

پیش‌بینی و بررسی روند خشکسالی با استفاده از سری زمانی SARIMA و شاخص SPI در استان اصفهان

حمید قربانی^{۱*}، عباسعلی ولی^۲ و هادی زارع‌پور^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۴)

چکیده

خشکسالی به‌عنوان یکی از مخاطرات طبیعی ممکن است طی سال‌های متمادی به‌آهستگی یک منطقه را تحت تأثیر قرار دهد و اثرات مخربی روی محیط طبیعی و زندگی انسان‌ها داشته باشد. هر چند پیش‌بینی وقوع خشکسالی نقش مهمی در مدیریت منابع آب دارد ولی به‌دلیل ماهیت تصادفی عوامل مؤثر بر وقوع و شدت خشکسالی، در تعیین زمان شروع و خاتمه آن دچار مشکل هستیم. هدف از این پژوهش ارزیابی قابلیت مدل‌های خطی تصادفی SARIMA برای پیش‌بینی خشکسالی در استان اصفهان با استفاده از شاخص SPI است. به این منظور، بهترین مدل SARIMA برای توصیف داده‌های بارش مربوط به ۱۰ ایستگاه همدیدی استان اصفهان با طول دوره آماری (۲۰۱۷-۱۹۹۰)، انتخاب و بر اساس آن میزان بارش برای دوره پنج‌ساله پیش‌بینی و سپس شدت خشکسالی برای این دوره با استفاده از شاخص خشکسالی SPI در مقیاس زمانی سالیانه محاسبه شد. نتایج ارزیابی شدت خشکسالی ایستگاه‌ها بر اساس شاخص SPI برای دوره (۲۰۲۲-۲۰۱۸) بیانگر وقوع خشکسالی ضعیف طی دوره (۲۰۲۲-۲۰۱۹) برای ایستگاه‌های اصفهان، کاشان و نائین و طی سال ۲۰۱۹ برای ایستگاه‌های شرق اصفهان، شهرضا و کبوترآباد است و همچنین وقوع خشکسالی شدید طی سال ۲۰۱۹ برای ایستگاه‌های اردستان و گلپایگان است. برای سایر ایستگاه به غیر از ایستگاه اصفهان، کاشان، گلپایگان و نائین وقوع خشکسالی شدید در سال ۲۰۱۸ اتفاق افتاده است.

واژه‌های کلیدی: استان اصفهان، خشکسالی، سری‌های زمانی، شاخص SPI، مدل SARIMA

۱. گروه آمار، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

۲. گروه بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

*: مسئول مکاتبات: hamidghorbani@kashanu.ac.ir

مقدمه

توجه به روند حوادث رخ داده خشکسالی و نشانه‌هایی از شروع و خاتمه آن در طول دوره‌های قبل، می‌توان وقایع آبی خشکسالی را پیش‌بینی کرد (۲).

در پیش‌بینی خشکسالی، از اطلاعات و داده‌های گذشته استفاده می‌شود، از آنجا که داده‌های هیدرولوژیکی به ترتیب زمان رخداد ثبت می‌شوند، سری زمانی حاصل را می‌توان با استفاده از روش‌های مختلف، ابتدا مدل‌سازی و با استفاده از مدل برازش شده، احتمال وقوع خشکسالی را پیش‌بینی کرد (۱۸).

روش‌های مدل‌سازی سری‌های زمانی، روش‌های تجربی هستند که برای پیش‌بینی رفتار نامعلوم سیستم‌های هیدرولوژیکی که برحسب زمان مرتب و ثبت شده‌اند به کار می‌روند. مدل‌های سری زمانی علاوه بر قابلیت پیش‌بینی، اطلاعات مهمی را در رابطه با تغییرات وابسته به زمان نشان می‌دهند. از جمله ویژگی‌های دیگر این مدل‌ها، یک الگوریتم منظم جستجو (شامل: تشخیص الگو، تخمین پارامترها و بررسی درستی الگو) است که برای انتخاب یک مدل مناسب ارائه می‌دهند (۳۴).

از آنجا که پیش‌بینی بر اساس تحلیل سری‌های زمانی با کاربرد مفهوم مدل‌ها در منابع زیادی برای پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت استفاده می‌شوند، این به دلیل همبستگی پیاپی (Serial Correlation) بین مشاهدات موجود در سری‌های زمانی است که این ویژگی بارز از ویژگی‌های اصلی سری‌های زمانی خودهمبسته میانگین متحرک تلفیق شده فصلی (SARIMA) است (۱۸ و ۴۳).

با توجه به اینکه یکی از مهم‌ترین روش‌های استنباط، نتایج تحلیل سری‌های زمانی SARIMA برای شناسایی رفتار پدیده در گذشته در پیش‌بینی خشکسالی است (۳۳) به این منظور باید شدت خشکسالی را از حالت کیفی به حالت کمی و عددی تبدیل کرد که باید برای آن، شاخص‌هایی تعریف و ارائه شود (۳). شاخص‌های مختلفی برای تشخیص و پایش خشکسالی پیشنهاد شده (۱۳) که یکی از پرکاربردترین آنها شاخص بارش استاندارد (Standardized Precipitation Index, SPI)

خشکسالی (Drought) از جمله بلایای اقلیمی بی‌سروصدای طبیعت است که می‌تواند اثرات مخرب و زیانباری در زمینه‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به جای گذارد. آثار خشکسالی در صورت عدم اجرای راهکارهای مناسب تا سال‌ها پس از آن در منطقه وقوع باقی می‌ماند (۱۶). خشکسالی پدیده‌ای است که به آرامی رخ می‌دهد و باعث بروز تغییرات مهمی در منابع آب، کشاورزی و غیره می‌شود و اثر مختلفی بر منابع و بخش‌های مختلف، از جمله بر کشاورزی و منابع طبیعی، به ویژه منابع آب می‌گذارد (۳۹).

به دلیل تفاوت در متغیرهای هیدرومتئورولوژیکی و اثرات اقتصادی- اجتماعی و نیز تغییرپذیری تقاضای آب در نقاط مختلف جهان، تعریف دقیق و جامع واحدی از خشکسالی، دشوار است (۲۹ و ۳۱) ولی نحوه مدیریت این پدیده در هنگام وقوع آن در یک منطقه به گونه‌ای باید صورت پذیرد که اثرات اقتصادی، اجتماعی و سیاسی حاصل از آن به کمترین میزان برسد (۳۹).

هر چند واکنش هنگام مواجهه با پدیده خشکسالی عمدتاً سنتی بوده و تا حد زیادی به مدیریت بحران توجه می‌شده است، اما امروزه بیشتر دولت‌ها، به بی‌اعتبار شدن مدیریت بحران پی برده‌اند. در واقع مدیریت بحران منجر به واکنش‌های عجولانه می‌شود که باعث افزایش میزان آسیب‌پذیری در مقابل خشکسالی و صرف هزینه‌های زیادی برای جبران خسارات‌های ناشی از خشکسالی می‌شود. بنابراین دولت‌ها، سیاست مدیریت ریسک را در قالب مجموعه اقداماتی قبل از وقوع خشکسالی در نظر گرفته‌اند تا غافلگیری، هنگام وقوع سیل را به کمترین حد برسانند (۴).

هر چند پیش‌بینی وقوع پدیده خشکسالی، یکی از راهکارهای مؤثر و مهم در امر مدیریت ریسک است ولی مطالعات مختلف نشان داده که خشکسالی اقلیمی و کشاورزی، نتیجه یک عامل منفرد و مشخصی نیست که بتوان آن را از قبل و به‌طور دقیق پیش‌بینی کرد، با وجود این، در مقیاس زمانی ماهانه یا فصلی، با

پیش‌بینی احتمال تکامل و شروع دوره خشکی استفاده کرد که در این زمینه می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره کرد.

میشرا و دسای (۲۵) در حوضه رودخانه کانسباتی هندوستان، مطالعه‌ای برای پیش‌بینی خشکسالی هواشناسی بر اساس شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی متفاوت با استفاده از مدل‌سازی سری زمانی SARIMA انجام داده‌اند. تحقیق مشابهی توسط دوردا (۱۱) برای پیش‌بینی خشکسالی در کشور ترکیه نیز انجام شده است. شریفان و قهرمان (۳۸)، طی یک مدل‌سازی که برای چهار ایستگاه‌های فاضل آباد، گرگان، مراوه تپه و ترشکلی در استان گلستان انجام دادند به این نتیجه رسیدند که برای پیش‌بینی بارندگی ماهانه استان گلستان SARIMA مدل مناسبی است. معروفی و همکاران (۲۶)، با استفاده از سری زمانی SARIMA و شاخص SPI، در ناحیه مرکزی استان همدان به پیش‌بینی پنج‌ساله وقوع خشکسالی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل SARIMA برای پیش‌بینی بارندگی ماهانه مدل مناسبی بوده و شاخص SPI وقوع خشکسالی ضعیف در همه ایستگاه‌ها مورد مطالعه طی سال‌های (۱۳۹۵-۱۳۹۱) نتیجه‌گیری شده است. بایزیدی و همکاران (۹)، با استفاده از سری زمانی ARIMA و شاخص SPI، در حوضه آبریز سلماس به این نتیجه رسیدند که خشکسالی در سال‌های آماری (۱۳۸۷-۱۳۵۷) تنها در ایستگاه نظرآباد روند افزایشی داشته است. بذرافشان و همکاران (۶)، به‌منظور ارزیابی مدل‌های سری زمانی ARIMA و SARIMA در پیش‌بینی کمی شاخص رواناب استاندارد (SRI) در حوضه کرخه، به این نتیجه رسیدند که کاربرد مدل سری زمانی ARIMA با مقیاس زمانی ماهانه نسبت به SARIMA با مقیاس زمانی فصلی ارجحیت و دقت بیشتری دارد.

هان و همکاران (۱۷) در گوریانزونگ کشور چین، پیش‌بینی خشکسالی را با استفاده از مدل‌های ARIMA فصلی انجام دادند. این پژوهشگران اعلام کردند که این مدل‌ها به‌خوبی می‌توانند در پیش‌بینی خشکسالی استفاده شوند. فلاح قاهری و

است که توسط مک‌کی و همکاران (۳۲) معرفی شده است. این شاخص تنها بر اساس داده‌های بارش بوده که از مزایای آن امکان محاسبه خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف است (۷). همچنین می‌توان با استفاده از این شاخص به بررسی تغییرات شدت، مدت و دوره خشکسالی در منطقه مطالعاتی پرداخت (۱۶).

خلیلی و بذرافشان (۲۳)، با استفاده از سری زمانی و شاخص SPI، بازگشت تداوم خشکسالی را ارزیابی و به این نتیجه رسیدند که شاخص SPI در شناخت تداوم خشکسالی مناسب است. خداقلی و همکاران (۲۱)، به‌منظور تحلیل خشکسالی و روند آن در استان اصفهان با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال، مدل سری زمانی ARIMA و شاخص SPI به پیش‌بینی پنج‌ساله وقوع خشکسالی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بیشتر نقاط استان اصفهان در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ با خشکسالی شدیدی روبه‌رو بوده است.

قاسمی‌نژاد و همکاران (۱۵)، به ارزیابی ریسک خشکسالی در استان اصفهان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که قسمت‌های شمالی استان در ریسک بالای خشکسالی قرار دارند. همچنین در پژوهشی مشابه سلطانی و سعادت (۴۲)، به این نتیجه رسیدند که خشکسالی‌های متوسط و شدید به‌طور عمده در قسمت‌های غربی استان و خشکسالی بسیار شدید در بخش‌های شرق و شمال شرق استان و غرب شهرستان اصفهان مشاهده می‌شود. خوشحال دستجردی و حسینی (۲۴)، با استفاده از شبکه عصبی، خشکسالی استان اصفهان را پیش‌بینی و نشان داد که شبکه عصبی با دقت بالایی سیکل خشکسالی استان را پیش‌بینی می‌کند.

پیش‌بینی بر اساس تحلیل سری‌های زمانی با کاربرد مفهوم مدل SARIMA در منابع زیادی برای پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت استفاده شده است (۱۹ و ۲۹). اغلب شاخص‌هایی که توسط پژوهشگران ارائه شده است، برای پایش شرایط جاری خشکسالی‌ها به‌کار رفته‌اند، اما برخی از آنها را می‌توان برای

جدول ۱. ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان اصفهان

ایستگاه‌های استان	طول جغرافیایی (درجه- دقیقه)	عرض جغرافیایی (درجه- دقیقه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	سال شروع آماربرداری بارش
اردستان	۲۳ ۵۲	۲۳ ۳۳	۱۲۵۲/۴	۱۹۹۲
اصفهان	۴۰ ۵۱	۳۷ ۳۲	۱۵۵۰/۴	۱۹۵۱
خور و بیابانک	۰۵ ۵۵	۴۷ ۳۳	۸۴۵	۱۹۸۶
شرق اصفهان	۵۲ ۵۱	۴۰ ۳۲	۱۵۴۳	۱۹۷۶
شهرضا	۵۰ ۵۱	۵۹ ۳۱	۱۸۴۵/۲	۱۹۹۳
کاشان	۲۷ ۵۱	۵۹ ۳۳	۹۸۲/۳	۱۹۶۶
کیوتراآباد	۵۱ ۵۱	۳۱ ۳۲	۱۵۴۵	۱۹۸۷
گلپایگان	۱۷ ۵۲	۲۸ ۳۳	۱۸۷۰	۱۹۹۲
نائین	۰۵ ۵۳	۵۱ ۳۲	۱۵۴۹	۱۹۹۲
نطنز	۵۴ ۵۱	۳۲ ۳۳	۱۶۸۴/۲	۱۹۹۲

۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی قرار دارد که مساحت آن حدود ۱۰۷۱۴۵ کیلومتر مربع است و میانگین بارندگی برابر ۱۳۰ میلی‌متر در سال است. این مقدار بارندگی کمتر از نصف میانگین بارندگی کشور و یک‌ششم میانگین جهانی است و میزان تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه، ۳۲۰۰ میلی‌متر در سال و ارتفاع متوسط منطقه، ۱۵۵۰ متر از سطح دریا است (۲۸).

طبقه‌بندی اقلیمی ایستگاه‌های استان، به روش دومارتن (۱۰) نشان داد که ایستگاه‌ها به سه اقلیم عمده نیمه‌خشک گرم، خشک و بیابانی قابل تقسیم هستند (۴۱).

در این مطالعه آمار بارش ماهانه از ۱۰ ایستگاه همدیدی واقع در استان اصفهان که دارای آمار کافی در طول دوره آماری (۲۰۱۷-۱۹۹۰) بوده‌اند از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد که موقعیت جغرافیایی و سایر ویژگی‌های ایستگاه‌های مطالعاتی در جدول (۱) ارائه شده است (۲۸). پراکندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است.

شاخص بارش استاندارد (SPI)

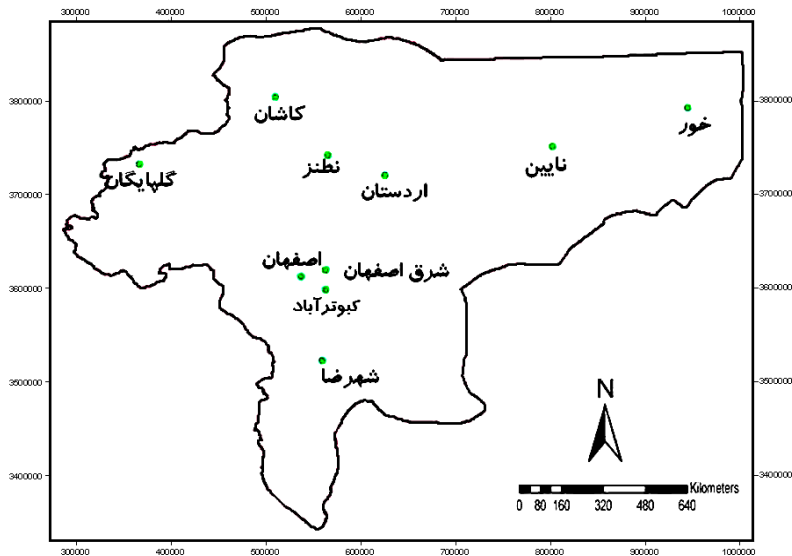
در این مطالعه برای محاسبه شاخص SPI از مقیاس زمانی سالیانه استفاده شد. به این منظور توزیع گاما (Gamma distribution)

همکاران (۱۴) در جنوب استان کرمان با استفاده از داده‌های سه ایستگاه جیرفت، کهنوج و منوجان داده‌های بارش فصول سرد را با استفاده مدل SARIMA بررسی و به این نتیجه رسیدند که این مدل دقت قابل قبولی برای پیش‌بینی بارش دارد. در پژوهشی مشابه معصوم‌پور سماکوش و همکاران (۲۷) به این نتیجه رسیدند که مدل SARIMA کفایت مناسبی برای برآزش داده‌های بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح ایران را دارد. استان اصفهان یکی از استان‌های خشک و نیمه‌خشک داخلی ایران است که با بحران آب مواجه شده است. هدف از این مطالعه پیش‌بینی و بررسی روند خشکسالی در پنج سال آتی (۲۰۲۲-۲۰۱۸) در استان است، با امید به اینکه نتایج پژوهش حاضر برای مدیریت بحران آب در استان اصفهان مفید باشد. این پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از مدل سری زمانی SARIMA و آمار بارش کلیه ایستگاه‌های همدیدی (Synoptic) در مقیاس زمانی ماهانه تحلیل شده است تا بتوان یک تحلیل جامع از پدیده خشکسالی ارائه داد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان اصفهان در مختصات جغرافیایی ۳۰ درجه و ۴۳ دقیقه تا



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های همدیدی در استان اصفهان

فوق تابع توزیع تجمعی گاما برای ماه و توزیع مورد نظر (در این مطالعه سالیانه) به صورت رابطه (۶) تعریف می‌شود:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})\hat{\beta}^{\hat{\alpha}}} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-\frac{x}{\hat{\beta}}} dx \quad (6)$$

که در این رابطه پارامتر $g(x)$ ، تابع احتمال تجمعی است. چنانچه $t = \frac{x}{\beta}$ باشد، رابطه (۷) همان تابع گامای ناقص خواهد شد:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt \quad (7)$$

در رابطه بالا t ، مدت زمان بارش است. از آنجایی که تابع گاما برای $x=0$ (بارندگی صفر میلی‌متر) تعریف نشده است و توزیع بارندگی ممکن است دارای مقادیر صفر باشد، تابع احتمال تجمعی بارش از رابطه (۸) به دست می‌آید:

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad (8)$$

که در این رابطه q ، احتمال صفر بودن مقدار بارندگی و $H(x)$ ، تابع تجمعی کل است سپس برای تولید مقادیر SPI تجمعی $H(x)$ به توزیع نرمال استاندارد تبدیل شده است (۳۶). زمانی که مقادیر بارندگی هر گام زمانی برای هر سال به تابع گاما برازش داده شد، تابع حاصل نشان‌دهنده احتمال تجمعی یک رویداد بارش برای آن ماه از دوره آماری است که ایجاد

بر آمار بلندمدت بارندگی ماهیانه برازش داده شد (۱۳)، تابع چگالی احتمال این توزیع در معادله (۱) آورده شده است.

$$g(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad x > 0; \alpha, \beta > 0 \quad (1)$$

که در این رابطه، X, α, β و $\Gamma(\alpha)$ به ترتیب مقدار بارش، ضریب شکل، ضریب مقیاس و تابع گاما هستند که تابع گاما از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad (2)$$

با برازش تابع توزیع گاما به سری بارش می‌توان α و β را برآورد کرد. از این‌رو، ادوارز و مک‌کی (۱۳) رابطه زیر را برای تخمین α و β ارائه دادند که:

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{\hat{\alpha}A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (3)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad (4)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i) \quad (5)$$

که در آن رابطه‌ها $\hat{\alpha}$ و $\hat{\beta}$ مقادیر تخمینی شده بارش، n تعداد طول سری بارش و \bar{x} میانگین بارندگی تجمعی برای یک ماه در طول دوره آماری است. بنابراین با توجه به معادلات

معرف بخش فصلی مدل است و به صورت رابطه (۹) تعریف می شوند:

$$\Phi_p(B^s)\phi_p(B)\nabla_s^D\nabla^dX_t = \Theta_Q(B^s)\theta_q(B)a_t, \quad (9)$$

که در آن X_t مشاهدات متوالی سری زمانی و a_t فرایند نوفه سفید (White Noise) و $B^dX_t = X_{t-d}$ و $\nabla_s^D X_t = X_t - X_{t-s}$ و $\nabla^d X_t = (1-B)^d X_t$ و $\theta_q(B)$ به ترتیب چند جمله ای های AR و MA غیرفصلی از درجه p و q بر حسب B و $\Phi_p(B^s)$ و $\Theta_Q(B^s)$ نیز به ترتیب چند جمله ای های AR و MA فصلی از درجه P و Q بر حسب B^s هستند:

$$\begin{aligned} \phi_p(B) &= 1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p \\ \theta_q(B) &= 1 + \theta_1 B + \dots + \theta_q B^q \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \Phi_p(B^s) &= 1 - \Phi_1 B^s - \dots - \Phi_p B^{ps} \\ \Theta_Q(B^s) &= 1 + \Theta_1 B^s + \dots + \Theta_Q B^{Qs} \end{aligned} \quad (11)$$

p درجه خودهسته غیرفصلی، d درجه تفاضل گیری، q درجه میانگین متحرک غیرفصلی، P درجه خودهسته فصلی، D درجه تفاضل گیری فصلی، Q درجه میانگین متحرک فصلی و s طول فصل است (۳۰، ۳۳ و ۳۷).

برای ساخت این مدل ها، چهار مرحله: شناسایی مدل، برازش الگو، ارزیابی درستی الگو و پیش بینی باید انجام گیرد (۲۲).

شناسایی و برازش مدل

در این حالت، چندین مدل SARIMA با مرتبه های متفاوت با استفاده از نرم افزار R به داده ها برازش و مناسب ترین مدل توسط معیار اطلاع آکائیک (Akaike Information Criterion, AIC) و معیار اطلاع بیزی (Bayesian Information Criterion, BIC) انتخاب می شود. معیار انتخاب بهترین مدل داشتن کمترین مقدار AIC است (۲۷).

روابط ریاضی مربوط AIC و BIC به صورت زیر است:

$$AIC = n \left(\ln \left(\frac{2\pi RSS}{n} \right) + 1 \right) + 2m \quad (12)$$

$$BIC = n \left(\ln \left(\frac{2\pi RSS}{n} \right) + 1 \right) + m \ln(n) \quad (13)$$

جدول ۲. طبقه بندی خشکسالی بر اساس نمایه SPI

طبقه بندی خشکسالی	شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)
نرمال	+۱ تا ۰
خشکسالی ضعیف	۰ تا -۱
خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۵
خشکسالی شدید	-۱/۵ تا -۲
خشکسالی بسیار شدید	کمتر از -۲

طبقه بندی مقادیر SPI را ممکن می سازد. یکی از نیازهای یک برنامه ریزی خشکسالی، وجود نرم افزار مناسب برای محاسبه شاخص های رایج خشکسالی است. نرم افزار DIP (Drought Indices Package) از جمله نرم افزارهای است که برای انجام پروژه های مربوط به خشکسالی به ویژه تحلیل شاخص های رایج خشکسالی و مقایسه آنها استفاده می شود. در نرم افزار DIP محاسبه شاخص های رایج به صورت کامل و جامع، همچنین محاسبه آماری، مقایسه شاخص ها، ترسیم نمودارها و غیره به نحو بسیار مطلوبی ارائه شده است (۲۵) که در این پژوهش از این نرم افزار برای محاسبه شاخص SPI در مقیاس زمانی سالیانه استفاده شد. پس از محاسبه SPI، دامنه تغییرات و طبقه بندی شدت خشکسالی بر اساس مقادیر SPI بر مبنای جدول (۲) محاسبه شد (۳۶).

مدل سری زمانی SARIMA

در این مطالعه به منظور پیش بینی داده های بارش از میان مدل های مختلف سری زمانی، از مدل SARIMA استفاده شد. این دسته از مدل ها برای برازش به داده های فصلی نامانا که با تفاضل گیری مانا می شوند، کاربرد دارد.

مدل SARIMA

مدل های عمومی فصلی SARIMA توسط باکس و همکاران (۸) ارائه شده اند و به اختصار به صورت $SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s$ نمایش داده می شوند که s مؤلفه فصلی و (p, d, q) معرف بخش غیرفصلی مدل و $(P, D, Q)_s$

پیش‌بینی به منظور ارزیابی مدل، داده‌های بارش مربوط به سال‌های آماری (۲۰۱۷-۱۹۹۰) را به دو بخش تقسیم می‌کنیم و به اصطلاح آنها را قسمت آموزش (train) (۲۰۱۵-۱۹۹۰) و آزمون (test) (۲۰۱۷-۲۰۱۵) می‌نامیم، هدف از این تقسیم‌بندی این است که از داده‌های قسمت آموزش برای برآزش مدل استفاده کنیم.

ابتدا با استفاده از این مدل برآزش شده، داده‌های قسمت آموزش را پیش‌بینی کردیم. به این ترتیب نمودارهای سمت راست در شکل‌های ۳ تا ۱۲ حاصل شد که به مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده با استفاده از مدل و داده‌ها می‌پردازند (۳۵).

در نهایت برای بررسی دقیق‌تر کفایت مدل برآزش شده برای پیش‌بینی مقادیر (داده‌های واقعی) از دیگر شاخص‌های ارزیابی مانند میانگین قدر مطلق خطاها (MAE, Mean Absolute Error)، میانگین مجذور خطای مطلق (MASE, Mean Absolute Square Error) و شاخص جذر میانگین مربعات خطا (RMSE, Root Mean Squared Error) استفاده شد، مقادیر کمتر این شاخص‌ها نشان از بهتر بودن مدل دارد. این شاخص‌ها به صورت روابط (۱۴ تا ۱۶) تعریف می‌شوند (۱ و ۳۵):

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |y_t - f_t| \quad (14)$$

$$MASE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left(\frac{|y_t - f_t|}{\frac{1}{n-1} \sum_{t=2}^n |y_t - y_{t-1}|} \right) \quad (15)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |y_t - f_t|^2} \quad (16)$$

که در آن y_t مقادیر مشاهده‌ای، f_t مقادیر پیش‌بینی و n تعداد مشاهدات است (۴۰).

نتایج و بحث

مدل‌سازی سری زمانی برای ایستگاه‌های هم‌دید مورد مطالعه با طول دوره آماری (۲۰۱۷-۱۹۹۰) انجام شد. بهترین مدل با توجه به معیار AIC انتخاب شده است. در بررسی مدل‌های مختلف سری زمانی و به‌کارگیری معیار اطلاعاتی آکائیک، سری

که در آنها n تعداد مشاهدات، $m = (p+q+P+Q)$ تعداد پارامترهای برآورد شده مدل و RSS مجموع مربعات باقیمانده مورد نظر است (۳۹).

ارزیابی درستی الگو

برای تشخیص مناسب بودن مدل ابتدا نمودار مانده‌های استاندارد شده (Standardized Residuals) مدل از نظر دارا بودن میانگین صفر، ثبات واریانس و قرار گرفتن مقادیر در محدوده انحراف معیار استاندارد ± 3 برای تشخیص مشاهده پرت ارزیابی می‌شوند. همان‌طور که از قاب بالای شکل ۲ پیداست، نقطه پرتی در باقیمانده‌های بهترین مدل برآزش شده به داده‌های ایستگاه کاشان، وجود ندارد. سپس از نمودار خودهمبستگی (Auto Correlation Function, ACF) و نمودار خودهمبستگی جزئی (Partial Auto Correlation Function, PACF) باقیمانده‌های نمودار تابع خودهمبستگی مانده‌های مدل از نظر فقدان خودهمبستگی معنی‌دار بین مانده‌های مدل بررسی می‌شوند. با توجه نمودارها، اگر حداکثر پنج درصد خودهمبستگی‌های باقیمانده‌ها در تأخیرهای متفاوت بیرون فاصله اطمینان ۹۵ درصد واقع شوند، فرض تصادفی بودن باقیمانده‌ها در سطح پنج درصد رد نمی‌شود (۹). همان‌طور که از قاب میانی شکل ۲ پیداست، فرض تصادفی بودن باقیمانده‌های بهترین مدل برآزش شده به داده‌های ایستگاه کاشان، در سطح پنج درصد رد نمی‌شود. از نمودار $-p$ مقدار (P-values) آزمون لیونگ-باکس (Ljung-Box test) مانده‌های مدل نیز می‌توان فقدان خودهمبستگی معنی‌دار بین مانده‌های مدل را بررسی کرد (۳۴).

همان‌طور که از قاب پایین شکل ۲ پیداست، خودهمبستگی معنی‌داری بین باقیمانده‌های بهترین مدل برآزش شده به داده‌های ایستگاه کاشان، در سطح پنج درصد وجود ندارد. تحلیل باقیمانده‌ها برای مدل‌های برآزش شده به بقیه ایستگاه‌ها، همانند آن چیزی که در بالا برای ایستگاه کاشان انجام شد، نشان داد که مدل‌های برآزش شده قابل قبول هستند. نمودارهای مربوط برای رعایت اختصار در این مقاله گنجانده نشده‌اند.

جدول ۳. بهترین مدل برازش شده و معیارهای ارزیابی خطای پیش‌بینی مربوط به آن در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ردیف	ایستگاه	بهترین مدل منتخب	AIC	BIC	RMSE	MAE	MASE
۱	اردستان	SARIMA(۰,۰,۰)(۲,۰,۲) _{۱۲}	۲۷۵۷/۱۱	۲۷۸۰/۰۱	۱۴/۲۷	۹/۵۲	۰/۸۳
۲	اصفهان	SARIMA(۱,۰,۰)(۲,۰,۰) _{۱۲}	۲۷۲۵/۸۹	۲۷۴۴/۹۷	۱۳/۷۱	۱۳/۷۰	۰/۸۷
۳	خوروپیانک	SARIMA(۱,۰,۰)(۲,۰,۱) _{۱۲}	۲۴۴۷/۵۷	۲۴۷۰/۴۷	۹/۰۷	۵/۹۷	۰/۸۷
۴	شرق اصفهان	SARIMA(۱,۰,۰)(۲,۰,۰) _{۱۲}	۲۶۱۷/۶۷	۲۶۳۶/۷۶	۱۱/۶۸	۸/۰۸	۰/۹۲
۵	شهرضا	SARIMA(۱,۰,۰)(۲,۰,۰) _{۱۲}	۲۶۳۷/۱۳	۲۶۵۶/۲۱	۱۲/۰۳	۸/۵۲	۰/۹۰
۶	کاشان	SARIMA(۳,۰,۱)(۱,۰,۱) _{۱۲}	۲۶۲۶/۳۰	۲۷۵۰/۶۷	۱۳/۲۷	۸/۵۵	۰/۸۲
۷	کبوترآباد	SARIMA(۱,۰,۰)(۲,۰,۰) _{۱۲}	۲۶۱۸/۱۴	۲۶۴۸/۱۵	۱۱/۶۸	۸/۲۷	۰/۸۶
۸	گلپایگان	SARIMA(۳,۰,۲)(۲,۰,۱) _{۱۲}	۲۷۱۲/۵	۲۷۵۰/۵۰	۱۳/۲۶	۸/۵۵	۰/۸۲
۹	نائین	SARIMA(۱,۰,۲)(۰,۰,۲) _{۱۲}	۲۶۰۰/۸۲	۲۶۲۷/۵۴	۱۱/۳۴	۹/۹۷	۰/۸۳
۱۰	نطنز	SARIMA(۱,۰,۰)(۲,۰,۰) _{۱۲}	۲۹۰۸/۲۵	۲۹۲۷/۳۴	۱۷/۹۷	۱۲/۲۲	۰/۸۶

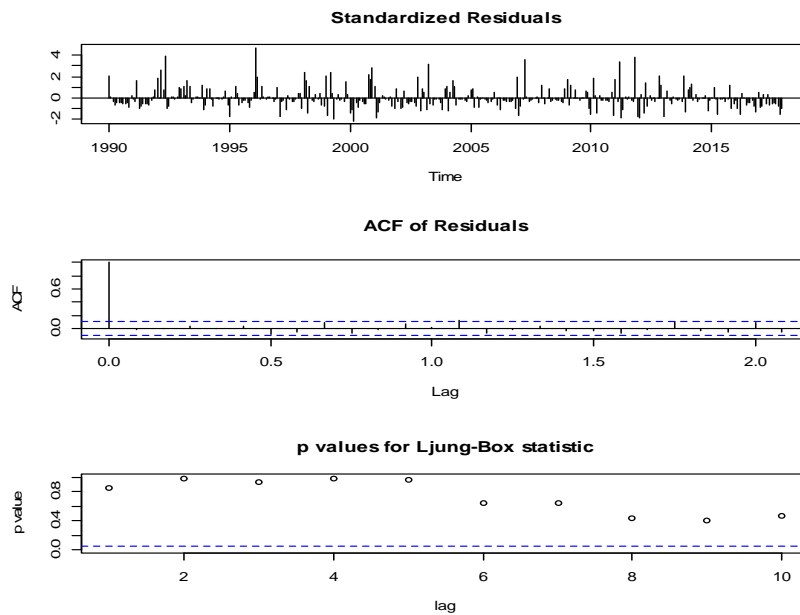
آنها این است که به شدت تحت تأثیر نقطه پرت در مشاهدات هستند. یعنی اگر داده‌ها داری یک نقطه پرت از نوع داده بزرگ باشند (حالتی که در عمل بیشتر پیش می‌آید) باید از نامناسب بودن مدل به استناد بزرگ بودن RMSE اجتناب کرد. به همین دلیل باید از معیارهایی استفاده کرد که به واحد اندازه‌گیری وابسته نیستند که معروف‌ترین آنها میانگین قدرمطلق درصد خطا (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) است که البته آن معیار هم داری عیوب مختص به خود است. به عنوان مثال اول این معیار فقط برای داده‌های اندازه‌گیری شده با مقیاس نسبتی (یعنی داده‌هایی که صفر واقعی دارند) قابل استفاده است و دیگر اینکه این معیار برای وقتی مقادیر پیش‌بینی شده بیش از مقدار واقعی هستند نسبت به وقتی این مقادیر کمتر از مقدار واقعی هستند، جریمه بیشتری در نظر می‌گیرد (۲۰).

برای بررسی کفایت مدل‌های برازش شده، در شکل (۲) ارزیابی باقیمانده‌ها برای ایستگاه کاشان گزارش شده است که نشان‌دهنده عدم همبستگی در مانده‌های مدل برازش شده به داده‌های این ایستگاه است. برای بقیه ایستگاه‌ها، نتایج مشابه به دست آمده دلیل رعایت اختصار در اینجا گزارش نشده‌اند. نتایج مذکور، با نتایج پژوهش‌های علیزاده و آشگر توسی در استان خراسان رضوی (۳) و طوفانی و همکاران در استان

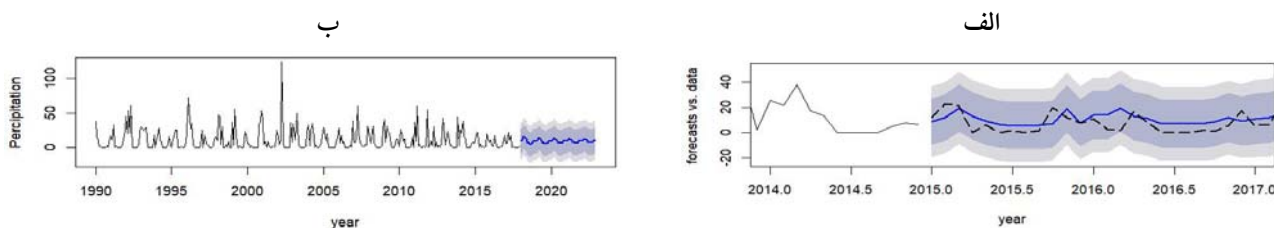
زمانی SARIMA با توجه قابلیت بالای مدل‌سازی به عنوان بهترین سری زمانی برای پیش‌بینی بارش ماهانه ایستگاه‌های استان است که با نتایج پژوهش‌های علیزاده و آشگر توسی در استان خراسان رضوی (۳)، بایزیدی و همکاران در حوضه سلماس (۹)، معصوم‌پور و همکاران در سطح ایران (۲۶) و شریفیان و قهرمان در استان گلستان (۳۸) مشابه است. همچنین برای ارزیابی عملکرد بهترین مدل انتخاب شده، از معیارهای BIC, RMSE, MAE و MASE نیز استفاده شده است که در جدول (۳) آمده است نتیجه مشابه نیز توسط سایر پژوهشگران به دست آمده است (۵ و ۹). هر چند معیارهای خطای مطلق (AEM)

(Absolute Error Measures) مانند میانگین قدر مطلق خطاها MAE میانگین مربعات خطاها (Mean Square Errors, MSE) و RMSE معیارهای مهمی برای بررسی کیفیت مدل هستند و بهترین مقدار متصور برای آنها صفر است ولی این معیارها با وجود اینکه در مقالات به وفور از آنها استفاده می‌شود، دارای عیوب زیر هستند.

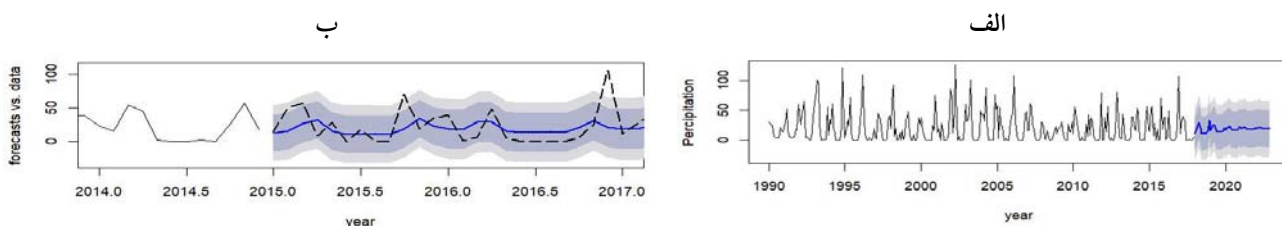
اولین و اصلی‌ترین عیب آنها وابسته بودن به معیار اندازه‌گیری است، یعنی با تغییر واحد اندازه‌گیری بارش مثلاً از میلی‌متر به اینچ می‌توان مقدار RMSE را کاهش داد. عیب دیگر



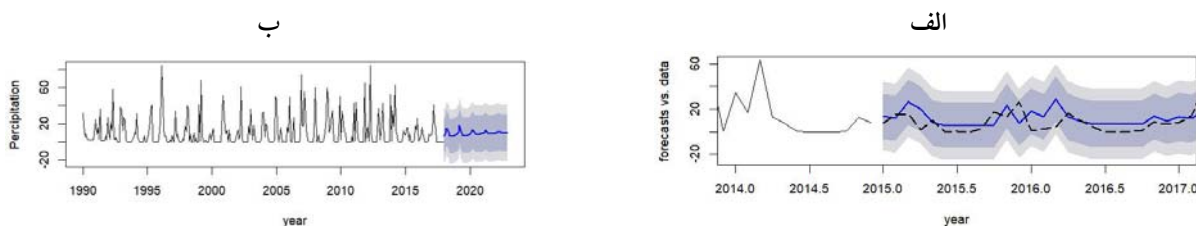
شکل ۲. قاب بالا) نمودار باقیمانده‌های استاندارد شده، قاب وسط) نمودار خودهمبستگی همراه فاصله اطمینان ۹۵ درصد از باقیمانده‌ها و قاب پایین) نمودار مقادیر معناداری آزمون Ljung-Box ایستگاه کاشان



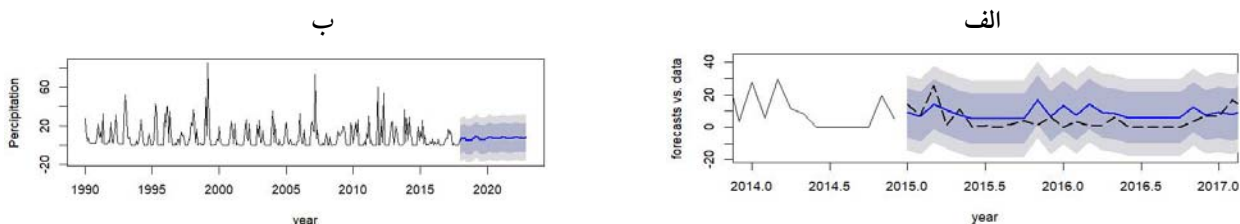
شکل ۳. الف) ارزیابی کفایت پیش‌بینی بهترین مدل برای ایستگاه کاشان و ب) پیش‌بینی بارش ماهانه برای ایستگاه کاشان



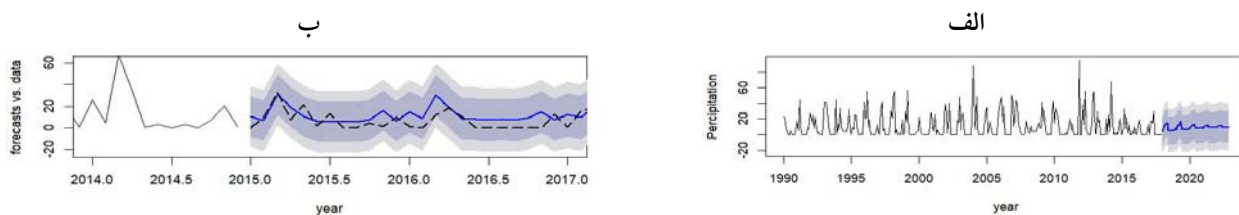
شکل ۴. الف) ارزیابی کفایت پیش‌بینی بهترین مدل برای ایستگاه گلپایگان و ب) پیش‌بینی بارش ماهانه در ایستگاه گلپایگان



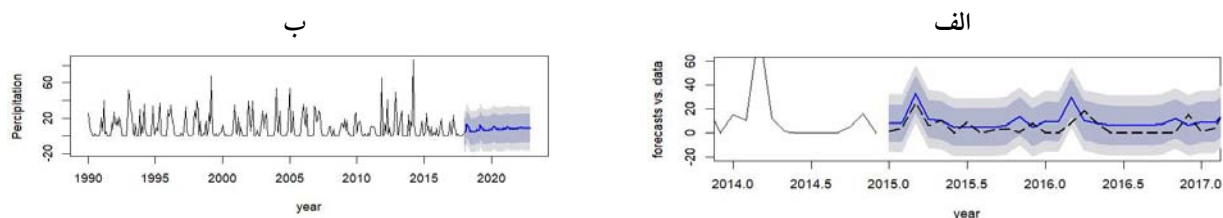
شکل ۵. الف) ارزیابی کفایت پیش‌بینی بهترین مدل برای ایستگاه اردستان و ب) پیش‌بینی بارش ماهانه برای ایستگاه اردستان



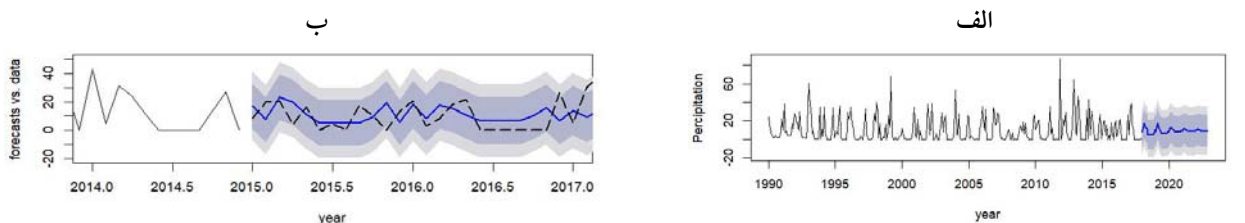
شکل ۶. الف) ارزیابی کفایت پیش‌بینی بهترین مدل برای ایستگاه ناین و ب) پیش‌بینی بارش ماهانه برای ایستگاه ناین



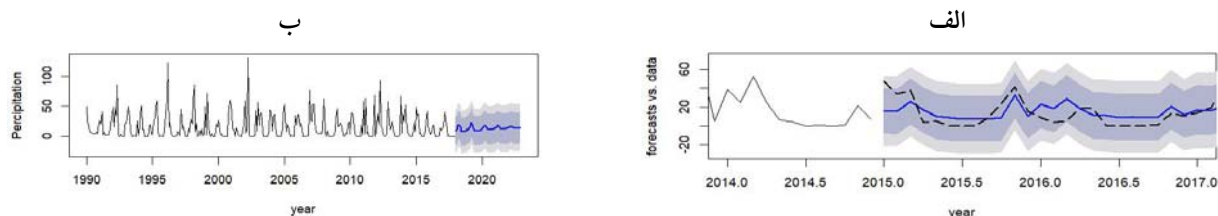
شکل ۷. الف) ارزیابی کفایت پیش‌بینی بهترین مدل برای ایستگاه اصفهان و ب) پیش‌بینی بارش ماهانه برای ایستگاه اصفهان



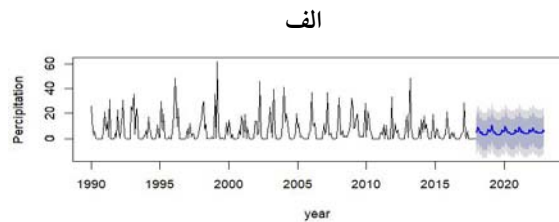
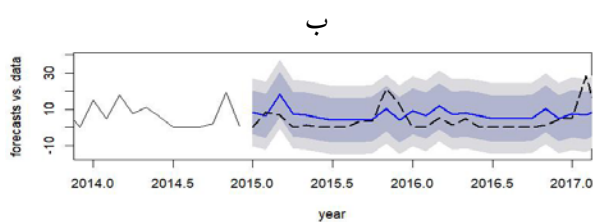
شکل ۸. الف) ارزیابی کفایت پیش‌بینی بهترین مدل برای ایستگاه اصفهان شرق و ب) پیش‌بینی بارش ماهانه برای ایستگاه اصفهان شرق



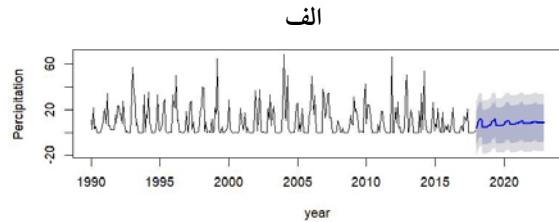
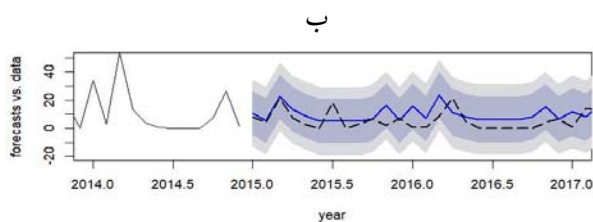
شکل ۹. الف) ارزیابی کفایت پیش‌بینی بهترین مدل برای ایستگاه شهرضا و ب) پیش‌بینی بارش ماهانه برای ایستگاه شهرضا



شکل ۱۰. الف) ارزیابی کفایت پیش‌بینی بهترین مدل برای ایستگاه نطنز و ب) پیش‌بینی بارش ماهانه برای ایستگاه نطنز



شکل ۱۱. الف) ارزیابی کفایت پیش‌بینی بهترین مدل برای ایستگاه خور و بیابانک و ب) پیش‌بینی بارش ماهانه برای ایستگاه خور و بیابانک



شکل ۱۲. الف) ارزیابی کفایت پیش‌بینی بهترین مدل برای ایستگاه کبوترآباد و ب) پیش‌بینی بارش ماهانه برای ایستگاه کبوترآباد

وقوع خشکسالی شدید در سال ۲۰۱۹ برای ایستگاه‌های اردستان و گلپایگان و در سال ۲۰۱۸ برای سایر ایستگاه به غیر از اصفهان، کاشان، گلپایگان و نائین بوده است. بیشترین تداوم خشکسالی مربوط به ایستگاه اصفهان، کاشان و نائین بود که به مدت سه سال آبی از سال (۲۰۲۲ - ۲۰۱۹) بوده است. به‌طور متوسط در سطح استان اصفهان ۲/۵ سال وقوع خشکسالی برای ایستگاه‌ها بر اساس مدل‌های ارائه شده در جدول (۳) پیش‌بینی می‌شود که مشابه نتایج حاصل از مطالعه معروفی و همکاران (۲۶) در استان همدان است.

نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه، تعیین روند خشکسالی و پیش‌بینی شدت و مدت خشکسالی برای دوره پنج‌ساله بر اساس شاخص SPI بوده است. به این منظور، ابتدا با استفاده از داده‌های بارش در ۱۰ ایستگاه هم‌مدیدی در استان اصفهان طی دوره آماری (۲۰۱۷ - ۱۹۹۰) بهترین مدل SARIMA برای هر ایستگاه انتخاب شد.

نتایج نشان می‌دهد که برای ایستگاه‌های اصفهان، کاشان و نائین در سال‌های (۲۰۲۲ - ۲۰۱۹) و در ایستگاه‌های کبوترآباد،

گلستان (۴۳) مشابه است. مقادیر پیش‌بینی شده توسط بهترین مدل برای ایستگاه‌های مختلف، در شکل‌های ۳ تا ۱۲ آمده است. نمودار سمت راست در این شکل‌ها معرف قابلیت مدل در پیش‌بینی مقادیر داده‌های آماری موجود برای سال‌های (۲۰۱۷ - ۲۰۱۵) و نمودار سمت چپ معرف پیش‌بینی‌های آینده برای سال‌های (۲۰۲۲ - ۲۰۱۸) است.

بررسی روند خشکسالی در استان اصفهان

برای بررسی روند خشکسالی، با استفاده از بهترین مدل‌های برازش شده برای داده‌های هر ایستگاه ابتدا بارش‌های ماهیانه برای دوره آماری (۲۰۲۲ - ۲۰۱۸) را پیش‌بینی و سپس با استفاده از نرم‌افزار DIP شاخص SPI در مقیاس زمانی سالیانه محاسبه شد (۲۱ و ۲۶) که نتایج در جدول (۴) ارائه شده است. این نتایج بیانگر وقوع خشکسالی ضعیف در سال‌های (۲۰۲۲ - ۲۰۱۹) برای ایستگاه‌های اصفهان، کاشان و نائین خشکسالی ضعیف در سال ۲۰۱۹ برای ایستگاه‌های کبوترآباد، شرق اصفهان و شهرضا و خشکسالی ضعیف در سال ۲۰۱۸ برای ایستگاه اردستان است.

جدول ۴. پیش‌بینی روند وقوع خشکسالی در ایستگاه‌های استان اصفهان

ایستگاه	سال	بارش سالانه (mm)	شاخص بارش استاندارد	وضعیت خشکسالی	ایستگاه	سال	بارش سالانه (mm)	شاخص بارش استاندارد	وضعیت خشکسالی
اردستان	۲۰۱۸	۱۰۱/۵۶	-۰/۲۳	ضعیف	کاشان	۲۰۱۸	۱۵۹/۷۳	۱/۹	مرطوب
	۲۰۱۹	۹۷/۴۲	-۱/۴۲	شدید		۲۰۱۹	۱۱۳/۹۳	۰/۱۳	نرمال
	۲۰۲۰	۱۰۰/۶۱	-۰/۵	ضعیف		۲۰۲۰	۱۲۴/۲۱	-۰/۵۹	ضعیف
	۲۰۲۱	۱۰۴/۵۶	۰/۶	نرمال		۲۰۲۱	۱۲۲/۶۴	-۰/۷۲	ضعیف
	۲۰۲۲	۱۰۷/۹۸	۱/۵۳	مرطوب		۲۰۲۲	۱۲۲/۶۱	-۰/۷۲	ضعیف
اصفهان	۲۰۱۸	۱۵۹/۷۳	۱/۹	مرطوب	کبوترآباد	۲۰۱۸	۸۱/۲۹	-۱/۷۰	شدید
	۲۰۱۹	۱۱۳/۹۳	۰/۱۳	نرمال		۲۰۱۹	۹۰/۹۹	-۰/۴۹	ضعیف
	۲۰۲۰	۱۲۴/۴۱	-۰/۵۹	ضعیف		۲۰۲۰	۹۸/۰۱	۰/۳۴	نرمال
	۲۰۲۱	۱۲۲/۶۴	-۰/۷۲	ضعیف		۲۰۲۱	۱۰۱/۹۲	۰/۷۸	نرمال
	۲۰۲۲	۱۲۲/۶۱	-۰/۷۲	ضعیف		۲۰۲۲	۱۰۴/۴۶	۱/۷۰	مرطوب
خور و بیابانک	۲۰۱۸	۵۸/۱۶	-۱/۳۸	شدید	گلپایگان	۲۰۱۸	۱۱۴/۵۸	۰/۰۳	نرمال
	۲۰۱۹	۵۹/۵۴	-۰/۸۱	ضعیف		۲۰۱۹	۱۱۱/۶۳	-۱/۶۲	شدید
	۲۰۲۰	۶۱/۶۷	۰/۰۶	نرمال		۲۰۲۰	۱۱۳/۳۲	-۰/۶	ضعیف
	۲۰۲۱	۶۳/۴۵	۰/۷۶	نرمال		۲۰۲۱	۱۱۴/۸۴	۰/۴۷	نرمال
	۲۰۲۲	۶۵/۰۱	۱/۳۷	مرطوب		۲۰۲۲	۲۲/۱۱۶	۱/۳۵	مرطوب
شرق اصفهان	۲۰۱۸	۸۱/۲۹	-۱/۷	شدید	نائین	۲۰۱۸	۱۰۹/۷۱	۲	مرطوب
	۲۰۱۹	۹۰/۹۸	-۰/۴۹	ضعیف		۲۰۱۹	۹۵/۸۱	-۰/۵۲	ضعیف
	۲۰۲۰	۹۸/۰۱	۰/۳۴	نرمال		۲۰۲۰	۹۵/۹۴	-۰/۵	ضعیف
	۲۰۲۱	۱۰۱/۹۲	-۰/۷۲	نرمال		۲۰۲۱	۹۵/۹۵	-۰/۴۹	ضعیف
	۲۰۲۲	۱۰۴/۴۲	-۰/۷۲	مرطوب		۲۰۲۲	۹۵/۹۶	-۰/۴۹	ضعیف
شهرضا	۲۰۱۸	۱۰۶/۲۴	-۱/۸۰	شدید	نطنز	۲۰۱۸	۱۳۱/۳۰	-۱/۷۲	شدید
	۲۰۱۹	۱۱۱/۲۹	-۰/۲۹	ضعیف		۲۰۱۹	۱۴۲/۸۷	-۰/۴۲	ضعیف
	۲۰۲۰	۱۱۳/۲۷	۰/۳۳	نرمال		۲۰۲۰	۱۵۷/۲۹	۰/۲۸	نرمال
	۲۰۲۱	۱۱۴/۷۳	۰/۷۶	نرمال		۲۰۲۱	۱۶۴/۲۹	۰/۷۸	نرمال
	۲۰۲۲	۱۱۵/۵۱	۰/۹۹	نرمال		۲۰۲۲	۱۶۸/۶۴	۱/۰۸	مرطوب

ایستگاه‌های مذکور در آینده دارای حساسیت و آسیب‌پذیری بیشتری خواهند بود.

با توجه به اینکه از یک طرف مدل‌های تصادفی SARIMA از نوع خطی هستند و از طرف دیگر پیش‌بینی بارش در این مدل‌ها فقط بر اساس بارش در سال‌های گذشته انجام می‌شود،

شرق اصفهان و شهرضا در سال ۲۰۱۹ با خشکسالی ضعیف و برای ایستگاه‌های اردستان و گلپایگان در سال ۲۰۱۹ با خشکسالی شدید روبرو خواهیم شد. همچنین در سایر ایستگاه به غیر از اصفهان، کاشان، گلپایگان و نائین وقوع خشکسالی شدید در سال ۲۰۱۸ بوده است. این پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد،

به این بحران به صورت یک مشکل مهم توجه شود. از این رو باید به دنبال مدیریت آب برای دوره‌های خشکسالی در حال حاضر و آینده بود. از آنجا که خشکسالی همچون سایر پدیده‌های طبیعی به کمک دانش، آگاهی، برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح تا حدی قابل پیش‌بینی است، ضروری است تدابیر اساسی‌تری برای کاهش اثرات خشکسالی در سال‌های آتی به عمل آورد.

پیشنهاد می‌شود برای افزایش دقت پیش‌بینی خشکسالی تعمیم مدل‌ها را در نظر گرفت، به این صورت که برازش مدل‌های سری زمانی غیرخطی و یا ورود عامل‌های مؤثر دیگر به مدل نظیر عامل دما، رطوبت نسبی و تبخیر که بر وقوع خشکسالی تأثیرگذار هستند ممکن است راهگشا باشد. با توجه به بحران آب، محدودیت منابع آب و افزایش تقاضای آب به واسطه افزایش جمعیت و تکنولوژی آینده برای استان از یک سو و تغییر اقلیم و کاهش بارندگی از طرف دیگر لازم است

منابع مورد استفاده

1. Aguilera, A., M. Escabias and M. J. Valderrama. 2008. Forecasting binary longitudinal data by a functional PC-ARIMA model. *Statis Computational Statistics & Data Analysis* 52(6): 3187-3197.
2. Alizadeh, A. 2002. Is it possible to anticipate or deal with drought?. *Journal of Drought and Agricultural Drought, Ministry of Agricultural Jihad* (6)1: 23-32. (In Farsi).
3. Alizadeh, A. and Sh. Ashgartoosi. 2008. Development of a Model for Monitoring and forecasting drought (case study: Khorasan Razavi province). *Journal of Water and Soil (Agriculture Sciences and Technology)* 22(1): 223-233. (In Farsi).
4. Arab, D. R. and H. Mahdi Khani .2005. Transition from crisis management to risk management: Drought Management Strategies. *In: Proceedings of the First International Conference on Crisis Management in Incidental Disasters*. Tehran. (In Farsi).
5. Ashgartoosi, Sh. and A. Alizadeh. 2005. Drought Monitoring and Forecasting in Eastern Iran. *Journal of Drought and Agricultural Drought* 16: 16-1. (In Farsi).
6. Bazrafshan, O., A. Salajegheh, J. Bazrafshan, M. Mahdavi and A. Fatehi Marj. 2015. Hydrological drought forecasting using ARIMA models. (case study: karkheh basin). *International Journal of Natural Resources and Marine Sciences, IJNRMS* 3(3): 1099-1117.
7. Belayneh, A. J., B. Adamowski Khalil and B. Ozga-Zielinski. 2012. Long-term SPI drought forecasting in the Awash River Basin in Ethiopia using wavelet neural network and wavelet support vector regression models. *Journal of Hydrology* 508: 418-429.
8. Box, G. E. P., G. M. Jenkins and G. C. Reinsel. 1994. *Time Series Analysis, Forecasting and Control* (3rd ed). Prentice-Hall. Englewood Cliffs. NJ.
9. Byzedi, M., M. Siosemardeh and A. Asragah. 2017. Prediction and analysis of meteorological drought based on time series (Case study: Salmas watershed). *Journal of Environmental and Water Engineering* 2(4): 346-359. (In Farsi).
10. De Martonne, E. 1926. L'indice d'aridité. *Bulletin de l'Association de Géographes Français* 3: 3-5.
11. Durdu, F. 2010. Application of linear stochastic models for drought forecasting in the Büyük Menderes river basin. Western Turkey. *Journal Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 4(4): 366-383.
12. Dodangeh, S., J. Abedi Koupai and S. A. Gohari. 2012. Application of Time Series Modeling to Investigate Future Climatic Parameters Trend for Water Resources Management Purposes. *Journal of Water and Soil Sciences (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)* 16(59): 59-74. (In Farsi).
13. Dodangeh, S.; J. Abedi Koupai and S. A. Gohari. 2012. Application of Time Series Modeling to Investigate Future Climatic Parameters Trend for Water Resources Management Purposes, *Journal of Water and Soil Sciences (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)* 16(59): 59-74. (In Farsi).
14. Edwards, D. C. and T. B. McKee. 1997. Characteristics of 20th Century Drought in the United States at Multiple Time Scales, *Climatology Report 97-2*, Department of Atmospheric Science, Colorado state University, Fort Collins.
15. Fallah Ghalhari, GH. A., F. Bayatani and E. Fahiminezhad. 2015. Comparing the forecasting accuracy of the box-jenkins models in modeling seasonal precipitation (case study: the south of Kerman Province, Iran). *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences* 5(12): 64-78.

16. Ghaseminejad, S., S. Soltani and A. Soffianian. 2014. Drought Risk Assessment in Isfahan Province. *Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Technology)* 18(68): 213-226. (In Farsi).
17. Golmohammadi, M. and A. Massah Bavani. 2011. The perusal of climate change impact on drought intensity and duration. *Journal of Water and Soil (Agriculture Sciences and Technology)* 25(2): 315-326 (In Farsi).
18. Han, P., P. Wang, M. Tian, S. Zhang, J. Liu and D. Zhu. 2013. Application of the ARIMA Models in Drought Forecasting Using the Standardized Precipitation Index. In *Computer and Computing Technologies in Agriculture VI*. Springer.
19. Han, P., P. X. Wang, S. Y. Zhang and D. H. Zhu. 2010. Drought forecasting based on the remote sensing data using ARIMA models. *Journal Mathematical and Computer Modelling* 51: 1398-1403.
20. Hayes, M. J., M. D. Svoboda, D. A. Wilhite and O. V. Vanyarkho. 1999. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of the American Meteorological Society* 80: 429-438.
21. Hyndman, R. J. and A. B. Koehler. 2006. Another look at measures of forecast accuracy. *International Journal of Forecasting* 22: 679- 688.
22. Khodaghali, M., R. Saboohi Eskandari and Z. Analysing. 2014. Drought paste trend and forecasting its future in Isfahan Province. *Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Technology)*. 18(67): 367-379 (In Farsi).
23. Khorrami, M. and A. Bozorgnia. 2007. Analysis of Time Series with MINITAB Software 14. Sokhan Gostar Publications. Iran. (In Farsi).
24. Khalili, A. and J. Bazrafshan. 2003. Evaluation of the efficiency of several meteorological drought indexes in different climatic species of Iran. *Journal Nivar* 48-49: 93-79. (In Farsi).
25. Khoshhal dastjerdi, J. and S. M. Hosseini. 2010. Application of artificial neural network in climatic elements simulation and drought cycle predication (case study: Isfahan Province). *Journal Geography Magazine and Environmental Planning* 21(3): 107-120. (In Farsi).
26. Maleki, A. R. and J. Torkamani. 2015. Drought management for efficient use of water resources in North Khorasan Province, *Agricultural Economics Research* 7(1): 65-89. (In Farsi).
27. Marofi, S., B. Khetar, M. Sadeghifar, N. Parsafar and A. Ildoromi. 2013. Drought prediction using SARIMA time series and SPI index. In the central region of Hamedan province. *Journal Water Research in Agriculture* 28(1): 213-225. (In Farsi).
28. Masoumpour Samakosh, J., A. Jalilian and E. Yari. 2016. The analysis of seasonal precipitation time series in Iran. *Journal Physical Geography Research* 49(3): 457-475. (In Farsi).
29. Meteorological Organization of the country. 2017. Journal Meteorological of Isfahan Province, 26-149 (In Farsi).
30. Mishra, A. K and V. R. Desai. 2006. Drought forecasting using feed-forward recursive neural network. *Journal of Ecological Modeling* 98(1): 127-138.
31. Mishra, A. K. and V. R. Desai. 2005. Drought forecasting using stochastic models. *Journal Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 9(2): 326-339.
32. Mishra, A. K and V. P. Singh. 2011. Drought modeling-A review, *Journal of Hydrology* 403: 157-175.
33. Mckee, T. B., N. J. Doesken and J. Kleist .1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: Proceeding of the 8th Conference on Applied Climatology, California, pp: 179-184.
34. Moharrampour, M., S. Sohrabi and J. Vakili. 2013. Comparison of Support vector machines (svm) and autoregressive integrated moving average (ARIMA) in daily flow forecasting. *Journal of River Engineering* 1(1): 26-36.
35. Niromand, H. and S. A. Bozorgnia. 2011. Time Series (Edition 5). Payam Noor University Press, Tehran. (In Farsi).
36. Niromand, H. and S. A. Bozorgnia. 2002. Introduction to Time Series Analysis (Edition 2). Translation. Ferdowsi University Press, Mashhad, Iran. (In Farsi).
37. Nouri, M., M. Homaei and M. Bannayan. 2018. Analyzing the trends of precipitation and drought in some semi-arid to humid regions of Iran. *Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Technology)* 22(1): 45-60. (In Farsi).
38. Salas, J. D. 1980. Applied Modeling of Hydrologic Time Series: Water Resources Publication. Littleton, Colorado.
39. Sharifan, H. and B. Ghahraman. 2007. Evaluation of rainfall forecasting in Golestan province using time series. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 3(14): 196-209. (In Farsi).
40. Shafiee, M., B. Champion, H. Ansari and M. B. Sharifi. 2011. Stochastic simulation of drought severity based on palmer index, *Journal of Water and Irrigation Management* (1)1: 1-13. (In Farsi).
41. Shcherbakov, M. V., A. Brebels, N. L. Shcherbakova and A. P. Tyukov. 2013. A survey of forecast error measures. *Journal World Applied Sciences* 24(24): 171-176.
42. Soltani, S. and R. Modares. 2006. Investigation and analysis of the severity and frequency of meteorological drought in Isfahan Province, *Journal of Natural Resources Research* 59(1): 26-16.
43. Soltani, S. and S. S. Sadati. 2007. Drought mapping over Isfahan province using standardized precipitation Index (SPI), *Journal Watershed Management Science and Engineering* 1(2): 64-67. (In Farsi).

44. Toufani, P., A. Mosaedi and A. Fakheri Fard. 2010. Prediction of precipitation applying wavelet network model (case study: Zarringol station, Golestan province, Iran). *Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Technology)* 5(25): 1217-1226. (In Farsi).
45. Wilhite, D. A. and M. H. Glantz .1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Journal Water International* 10 (3): 111-12.

Prediction and Investigation of Meteorological Drought Using SARIMA Time Series and SPI Index In Isfahan Province

H. Ghorbani^{1*}, A. Vali² and H. Zarepour²

(Received: January 24-2019 ; Accepted: May 25-2019)

Abstract

Drought as a natural hazard is a gradual phenomenon, slowly affecting an area; it may last for many years and can have devastating effects on the natural environment and in human lives. Although drought forecasting plays an important role in the planning and management of water resource systems, the random nature of contributing factors contributing to the occurrence of and severity of droughts causes some difficulties in determination of the time when a drought begins or ends. The present research was planned to evaluate the capability of linear stochastic models, known as multiplicative Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA) model, in the quantitative forecasting of drought in Isfahan province based on the Standardized Precipitation Index (SPI). To this end, the best SARIMA models were chosen for modelling the monthly rainfall data from 1990 to 2017 for every 10 synoptic stations in Isfahan province to forecast their monthly rainfall up to five years. The monthly time scale SPI values based on these predictions were used to assess the drought severity of different stations for the 2018- 2022 time period. The station results indicated a weak drought at the 2019- 2022 period for Isfahan, Kashan and Naeen, a severe drought in 2019 for Ardestan and Golpaygan, and a weak one in 2019 for the East of Isfahan, KabootarAbad and Shahreza stations. All other stations, except Golpayegan, Isfahan, Kashan and Naeen, faced a severe drought in 2018.

Keywords: Drought, Isfahan province, SARIMA model, SPI index, Time series

1. Department of Statistics, Faculty of Mathematical Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran.

2. Department of Desertification, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran.

*: Corresponding author: hamid332000@yahoo.com