

مدل‌سازی و پیش‌بینی خشکسالی هواشناسی با استفاده از مدل سری زمانی SARIMA در نمونه‌های اقلیمی مختلف ایران

مهتاب حلمی^۱، بهرام بختیاری^{۲*}، کورش قادری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱/۲۵

چکیده

این مطالعه با هدف پیش‌بینی خشکسالی هواشناسی، کاربرد مدل آماری سری زمانی SARIMA را در مناطق اقلیمی مختلف ایران مورد ارزیابی قرار داده است. به این منظور از شاخص خشکسالی SPI در مقیاس ۱۲ ماهه استفاده شد. داده‌های بارش طی یک دوره ۲۰ ساله (۲۰۱۹-۲۰۰۰) در ۷ ایستگاه سینوپتیک ایران واقع در نمونه‌های اقلیمی متفاوت از فراخشک تا بسیار مرطوب به کار گرفته شد. مدل سری زمانی SARIMA پس از بررسی ایستایی و فصلی بودن داده‌های بارش در محیط نرم افزار MiniTab توسعه داده شد. از دو معیار اطلاعاتی آکائیکه (AIC) و بی‌زین (BIC) جهت تشخیص مدل بهینه استفاده گردید. نتایج نشان داد که با توجه به روند تناوبی و فصلی متغیر بارش، استفاده از مدل SARIMA در تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی مناسب می‌باشد. نمودارهای باقیمانده‌های بارش در ایستگاه‌های مطالعاتی بسیار نزدیک به حالت نرمال بوده و عملکرد مدل در پیش‌بینی بارش و در نتیجه خشکسالی رضایت‌بخش بود. همچنین انتظار می‌رود که در اقلیم‌های فراخشک معتدل، نیمه خشک سردسیر و فراسرد، مدیترانه‌ای معتدل، مرطوب سردسیر و بسیار مرطوب نوع الف و ب به ترتیب خشکسالی شدید، خشکسالی متوسط، وضعیت نرمال و ترسالی ملایم رخ دهد.

واژه‌های کلیدی: دوره‌ی خشکی، سری‌زمانی فصلی، شاخص بارش استاندارد، طبقه‌بندی دومارتن

مقدمه

چندانی نکرده یا در اثر تغییر شرایط اقلیمی تغییر کنند (بذرافشان و همکاران، ۱۳۹۲).

قرارگرفتن بر روی کمربند خشک جهان و ایجاد شرایط خاص سینوپتیکی، همواره سبب وقوع پدیده خشکسالی در کشور ایران گردیده‌است. بطور کلی می‌توان گفت رخداد خشکسالی از ویژگی‌های اصلی آب و هوای ایران به شمار می‌آید که هم در قلمرو آب و هوای مرطوب و هم خشک قابل دیدن است (Mosaedi et al., 2009). اعمال مدیریت مناسب جهت کاهش خسارات خشکسالی بستگی به اطلاعات به موقع در مورد شروع خشکسالی، میزان توسعه در طول زمان و گستردگی مکانی آن دارد. این اطلاعات از طریق پایش مداوم دوره‌های خشکی که معمولاً با استفاده از شاخص‌های خشکسالی انجام می‌شود، بدست می‌آید. علاوه بر این، پیش‌بینی خشکسالی در سیستم‌های منابع آب نقش مهمی در کاهش خسارات خشکسالی ایفا می‌نماید. با توجه به اینکه در بوجود آمدن یک پدیده عوامل ناشناخته‌ی زیادی ممکن است موثر باشند، شاید نتوان پدیده‌ای را در طبیعت پیدا نمود که با استفاده از مدل‌های قطعی بتوان به پیش‌بینی آن پرداخت. اما این امکان وجود دارد که با استفاده از مدل‌های احتمالاتی بتوان احتمال وقوع یک پدیده را در درون یک دامنه از

خشکسالی پدیده‌ای طبیعی و تکرارشدنی است که در اثر کاهش میزان بارندگی در یک دوره‌ی زمانی مشخص بوجود می‌آید (Sharma and Smakhtin, 2004). این پدیده به‌کندی شروع می‌شود و تاثیر آن بتدریج و در یک دوره‌ی زمانی نسبتاً طولانی در بخش‌های مختلف مانند منابع آب، کشاورزی، محیط‌زیست و اقتصاد ظاهر می‌شود (Mishra and Singh, 2010). زمانی که یک رویداد خشکسالی به وقوع می‌پیوندد، کمبود رطوبت در بسیاری از متغیرهای هیدرولوژیکی از قبیل بارش، جریان، رطوبت خاک، برف، سطوح آب زیرزمینی و ذخیره‌ی مخزن مشاهده می‌شود. هر پدیده‌ی خشکسالی بطور عمده با سه مشخصه سختی، تداوم و فراوانی وقوع شناخته می‌شود. ویژگی‌های خشکسالی ممکن است با گذشت زمان تغییر

۱- دانش آموخته کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
۲- دانشیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
۳- دانشیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
(Email: drbakhtiari@uk.ac.ir) * - نویسنده مسئول

خطای مجاز پیش‌بینی کرد (رضیعی، ۱۳۹۵).

با توجه به اهمیت پدیده خشکسالی و احتمالاتی بودن آن، طی سال‌های اخیر روش‌هایی با طبیعت انعطاف‌پذیر و غیرخطی در مدل‌سازی، مورد توجه پژوهشگران در ایران و سایر نقاط دنیا قرار گرفته‌است. در سال‌های اخیر برخی از پژوهشگران برای ساختن مدل‌های پیش‌بینی معتبر به استفاده از روش‌های مختلف هوش مصنوعی روی آورده‌اند (حسن زاده و همکاران، ۱۳۹۱؛ نیکبخت و همکاران، ۱۳۹۱؛ عابدینی و همکاران، ۱۳۹۳؛ حلمی و همکاران، ۱۳۹۷؛ Danandeh et al., Adamowski and Belayneh, 2012؛ Ravinesh et al., 2016:2014). از آنجا که این روش‌ها قادرند از ساختار داده‌ها، ارتباط غیرخطی بین متغیرهای ورودی و خروجی را شناسایی کنند، برای مدل‌سازی و پیش‌بینی پدیده‌ها مطلوب می‌باشند. با این وجود روش‌های داده‌کاوی، حتی در مواردی که مجموعه آموزش دارای خطای اندازه‌گیری باشد به علت ماهیت داده‌محور بودن، نیز نتایج نسبتاً خوبی ارائه خواهند داد (عیوضی و همکاران، ۱۳۸۸). این ویژگی می‌تواند به عنوان ضعفی در پیش‌بینی‌های متغیرهای هیدرولوژیکی و هواشناسی شناخته‌شود. آنچه ضرورت دارد استفاده از روش‌هایی است که با بررسی داده‌ها و ماهیت آن‌ها، وضعیت خشکسالی را با اطمینان و دقت بیشتری مدل‌سازی و پیش‌بینی نمایند. با توجه به وجود ماهیت تصادفی در عوامل تأثیرگذار در وقوع و شدت خشکسالی‌ها، این پدیده را می‌توان به عنوان یک فرآیند تصادفی در نظر گرفت. پیش‌بینی بر اساس تحلیل مدل‌های سری زمانی در منابع زیادی برای پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت بکار گرفته شده است (طوفانی و همکاران، ۱۳۹۰). این موضوع در پژوهش‌های مختلفی مورد توجه قرار گرفته‌شده‌است. جهان‌دیده و شیروانی (۱۳۹۰) برای پیش‌بینی خشکسالی در استان فارس الگوی ARIMA را برای سری زمانی شاخص بارش استاندارد (SPI) دوازده ماهه مناسب تشخیص دادند. عبدالله نژاد (۱۳۹۴) برای انتخاب مناسب‌ترین روش جهت تخمین مجموع بارندگی از مدل‌های سری زمانی در ایستگاه هاشم‌آباد گرگان استفاده کرد و به این نتیجه رسید که مدل SARIMA از سایر مدل‌های سری زمانی عملکرد بهتری داشته و روند تغییرات سری زمانی را با خطای کمتری شبیه‌سازی می‌کند. سلیقه و همکاران (۱۳۹۴) روند و چرخه‌های سری زمانی بارش سالانه حوضه‌های آبریز حله و مند را بررسی و تحلیل کردند. نتایج آن‌ها حاکی از روند کاهشی بارش در تمامی ایستگاه‌های حوضه مورد مطالعه بود. کریمی و همکاران برای پیش‌بینی خشکسالی در حوضه رودخانه کرخه، ۷ ایستگاه هواشناسی را مورد بررسی قرار دادند و از مدل سری زمانی ARIMA استفاده کردند. نتایج، همبستگی خوبی بین داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده نشان داد (Karimi et al., 2019). در سایر نقاط دنیا نیز راف و کورتین به آنالیز سری زمانی بارش در جنوب میشیگان پرداختند و مدل ARIMA را پیشنهاد کردند (Ruhf and

Cutrin, 2003). میشرای و دسای با اجرای مدل‌های احتمالاتی ARIMA و SARIMA بر روی سری‌های زمانی SPI در یک حوضه آبخیز در هندوستان نشان دادند که می‌توان با استفاده از این مدل‌ها وقوع پدیده‌ی خشکسالی و شدت آن را با دقت مناسب پیش‌بینی کرد (Mishra and Desai, 2005). در مطالعه‌ای دیگر نیز، افریفا و همکاران به مدل‌سازی و پیش‌بینی بارش ماهانه در منطقه‌ای از غنا پرداختند. آن‌ها مدل SARIMA(0,0,0)(1,1,1) را مدلی مناسب برای پیش‌بینی متوسط بارندگی ماهانه معرفی کردند (Afrifa et al., 2016). نیل و مومانی به مدل‌سازی سری زمانی بارش در اردن پرداختند و مدل بهینه برای دستیابی به این هدف را مدل ARIMA دانستند (Naill and Momani, 2009). همچنین ناراسیما و همکاران، بارش در شمال شرق هندوستان را مدل‌سازی و پیش‌بینی نمودند. آن‌ها در مطالعه خود از مدل SARIMA استفاده کردند و نتایج نشان داد مدل SARIMA(0,1,1)(1,0,1) برای آنالیز پیش‌بینی در منطقه‌ی مورد مطالعه، مناسب می‌باشد (Narasimha et al., 2017). سین فو و سین لی نیز برای پیش‌بینی شرایط خشکسالی براساس شاخص استاندارد بارندگی SPI در جنوب تایوان از مدل ARIMA استفاده کردند. نتایج نشان داد در هر ایستگاه میزان خطا پایین بوده و مدل ARIMA مؤثر و مناسب می‌باشد (HsinFu and HsinLi, 2019).

با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه مدل‌های آماری و استفاده از روش‌های سری زمانی و نتایج مطلوب و قابل قبول این روش‌ها در پیش‌بینی کوتاه‌مدت پدیده‌ی خشکسالی، در این تحقیق، مدل سری زمانی SARIMA بکار گرفته شده است. از طرفی پیشینه‌ی تحقیقات نشان می‌دهد که تاکنون از این مدل در مطالعه‌ای با رویکرد بررسی تمامی اقلیم‌ها در ایران استفاده نشده است. بنابراین هدف از این مطالعه، بررسی و پیش‌بینی وضعیت خشکسالی هواشناسی در نمونه‌های اقلیمی متفاوت ایران از فراخشک تا بسیار مرطوب (ب) براساس شاخص SPI می‌باشد. در این راستا عملکرد مدل سری زمانی SARIMA در پیش‌بینی خشکسالی هواشناسی نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

به منظور انجام پژوهش حاضر، از داده‌های روزانه بارش برای برآورد شاخص خشکسالی هواشناسی استفاده گردید. داده‌های بارش مورد استفاده، از سازمان هواشناسی ایران اخذ گردیده‌اند. کنترل کیفی بر روی داده‌ها صورت گرفته و کلیه آزمون‌های همگنی و استقلال انجام گردید و خلأ داده‌ها با استفاده از ایستگاه‌های مجاور به روش نسبت‌ها برطرف شد. برای بررسی کفایت داده‌ها از آزمون Hurst استفاده شد. ضریب Hurst یک آماره برای سنجش کفایت اطلاعات

طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن گسترش یافته طبق معادله‌ی ۲ دسته‌بندی شده‌اند.

$$I = \frac{P}{T+10} \quad (2)$$

که در آن P میانگین سالانه‌ی بارش (میلی‌متر) و T میانگین سالانه دمای هوا (درجه‌ی سانتی‌گراد) می‌باشد. همچنین در طبقه‌بندی گسترش یافته از میانگین حداقل دمای هوای روزانه در سردترین ماه سال (m) استفاده می‌شود که اقلیم‌های مختلف را به چهار دسته‌ی گرمسیر ($5 < m$)، معتدل ($0 < m < 5$)، سردسیر ($-7 < m < 0$) و فراسرد ($m < -7$) تقسیم می‌کند (Rahimi et al., 2012). در سیستم دومارتن، مقادیر کوچکتر از ۵ شاخص خشکی (I)، اقلیم فراخشک و برای مقادیر بزرگتر از ۵۵، نوع اقلیم را بسیار مرطوب (ب) معرفی می‌کند.

شکل ۱، پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک مطالعاتی را نشان می‌دهد. مشخصات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه‌های مذکور در جدول ۱ آورده شده است.

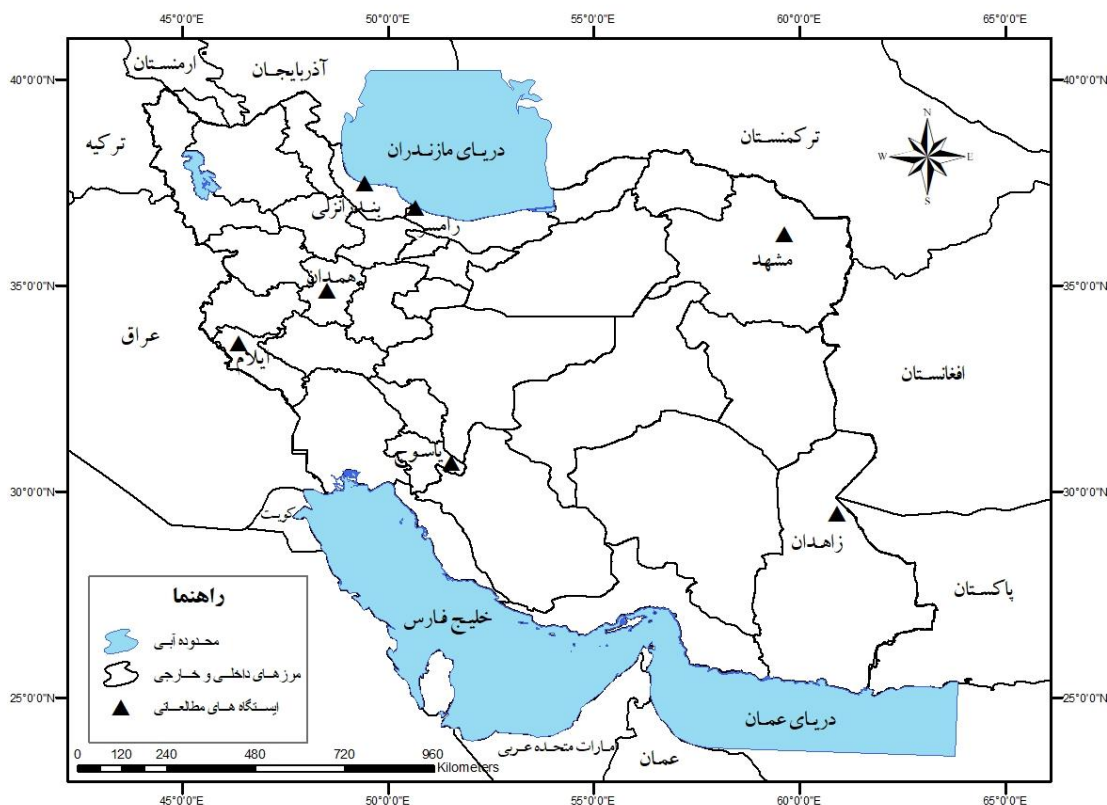
به لحاظ طول دوره‌ی آماری است. این ضریب از معادله‌ی ۱ بدست می‌آید.

$$R = S^+ + S^- \quad (1)$$

در معادله‌ی فوق R برابر است با تفاوت بین مقادیر مثبت و منفی انحراف از میانگین سری‌های زمانی (s) که بصورت تجمعی محاسبه شده باشد.

مقادیر ضریب هرست برابر با ۰/۵ برای سری زمانی نشان‌دهنده یک سری مستقل نرمال می‌باشد. هرچه این ضریب از ۰/۵ بیشتر باشد نشان‌دهنده آن است که حافظه بلندمدت در سری زمانی بیشتر است بدین معنی که نیازی برای تطویل اطلاعات سری نمی‌باشد (کارآموز و عراقی نژاد، ۱۳۸۹).

از آنجا که مقدار آماره آزمون در این مطالعه، در همه‌ی موارد بیشتر از ۰/۵ بود، کفایت داده‌ها مورد تایید قرار گرفت. همچنین جهت بررسی ایستایی و ناپایستگی و نرمال بودن داده‌ها، روش باکس-کاکس مورد استفاده قرار گرفت. ایستگاه‌های هواشناسی منتخب شامل ۷ ایستگاه سینوپتیک در گستره‌ی ایران با دوره‌ی زمانی مشترک ۲۰ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۹) می‌باشد. اقلیم ایستگاه‌ها در این تحقیق براساس



شکل ۱- پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه بر گستره‌ی ایران

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه در سیستم طبقه‌بندی دومارتن گسترش یافته

ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	متوسط بارش سالانه (میلیمتر)	نوع اقلیم
زاهدان	۶۰/۹۰	۲۹/۴۷	۱۳۷۰	۹۰/۶	فراخشک معتدل
مشهد	۵۹/۶۳	۳۶/۲۴	۹۹۹/۲	۲۵۵/۲	نیمه خشک سردسیر
همدان	۴۸/۵۳	۳۴/۸۷	۱۷۴۰/۸	۳۱۷/۷	نیمه خشک فراسرد
ایلام	۴۶/۳۹	۳۳/۵۹	۱۳۳۷	۶۱۶/۰	مدیترانه‌ای معتدل
یاسوج	۵۱/۵۵	۳۰/۶۹	۱۸۱۶/۳	۱۲۱۷/۸	مرطوب سردسیر
رامسر	۵۰/۶۷	۳۶/۹۰	-۲۰	-۱۲۹۳/۵	بسیارمرطوب(الف) معتدل
بندرانزلی	۴۹/۴۵	۳۷/۴۸	-۲۳/۶	-۱۸۵۳/۵	بسیارمرطوب(ب) معتدل

شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

بدست آمده به توزیع نرمال استاندارد جمعیتی با میانگین صفر و انحراف معیار یک می‌باشد. در واقع SPI عبارت است از متغیری از تابع توزیع نرمال استاندارد که مقدار احتمال جمعیتی آن با مقدار احتمال جمعیتی متغیر مورد نظر از تابع توزیع گامای بدست آمده مساوی باشد (Hayes et al, 1999). بهترین حالت انتقال یک متغیر از یک توزیع آماری به توزیع آماری دیگر، انتقال هم‌احتمال می‌باشد که در آن احتمال‌های کمتر یا مساوی دو متغیر از دو توزیع برابر با هم فرض می‌شوند. مقادیر طبقه‌های مختلف شدت خشکسالی برای شاخص SPI در جدول ۲ ارائه شده است.

شاخص SPI توسط McKee و همکارانش در سال ۱۹۹۴ به منظور تعیین و پایش خشکسالی ارائه گردید. هدف از ارائه شاخص SPI، ارائه یک شاخص عددی می‌باشد که بتواند ریزش‌های جوی مناطق با اقلیم‌های متفاوت را با هم مقایسه کند. تنوع کاربرد، به شاخص SPI این امکان را می‌دهد که خشکسالی را هم برای مقیاس‌های کوتاه‌مدت و هم برای مقیاس‌های درازمدت پایش نماید. به تجربه ثابت شده است که توزیع احتمال بارش در یک ایستگاه غالباً از تابع توزیع احتمال گاما پیروی می‌کند. تابع چگالی احتمال این توزیع به صورت معادله‌ی ۳ است (Bordi and Sutera, 2004).

جدول ۲- طبقه‌بندی خشکسالی براساس شاخص SPI (Edwards and McKee, 1997)

مقدار SPI	طبقه بندی خشکسالی
۲ و بیشتر	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	خیلی مرطوب
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط
۰ تا ۰/۹۹	ترسالی ملایم
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید
-۲ و کمتر	خشکسالی بسیار شدید

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad x > 0 \quad (3)$$

که در این معادله، x مقدار متغیر، α پارامتر شکل و β پارامتر مقیاس توزیع و $\Gamma(x)$ تابع گاما است که معادله‌ی آن به صورت معادله‌ی ۴ می‌باشد.

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (4)$$

تابع گاما انتگرالی همگرا می‌باشد که مقدار آن عددی مثبت بوده و y مقدار متغیر تصادفی است. ضرایب α و β بهینه نیز از طریق معادلات ۵ و ۶ محاسبه می‌شوند.

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right] \quad (5)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad (6)$$

$$A = \ln(\hat{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (7)$$

که در آن n تعداد مشاهدات بارش می‌باشد.

برای محاسبه SPI، ابتدا یک توزیع گاما با پارامترهای محاسبه شده به اطلاعات بارش هر ایستگاه برازش داده می‌شود. پارامترهای α و β برای هر سری بارش باید به طور جداگانه محاسبه شود. در محاسبه SPI از تابع توزیع احتمال جمعیتی استفاده می‌شود که احتمال جمعیتی از معادله ۸ محاسبه می‌گردد.

$$F(x) = \int_0^x f(x) dx = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (8)$$

گام بعدی در محاسبه SPI، انتقال احتمال جمعیتی از توزیع گامای

مدل سازی سری های زمانی

تحلیل سری های زمانی به عنوان بخشی از روش های آماری و احتمالاتی برای پیش بینی و کنترل داده ها توسعه یافته است. از خصوصیات سری های زمانی وجود تناوب های منظم، روندهای مختلف و نوسانات تصادفی می باشد. بر این اساس می توان فرض کرد که روند تغییرات فصلی، تابعی از تغییرات گذشته سیستم می باشد و به عبارت دیگر سری به عنوان یک حافظه عمل کرده و تغییرات دوره ای و سیکلی را در خود ذخیره می کند. این خصوصیت امکان تجزیه تحلیل سری از نظر تاثیر پذیری از عوامل دیگر، تقدم و تأخر این تأثیر و در نهایت امکان پیش بینی را فراهم می سازد. باتوجه به گفته های

و مرحله با تاخیر زمانی k و مقدار میانگین مربوط به متغیرها می‌باشد.

روش دیگر برای عنوان نمودن وابستگی زمانی در ساختار یک سری زمانی، تعریف تابع خودهمبستگی جزئی می‌باشد. اگر φ_k تابع خودهمبستگی جزئی سری زمانی با تاخیر k باشد، معادله تابع خودهمبستگی جزئی (PACF) به صورت معادله‌ی ۱۱ نشان داده می‌شود.

$$\varphi_k(k) = \frac{\rho_k - \sum_{i=1}^{k-1} \varphi_i(k-1)\rho_{k-i}}{1 - \sum_{i=1}^{k-1} \varphi_i(k-1)\rho_i} \quad (11)$$

φ_k مقدار تابع خودهمبستگی جزئی سری زمانی با تاخیر k می‌باشد.

با استفاده از توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی، مدل‌های سری زمانی مناسب به داده‌ها برازش داده می‌شود و با استفاده از رفتار این دو تابع خواص ایستایی و فصلی بودن داده‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد (Box et al., 2015). هرگاه در یک سری بعد از هر فاصله زمانی مشخص (s) شباهت‌هایی پیدا شود، سری دارای رفتار فصلی یا تناوبی با دوره تناوب s می‌شود. برای ساخت این مدل‌ها چهار مرحله شناسایی مدل، برازش الگو، تشخیص درستی الگو و پیش‌بینی باید انجام گیرد. در کل مدل به صورت SARIMA (P,D,Q)(p,d,q) نامیده می‌شود که (p,d,q) قسمت غیرفصلی مدل و (P,D,Q) بخش فصلی مدل است و به صورت معادله‌ی ۱۲ بیان می‌شود.

$$\phi P(B) \phi p(Bs) \Delta d \Delta s D(zt - \bar{Z}) = \theta q(B) \Theta Q(Bs) \quad (12)$$

θq و ϕp ، Q و P فصلی فصلی‌های چندجمله‌ای فصلی $\Delta d = (I-B)d$ رتبه چندجمله‌ای p و q می‌باشند. $\Delta = I-B$ عملگر جهش به عقب، z سری‌های فصلی مشاهده شده و s طول فصل می‌باشد.

در مرحله شناسایی الگو، با رسم نمودارهای خودهمبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزئی (PACF)، ایستایی میانگین و واریانس داده‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در مرحله بعد ساختار همبستگی زمانی داده‌های تبدیل شده، بوسیله آزمون توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی تعیین گردید. با توجه به تعداد گام‌های معنی‌دار در هر یک از نمودارهای ACF و PACF، می‌توان محدوده تغییرات مرتبه مدل‌ها را بدست آورد و در نهایت با ترکیب آن به مدل‌های داوطلب دست یافت. مدلی که حداقل معیار اطلاعاتی آکائیکه (AIC) و بیزین (BIC) را داشته باشد به عنوان بهترین مدل انتخاب می‌گردد.

معادلات ریاضی مربوط به AIC و BIC برای ارزیابی مدل سری زمانی به صورت معادلات ۱۳ و ۱۴ می‌باشند (Fridmen, 1992).

$$AIC = n(\ln \text{MSE}) + 2m \quad (13)$$

$$BIC = n(\ln \text{MSE}) + 2m(\ln \text{MSE}) \quad (14)$$

فوق مهم‌ترین عامل در تجزیه و تحلیل سری زمانی یافتن یک الگو است. این الگو حاصل وابستگی داده‌های سری در زمان‌های مختلف به یکدیگر می‌باشد و این موضوع به پیش‌بینی داده‌ها بها می‌بخشد (رضیئی، ۱۳۹۵).

سری‌های زمانی به دو نوع سری ایستا و نایستا تقسیم می‌شوند. یک سری وقتی ایستا است که تغییر منظمی در میانگین و واریانس آن وجود نداشته و تغییرات دوره‌ای اکید در آن حذف شده باشد. سری‌های نایستا را می‌توان با تفاضلی نمودن یا پایدار نمودن واریانس آن به سری‌های ایستا تبدیل نمود (Brockwell and Davis, 1996). تغییراتی که در سری‌های زمانی به دست می‌آید، می‌تواند بر اثر عوامل طبیعی یا عوامل دیگر باشد و بنابراین بایستی اجزای تشکیل دهنده آن را شناخت و آن‌ها را اندازه‌گیری کرد. غالباً سری‌های زمانی سالانه هیدرولوژی را ایستا فرض می‌کنند. سری‌های زمانی درون‌سالی به علت تغییرات فصلی غیرایستا می‌باشند.

سری‌های زمانی همواره دارای نوساناتی هستند که این نوسانات، خود را به صورت تناوب، روند و پرش و در واقع به صورت کاهش یا افزایش میانگین کلی سری زمانی نشان می‌دهند. شناخت این تغییرات، پایه و اساس تحلیل سری‌های زمانی را تشکیل می‌دهد. برای تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی، معمولاً هر سری زمانی را شامل دو مولفه اساسی بنام‌های، مولفه‌های تعیینی و مولفه‌های تصادفی در نظر گرفته، سری زمانی را به شکل ریاضی معادله‌ی ۹ تعریف می‌نمایند.

$$X_t = T_t + P_t + J_t + a_t \quad (9)$$

در معادله‌ی ۹ سه مولفه‌ی $T_t + P_t + J_t$ مولفه‌های تعیینی بوده و به ترتیب روند، تغییرات فصلی و مولفه پرش می‌باشند. a_t مولفه تصادفی و X_t سری زمانی مدنظر می‌باشد.

تابع خودهمبستگی یکی از ابزارهای بسیار مهم برای امتحان وابستگی داده‌ها، می‌باشد. این تابع، همبستگی میان مشاهدات را در فواصل مختلف اندازه می‌گیرد و جهت بررسی سری زمانی بکار می‌رود. این تابع، اغلب بینشی از الگوی احتمالی که داده‌ها را تولید می‌کند، ارائه می‌دهد. این امر برای تشخیص و برازش مدل استوکاستیکی مناسب برای داده‌ها، استفاده می‌شود. در واقع به منظور شناسایی تاخیرهای زمانی در ساختار داده‌های مورد استفاده می‌بایست از تابع خودهمبستگی استفاده نمود (بزرگ‌نیا و خرمی، ۱۳۸۶). معادله‌ی تابع خودهمبستگی (ACF) با تاخیر k به صورت معادله‌ی ۱۰ نشان داده می‌شود (Fridmen, 1992).

$$\rho_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} (z_i - \bar{z})(z_{i+k} - \bar{z})}{\sum_{i=1}^{n-k} (z_i - \bar{z})^2} - 1 \leq \rho_k \leq 1 \quad (10)$$

که در آن ρ_k مقدار تابع خودهمبستگی سری زمانی با تاخیر k ، Z_i و Z_{i+k} مقادیر متغیرها یا داده‌های سری زمانی در مرحله زمانی i

زمانی ایستگاه‌های مورد مطالعه، این نتیجه حاصل شد که سری‌های زمانی مورد بررسی ایستا می‌باشند و از یک روند معنی‌داری پیروی می‌کنند.

از سوی دیگر نتایج نشان داد که داده‌های واقعی مناطق مطالعاتی نرمال نیستند. نرمال بودن داده‌ها به این دلیل اهمیت دارد که تئوری سری‌های زمانی بر اساس نرمال بودن داده‌ها توسعه یافته است و در صورتی که داده‌ها نرمال نباشند بایستی با استفاده از روش‌های مختلف آن‌ها را نرمال‌سازی نمود. از جمله روش‌های نرمال‌سازی داده‌ها استفاده از روش باکس-کاکس می‌باشد که در پژوهش حاضر برای داده‌ها، استفاده شده است.

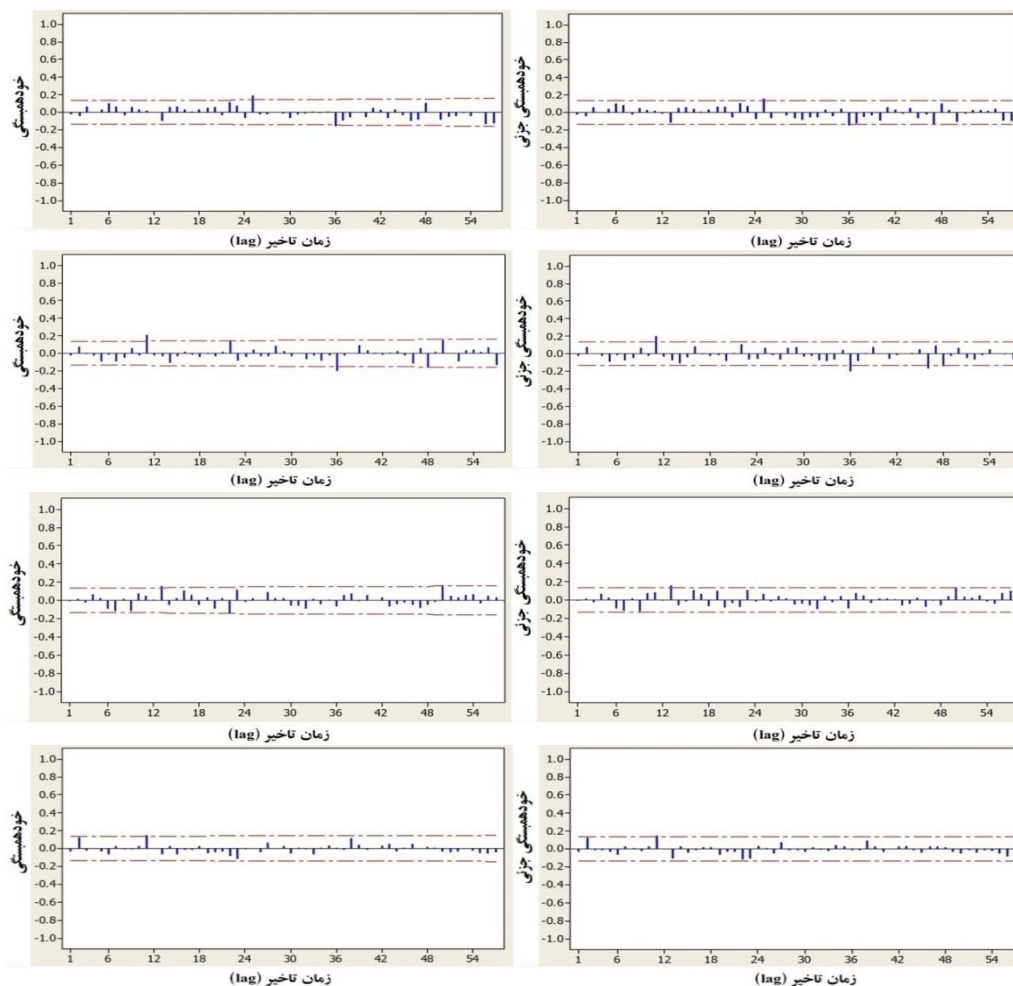
روش مهم در تشخیص مدل، ارزیابی نمودارهای خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی می‌باشد. با بررسی نمودارهای سری زمانی بارندگی و رسم ACF و PACF آن‌ها، این نتیجه حاصل شد که روند داده‌های بارندگی در ایستگاه‌های مورد مطالعه فصلی است، به همین دلیل از مدل SARIMA استفاده شد. شکل ۲ نمودارهای ACF و PACF مربوط به سری زمانی بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشند.

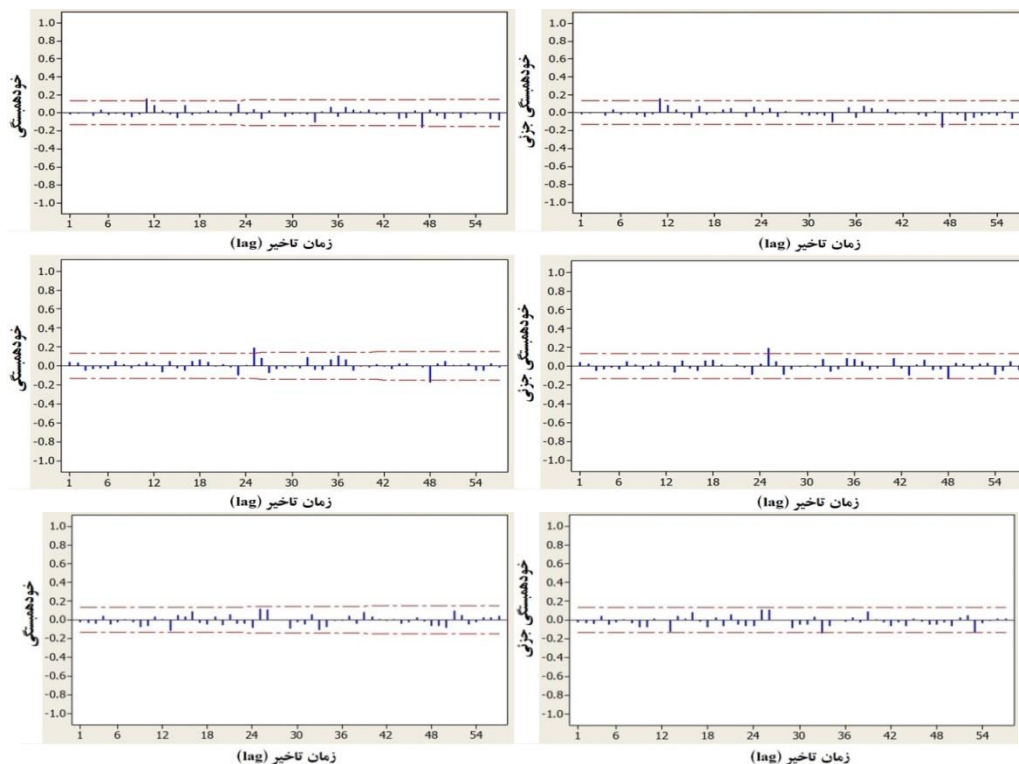
که در آن n تعداد مشاهدات، $m = (p+q+P+Q)$ یعنی تعداد پارامترهای برآورد شده مدل و MSE مجموع مربعات خطای مدل مورد نظر است. کم بودن مقادیر AIC و BIC نشان‌دهنده برتری مدل می‌باشد.

در این مطالعه کوشش شده است تا با برازش مدل‌های مختلف SARIMA بر سری زمانی بارش تمامی ایستگاه‌ها، بهترین مدل در هر ایستگاه مشخص و پیش‌بینی آینده بارش و خشکسالی هواشناسی مورد بررسی قرار گیرد. به این منظور پس از برآورد معیارهای اطلاعاتی آکائیکه و بی‌زین (AIC) و (BIC) در هر ایستگاه، مدل مناسب انتخاب شد.

نتایج و بحث

به منظور تشخیص مدل، رسم نمودار در مدل‌سازی یک سری زمانی جهت شناسایی ایستایی یا نایستایی در واریانس، فصلی بودن یا نبودن و شناسایی داده‌های پرت حائز اهمیت است. نتایج بررسی ایستایی در واریانس با استفاده از روش باکس-کاکس، حاکی از ایستا بودن داده‌ها در واریانس می‌باشد. پس از بررسی نمودارهای سری





شکل ۲- نمودارهای خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی با احتمال ۹۵ درصد بارش در ایستگاه‌های مطالعاتی (به ترتیب از فراخسک تا بسیار مرطوب (ب))

باقیمانده‌های مدل برازش شده که به کمک نمودارهای مربوط به باقیمانده‌ها انجام می‌شود، استفاده گردید و نمودار احتمال نرمال باقیمانده‌ها رسم شدند. در صورتی که مدل انتخابی درست تشخیص داده‌شود باید خطاها دارای توزیع نرمال، مستقل و هم‌توزیع باشند. برای بررسی این فرض می‌توان هیستوگرام باقی‌مانده‌ها یا نمودار احتمال نرمال آن‌ها را رسم کرد. در صورتی که توزیع خطا نرمال باشد باید در نمودار احتمال نرمال، نقاط در امتداد یک خط مستقیم قرار گیرند.

شکل ۳ هیستوگرام باقی‌مانده‌ها و نمودار احتمال نرمال داده‌های بارش در ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهند.

با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود که مقادیر باقیمانده‌های مدل (نقاط قرمز رنگ موجود در نمودار درصد نرمال) در تمامی ایستگاه‌ها در امتداد خط مستقیم (خط نرمال) قرار گرفته و از آن پیروی می‌کنند. همچنین نمودارهای هیستوگرام مانده‌های مدل در کلیه ایستگاه‌ها به شکل زنگوله‌ای مانند توزیع نرمال، نزدیک بوده و از این توزیع تبعیت می‌کنند. در واقع مدل‌های برازش داده‌شده به داده‌های بارش تمامی ایستگاه‌ها بر اساس جدول ۳ دارای نتایج قابل‌قبولی بوده و با مشاهده نمودارهای باقیمانده‌های این مدل‌ها، عملکرد مدل SARIMA برای پیش‌بینی بارش رضایت بخش می‌باشد.

در شکل ۲، باندهای افقی موازی (خط‌چین‌ها) نمایانگر سطح اعتماد ۹۵ درصد هستند. روند تناوبی و تکراری در نمودارهای خودهمبستگی تمامی ایستگاه‌ها، نشان‌دهنده فصلی بودن و در نتیجه استفاده از مدل SARIMA برای داده‌ها می‌باشد. در واقع، نوسانات مشاهده شده در داده‌ها، نشان‌دهنده رفتار فصلی آن‌ها می‌باشد. به طور مثال در ایستگاه مشهد تغییرات زمان تاخیر از مقادیر مثبت به سمت مقادیر منفی و بالعکس، نشان‌دهنده نوسانات سینوسی توابع ACF و PACF بوده و فصلی بودن مدل را تأیید می‌کنند.

گام بعد انتخاب الگوی برتر می‌باشد. بدین منظور از معیارهای متفاوتی استفاده می‌شود. در پژوهش حاضر با استفاده از معیار AIC که بر مبنای باقیمانده‌های مدل برازش شده می‌باشد و معیار BIC، بهترین مدل برازش داده‌شده از بین تمامی مدل‌ها برای هر یک از ایستگاه‌ها انتخاب شد. آزمون و معیار آکائیکه (AIC) از روش‌های مقایسه مدل‌های مختلف می‌باشد. این روش بر این مبنا استوار است که از بین مدل‌های مناسب، مدلی با توجه به معیارهای مورد نظر، بهترین مدل است که دارای کمترین مقدار AIC باشد. نتایج مدل‌های بهینه مختلف سری‌های زمانی SARIMA برای تمامی ایستگاه‌ها و معیارهای AIC و BIC در جدول ۳ آمده است.

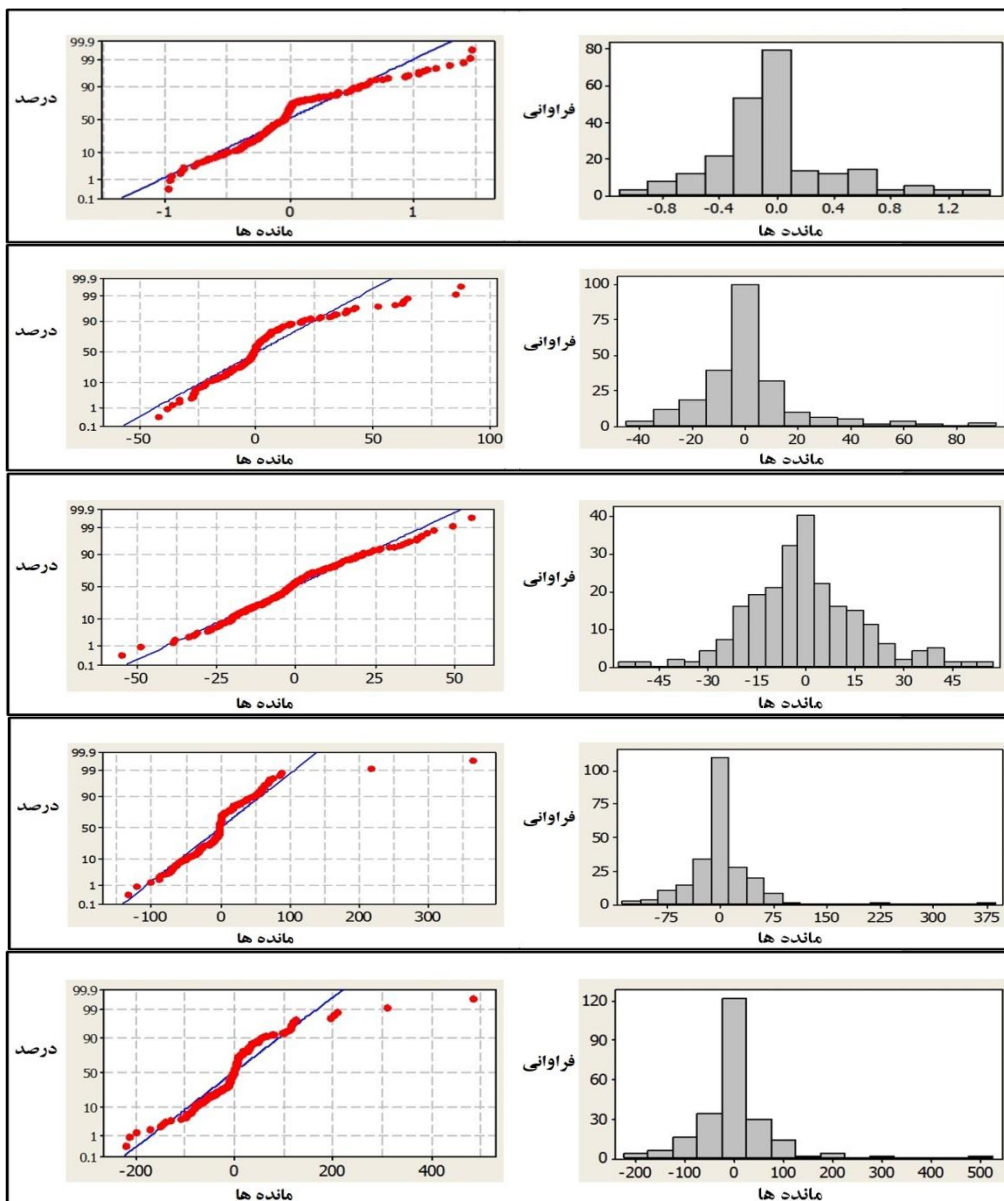
نتایج پیش‌بینی سری زمانی بارش

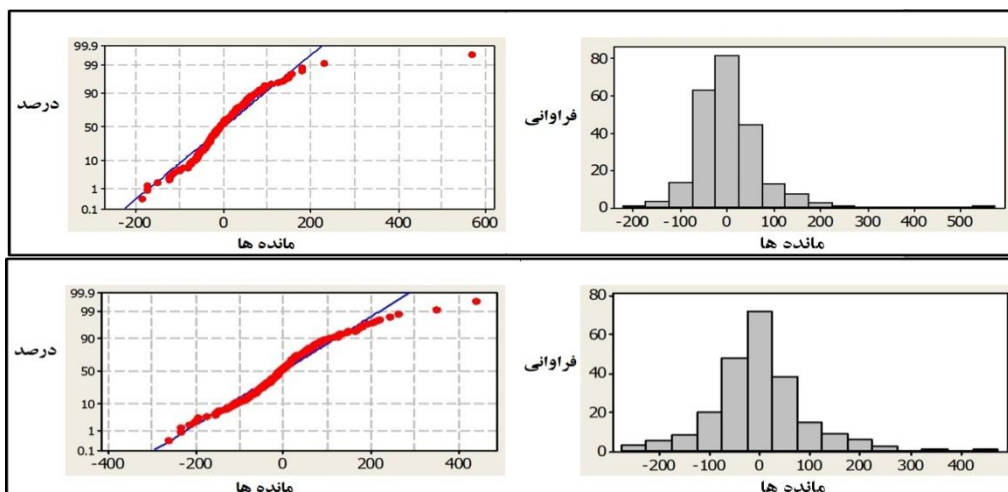
برای بررسی مناسب بودن مدل، از روش تجزیه و تحلیل

جدول ۳- مدل بهینه * SARIMA(p,d,q)(P,D,Q) ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	معیارهای ارزیابی مدل			مدل
	BIC	AIC	MSE	SARIMA
زاهدان	۱۳۰۶/۰۳۳	۱۲۶۳/۷۹۲	۱۸۵/۷	(۱,۰,۱)(۱,۱,۱)
مشهد	۱۴۵۴/۳۲۱	۱۴۱۵/۴۰۸	۳۵۲/۲	(۱,۰,۱)(۲,۱,۰)
همدان	۱۴۲۳/۳۴۹	۱۳۷۶/۴۱۵	۲۹۶/۹	(۱,۰,۱)(۱,۱,۲)
ایلام	۱۸۸۰/۶۵	۱۸۴۰/۷۸۱	۲۰۹۰	(۱,۰,۱)(۱,۱,۱)
یاسوج	۲۰۸۵/۷۳۹	۲۰۵۵/۵۴۶	۵۱۵۷	(۱,۰,۰)(۱,۱,۰)
رامسر	۲۱۴۷/۸۹	۲۰۷۱/۹۷۴	۵۳۸۶	(۱,۰,۱)(۱,۱,۲)
بندرانزلی	۲۲۳۸/۰۴۲	۲۱۸۹/۴۵۶	۸۹۳۵	(۱,۰,۱)(۱,۱,۰)

* (p,d,q) بخش غیر فصلی مدل و (P,D,Q) بخش فصلی مدل





شکل ۳- نمودارهای هیستوگرام و درصد نرمال مانده‌های بارش ایستگاه‌های مطالعاتی (به ترتیب از فراخشک تا بسیار مرطوب (ب))

مطالعاتی، مقادیر ۳ سال بعد از آن پیش‌بینی گردید. جدول ۴ مقادیر بارش پیش‌بینی‌شده و شاخص SPI متناظر با آن را در سال‌های آبی ۲۰۲۰-۲۰۲۱، ۲۰۲۱-۲۰۲۲ و ۲۰۲۲-۲۰۲۳ برای تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد.

یکی از اهداف ساختن الگو برای یک سری زمانی این است که بتوان مقادیر سری در زمان‌های آینده را پیش‌بینی نمود. پس از مشخص شدن مدل سری زمانی مناسب برای مجموعه داده‌های مورد بررسی، می‌توان از آن برای پیش‌بینی رفتار آینده سری استفاده کرد. در این مطالعه با داشتن داده‌های بارش ۲۰ ساله ایستگاه‌های

جدول ۴- پیش‌بینی روند خشکسالی براساس شاخص SPI-12 در ایستگاه‌های مطالعاتی با مدل SARIMA

ایستگاه	سال آبی	بارش سالانه (mm)	SPI-12
زاهدان	۲۰۲۰-۲۰۲۱	۵/۰۶	-۱/۵۲۱۴
	۲۰۲۱-۲۰۲۲	۴/۷۲	-۱/۵۸۲۵
	۲۰۲۲-۲۰۲۳	۴/۷۵	-۱/۵۵۱۱
مشهد	۲۰۲۰-۲۰۲۱	۲۰۵/۱۷	-۰/۹۷۳۵
	۲۰۲۱-۲۰۲۲	۲۰۱/۰۶	-۱/۰۲۹۷
	۲۰۲۲-۲۰۲۳	۱۹۹/۲۷	-۱/۱۱۶۱
همدان	۲۰۲۰-۲۰۲۱	۳۳۸/۵۳	-۰/۴۷۱۱
	۲۰۲۱-۲۰۲۲	۳۲۴/۰۲	-۰/۵۱۰۴
	۲۰۲۲-۲۰۲۳	۳۰۹/۹۲	-۰/۵۲۹۷
ایلام	۲۰۲۰-۲۰۲۱	۶۹۳/۸۷	-۰/۳۰۱۴
	۲۰۲۱-۲۰۲۲	۵۶۶/۷۴	-۰/۳۲۱۷
	۲۰۲۲-۲۰۲۳	۵۴۷/۴۸	-۰/۳۳۱۱
یاسوج	۲۰۲۰-۲۰۲۱	۸۲۰/۴۰	-۰/۱۸۲۵
	۲۰۲۱-۲۰۲۲	۷۴۳/۲۷	-۰/۱۹۶۲
	۲۰۲۲-۲۰۲۳	۷۴۹/۷۴	-۰/۱۹۲۵
رامسر	۲۰۲۰-۲۰۲۱	۷۸۱/۳۰	۰/۱۹۰۱
	۲۰۲۱-۲۰۲۲	۸۲۸/۶۵	۰/۱۸۱۰
	۲۰۲۲-۲۰۲۳	۷۳۹/۳۸	۰/۱۹۶۵
بندرانزلی	۲۰۲۰-۲۰۲۱	۱۵۹۲/۵۳	۰/۱۹۷۲
	۲۰۲۱-۲۰۲۲	۱۵۳۷/۲۰	۰/۱۸۸۴
	۲۰۲۲-۲۰۲۳	۱۵۴۸/۵۹	۰/۱۸۹۹

جدول ۵- طبقه بندی خشکسالی براساس شاخص SPI (Edwards and McKee, 1997)

مقدار SPI	طبقه بندی خشکسالی
۲ و بیشتر	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	خیلی مرطوب
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط
۰ تا ۰/۹۹	ترسالی ملایم
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید
-۲ و کمتر	خشکسالی بسیار شدید

منابع

بذرافشان، ج.، حجابی، س.، و هاشمی نسب، آ. ۱۳۹۲. تاثیر تغییر اقلیم آینده بر احتمالات انتقال طبقات خشکسالی در اقلیم های حدى ایران (مطالعه موردی: ایستگاه های بندرانزلی و نوشهر). نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک. ۲۲: ۱: ۱۳۱-۱۵۰.

جهاننیده، م.، و شیروانی، ا. ۱۳۹۰. پیش بینی خشکسالی بر پایه نمایه بارش استاندارد شده با استفاده از مدل های سری زمانی در استان فارس. مجله پژوهش آب ایران. ۵: ۹: ۱۹-۲۸.

حسن زاده، ی.، عبدی کردانی، ا.، و فاخری فرد، ا. ۱۳۹۱. پیش بینی خشکسالی با استفاده از الگوریتم ژنتیک و مدل ترکیبی شبکه عصبی-موجکی. نشریه آب و فاضلاب. ۳: ۴۸-۵۹.

حلمی، ح.، بختیاری، ب.، و قادری، ک. ۱۳۹۷. ارزیابی روش کنترل گروهی داده ها (GMDH) و سیستم استنتاج فازی-عصبی (ANFIS) در پیش بینی خشکسالی در چند نمونه اقلیمی مختلف. نشریه پژوهش های اقلیم شناسی. ۹: ۳۵: ۱-۱۸.

بزرگ نیا، ا.، و خرمی، م. ۱۳۸۶. تجزیه و تحلیل سری های زمانی با نرم افزار Minitab14. انتشارات سخن گستر.

رضیعی، ط. ۱۳۹۵. پیش بینی خشکسالی در منطقه خشک و نیمه خشک ایران با استفاده از مدل های سری زمانی و زنجیره مارکوف. نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز. ۴: ۸: ۴۵۴-۴۷۷.

سلیقه، م.، عساکره، ح.، ناصرزاده، م.ح.، و بلیانی، ی. ۱۳۹۴. تحلیل روند و چرخه های سری زمانی بارش سالانه حوضه های آبریز حله و مند. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۳۷: ۳۷: ۲۴۵-۲۷۲.

طوفانی، پ.، مساعدی، ا.، و فاخری فرد، ا. ۱۳۹۰. پیش بینی بارندگی با استفاده مستقیم از نظریه موجک مطالعه موردی: ایستگاه باران سنجی زرینگل استان گلستان. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۵: ۵: ۱۲۱۷-۱۲۲۶.

با توجه به جدول ۴ و مقادیر شاخص SPI-12 طبق طبقه بندی براساس این شاخص، نتیجه می شود که زاهدان با اقلیم فراخشک معتدل، در سال های پیش بینی شده، احتمال خشکسالی شدید را خواهد داشت. در ایستگاه مشهد با اقلیم نیمه خشک سردسیر، احتمال رخ دادن خشکسالی متوسط است. اقلیم های نیمه خشک فراسرد (همدان)، مدیترانه ای معتدل (ایلام) و مرطوب سردسیر (یاسوج) وضعیتی نرمال را خواهند داشت و در نهایت در اقلیم بسیار مرطوب (الف و ب) معتدل که ایستگاه های رامسر و بندرانزلی را شامل می شود در سه سال پیش بینی شده توسط مدل SARIMA، احتمال رخداد ترسالی ملایم است.

نتیجه گیری

در پژوهش حاضر، به منظور مدل سازی خشکسالی هواشناسی در ایستگاه های سینوپتیک واقع در نمونه های اقلیمی متفاوت ایران، از مدل سری زمانی SARIMA استفاده شده است. نتایج مدل سری زمانی نشان داد با توجه به روند تناوبی و فصلی داده های بارش تمامی ایستگاه ها، استفاده از مدل SARIMA مناسب می باشد. نمودارهای باقیمانده های بارش این مدل در ایستگاه های مطالعاتی بسیار نزدیک به حالت نرمال بوده و عملکرد مدل در پیش بینی بارش و در نتیجه خشکسالی هواشناسی رضایت بخش بوده است. همچنین از نظر سرعت محاسبات عملکرد خوبی داشته و پیش بینی خشکسالی با این روش قابل اطمینان و امکان استفاده از این مدل برای پیش بینی های آتی میسر می باشد. در نهایت نتایج مدل حاکی از آن است که در زاهدان (اقلیم فراخشک معتدل) در سال های پیش بینی شده، احتمال خشکسالی شدید خواهد بود. در ایستگاه مشهد (اقلیم نیمه خشک سردسیر)، احتمال رخ دادن خشکسالی متوسط است. اقلیم های نیمه خشک فراسرد (همدان)، مدیترانه ای معتدل (ایلام) و مرطوب سردسیر (یاسوج) وضعیتی نرمال را خواهند داشت و در نهایت در اقلیم بسیار مرطوب (الف و ب) معتدل (رامسر و بندرانزلی) در سه سال پیش بینی شده توسط مدل SARIMA، احتمال رخداد ترسالی ملایم است.

- Bulletin of the American Meteorological Society. 80.3: 429- 437.
- HsinFu, Y. and HsinLi, H. 2019. Stochastic Model for Drought Forecasting in the Southern Taiwan Basin. Department of Resources of Engineering, National Cheng Kung University. 11.10: 2041.
- Hurst, H. 1951. Long Term Storage Capacity of Reservoirs. Transactions of the American Society of Civil Engineers. 116: 770-799.
- Karimi, M., Melesse, A.M., Khosravi, KH., Mamuye, M. and Zhang, J. 2019. Analysis and prediction of eteorological drought using SPI index and ARIMA model in the Karkheh River Basin, Iran. Extreme Hydrology and Climate Variability: Monitoring, Modelling, Adaptation and Mitigation. 343-354.
- Mishra, A.K. and Desai, V.R. 2005. Drought forecasting using stochastic models. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. 19.5: 326-339.
- Mishra, A.K. and Singh, V. P. 2010. A review of drought concepts. Journal of Hydrology, 391.1-2: 202-216.
- Mosaedi, M., Marashi, M. and Kavakebi, GH. 2009. Comparison of Drought Frequency in arid and humid regions (Case study: Golestan Province). Journal of Agriculture Science Natural Resources 16.1: 277-290.
- Naill, P.E. and Momani, M. 2009. Time Series Analysis Model for Rainfall Data in Jordan: Case Study for Using Time Series Analysis. American Journal of EnvironmentalSciences, 5.5: 599-604.
- Narasimha, K.V., Saravana, R. and Vijaya, K. 2017. Modeling and forecasting rainfall patterns of southwest monsoons in North-East India as a SARIMA process. Meteorological Atmosphere Physical. 184: 149-175.
- Rahimi, J., Ebrahimpour, M. and Khalili, A. 2012. Spatial changes of Extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. Theoretical and Applied Climatology. 112: 409-418.
- Ravinesh, C.D., Ozgur K and Vijay, P.S. 2016. Drought forecasting in eastern Australia using multivariate adaptive regression spline least square support vector machine and M5Tree model. Atmospheric Research. 184: 149-175.
- Ruhf, R, and Cutrim, E.M. 2003. Cutrim. Time seriesanalysis of 20 years of hourly precipitation in southwest Michigan. Journal of Great Lakes Research. 29.2: 256-267.
- Sharma, B.R. and Smakhtin, V.U. 2004. Potential of water harvesting as a strategic tool for drought mitigation international Water Management Institue. ۱۳۹۳. ح. و انصاری، م.، و موسوی بایگی، ا.، عابدینی، ا.، شبکه عصبی مصنوعی در تخمین نمایه های خشکسالی SPI و PDSI در ایستگاه سینوپتیک شهر مشهد. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۲۸. ۱: ۲۲۷-۲۳۹.
- عبدالله نژاد، ک. ۱۳۹۴. مدل های سری زمانی در پیش‌بینی بارندگی (مطالعه موردی: ایستگاه هاشم آباد گرگان). مجله آمایش جغرافیایی فضا، فصلنامه علمی پژوهشی دانشگاه گلستان. ۵. ۱۷: ۱۵-۲۵.
- عیوضی، م.، مساعدی، ا.، و دهقانی، ا.ا. ۱۳۸۸. مقایسه روش‌های مختلف پیش‌بینی شاخص خشکسالی SPI. مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک. ۱۶. ۲: ۱۴۵-۱۶۷.
- کارآموز، م.، و عراقی نژاد، ش. ۱۳۸۹. هیدرولوژی پیشرفته. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- نیکبخت، ع.، زهرایی، ب.، و ناصری، م. ۱۳۹۱. پیش‌بینی فصلی خشکسالی هواشناسی با استفاده از ماشین های بردار پشتیبان. نشریه آب و فاضلاب. ۲: ۷۲-۸۴.
- Adamowski, J. and Belayneh, A. 2012. Standard precipitation index drought forecasting using neural networks, wavelet neural networks and support vector regression. Applied Computational Intelligence and Soft Computing. 1-13.
- Afrifa, E., Bashiru, I.I. and Azumah, K. 2016. SARIMA modeling and forecasting of monthly rainfall in the Brong Ahafo region of Ghana. World Environment. 6.1: 1-9.
- Bordi, I. and Sutera, A. 2004. Drought variability and its climatic implications, Global and Planetary Change. 40.2: 115-127.
- Brockwell, P.J. and Davis, R.A. 1996. Introduction to Time Series and Forecasting.
- Danandeh Mehr, A., Kahya, E. and Ozger, M. 2014. A gene-wavelet model for long lead time drought forecasting. Journal of Hydrology. 517: 691-699.
- Edwards, D.C. and McKee., T.B. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Climatology Report Number 97.2: Colorado State University Fort Collins Colorado.
- Friedman, M. 1992. The interpolation of time series by related series. Journal of the American Statistical Association 57: 729-757.
- Hayes, M.J., Svoboda, M.D. Wilhite, D.A. and Vanyarkho, O.V. 1999. Monitoring the 1996 drought using the Standardized precipitation Index.

Meteorological Drought Modeling and Forecasting Using SARIMA Time Series at Different Climates of Iran

M. Helmi¹, B. Bakhtiari^{2*}, K. Qaderi³

Received: Feb.28, 2020

Accepted: Apr.13, 2020

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the application of the SARIMA time series statistical model in different climatic regions of Iran to forecast meteorological drought. For this purpose, the 12-month standardized precipitation index (SPI) time series was used. Precipitation data were used over 20-years (2000–2019) at seven synoptic stations of Iran located in different climatic regions ranging from extra-arid to per-humid. The SARIMA time series model was developed after checking the stationary and seasonality of precipitation data in the MiniTab software. Akaike and Bayesian Information Criteria (AIC & BIC) were used to identify the optimal model. The results showed that due to the periodic and seasonal trend of precipitation, the use of the SARIMA model is appropriate in all the study stations. The precipitation residuals in the study stations were very close to normal and the model performance was satisfactory in forecasting precipitation and consequently drought. It is also expected that in the extra-arid moderate climates, arid and semi-arid (very cold and cold) climates, Mediterranean moderate climates, humid cold climates, and per-humid types A and B climates, severe drought, moderate drought, near-normal and moderately wet would occur, respectively.

Keywords: Dryness period, Domarton classification, Seasonal time series, Standardized Precipitation Index

1- M.Sc. Graduate in Water Resources Engineering, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman

2- Associate Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman

3 -Associate Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman

(* - Corresponding Author Email: drbakhtiari@uk.ac.ir)