied Meteorology and Climatology* 45(10):1353-1361
- Wilhite DA (2000) Drought, vol. I: A global assessment. University of Nebraska-Lincoln, Routledge Publishers
- Yoon JH, Mo K, Wood EF (2012) Dynamic-model-based seasonal prediction of meteorological drought over the contiguous United States. *Hydrometeorology* 13(4):463-482
- Yuan X, Wood EF, Chaney NW, Sheffield J, Kam J, Liang M, Guan K (2013) Probabilistic seasonal forecasting of African drought by dynamical models. *Hydrometeorology*. 14(12):1706-1720
- Africa: One- versus two-tiered forecasting systems. *Weather and forecasting* 20:5715–5731
- Maca P, Pech P (2016) Forecasting SPEI and SPI drought indices using the integrated artificial neural networks. *Computational Intelligence and Neuroscience* 2016(2):2, 1-17
- Madadgar S and Moradkhani H (2013) A Bayesian framework for probabilistic seasonal drought forecasting. *Hydrometeorology* 14(12):1685-1701
- McKee TB, Doesken NJ and Kleist J (1997) The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA. PP. 379-384
- Mo KC and Lyon B (2015) Global meteorological drought prediction using the North American multi-model ensemble. *Hydrometeorology* 16(1):1409-1424
- Mo KC, Long LN, Xia Y, Yang SK, Schemm JE, Ek M (2011) Drought indices based on the climate forecast system reanalysis and ensemble NLDAS. *Hydrometeorology* 12(4):181-205
- Nazemossadat MJ and Ghasemi AR (2003) Cold season precipitation in Central and South West of Iran and its relationship to ENSO. *Soil and Water Science* 7(3):1-13 (In Persian)
- Nicolas R, Dalezios A, Loukas L, Vasilisdes (2001) Severity-duration-frequency analysis of droughts and wet periods in Greece. *J. of Hydrological Science* 45(5):751-768