

تحلیل سری‌های زمانی بارش‌های فصلی در ایران

جعفر معصوم‌پور سماکوش* - استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
عبدالله جلیلیان - استادیار گروه آمار، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
احترام یاری - کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۶/۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۶

چکیده

امروزه مدیریت منابع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از این رو، مطالعه بارش، به‌منزله مهم‌ترین منبع تأمین آب، در مقیاس زمانی و مکانی بسیار حائز اهمیت است. این پژوهش در پی تحلیل، ارزیابی، و شناسایی رفتار بارش فصلی است. بدین منظور، داده‌های بارش ۶۷ ایستگاه سینوپتیک کشور با دوره آماری سی‌ساله (۱۹۸۵-۲۰۱۴) استخراج شد. سری‌های زمانی بارش بررسی شد و بهترین مدل بر اساس ملاک اطلاع آکائیک به سری داده‌های هر ایستگاه برازش داده شد. صحت و کفایت مدل‌های برازش‌شده به کمک نمودار مانده‌های استاندارد شده، نمودار تابع خودهمبستگی مانده‌های مدل، و آزمون لیونگ-باکس ارزیابی شد. مرتبه‌های اتورگرسیون، میانگین متحرک، و مرتبه‌های تفاضلی فصلی و بین‌فصلی حاصل از مدل‌های برازش‌شده برای بررسی وابستگی بارش‌های فصلی و بین‌فصلی و تحلیل روند سری‌های زمانی بارش فصلی بررسی شد. نتایج نشان داد برای همه ایستگاه‌های مورد مطالعه (جز بوشهر، شهرکرد، بیرجند، امیدیه آغاچاری، و رشت) مدل ساریما کفایت مناسبی دارد. نتایج به‌دست‌آمده از بررسی مرتبه‌های فصلی نیز نشان داد که به‌جز ایستگاه‌های کاشان، آبعلی، دوشان‌تپه، سمنان، و شاهرود در بقیه ایستگاه‌ها بارش‌ها از الگوهای فصلی تبعیت می‌کنند. همچنین، در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه (۹۳٪) روند کاهشی یا افزایشی معناداری در سری زمانی بارش فصلی مشاهده نشده است.

کلیدواژه‌ها: ایران، بارش فصلی، روند، کفایت مدل، ملاک اطلاع آکائیک، مدل ساریما.

مقدمه

در سال‌های اخیر محدودیت منابع آبی برای تأمین آب مورد نیاز کشاورزی و غیرکشاورزی موجب بروز مشکلات زیادی شده است. بارش یکی از منابع مهم تأمین آب و مهم‌ترین مؤلفه ورودی به سیستم‌های هیدرولوژیکی به‌شمار می‌رود، بنابراین، مطالعه و اندازه‌گیری آن در بیشتر موارد برای مطالعه رواناب، خشک‌سالی، آب‌های زیرزمینی، سیلاب، رسوب، و غیره لازم و ضروری است (عبدالله‌نژاد، ۱۳۹۴: ۱۵). امروزه کمبود یا توزیع نامناسب آب یکی از عمده‌ترین دغدغه‌هایی است که در آینده‌نچندان دور از معضلات جامعه بشری به‌شمار خواهد آمد. با توجه به اینکه هر ساله با کم‌شدن کمیت و تخریب کیفی آب منابع آب محدودتر می‌شود و تقاضا برای استفاده از آب همواره رو به فزونی است، پیش‌بینی بارندگی برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب اهمیت بسزایی خواهد داشت. در این میان تحلیل و مدل‌سازی سری‌های زمانی

متغیرهای اقلیمی به منظور پیش‌بینی مقادیر آبی آن‌ها در دو دهه اخیر مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. یک سری زمانی دنباله‌ای از مشاهدات مربوط به یک متغیر، مانند بارش، است که در طی زمان گردآوری شده‌اند. هدف از تجزیه و تحلیل سری زمانی یافتن مدل تغییرات و پیش‌بینی آینده (فرج‌زاده، ۱۳۸۶: ۱۱۵) و همچنین شناسایی روند آن برای تحلیل است. بنابراین، بررسی و پیش‌بینی نزولات جوی در ابعاد زمانی متفاوت (روزانه، ماهانه، فصلی، و سالانه) برای هر منطقه و آبخیز یکی از مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی در استفاده بهینه از منابع آبی به‌شمار می‌رود که می‌تواند در پراکندگی و توزیع زمانی و مکانی دیگر عناصر اقلیمی مؤثر باشد.

مدل‌سازی در خانواده آرما، آریمای و ساریما یکی از شیوه‌های مهم و معتبر در توصیف و شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی است (باکس و جنکینز، ۱۹۷۶). تحقیقات متعددی در زمینه استفاده از سری‌های زمانی در بررسی پارامترهای اقلیم‌شناسی و هیدرولوژیکی، همچون بارش، دما، و جریان‌های رودخانه، انجام گرفته است؛ محققان به منظور تحلیل تغییرات عناصر اقلیمی تلاش کرده‌اند این پارامترها را مدل‌سازی و سپس شبیه‌سازی کنند و همچنین کفایت مدل‌ها را ارزیابی کنند. برخی از این مطالعات کارایی و صحت مدل‌های سری زمانی و مدل ساریما را برای تحلیل و پیش‌بینی بارش ماهانه (کاشیک و سینگ، ۲۰۰۸؛ ماهسین و همکاران، ۲۰۱۲؛ مجیدعلی، ۲۰۱۳؛ بری و همکاران، ۲۰۱۵؛ چودری و بیسواس، ۲۰۱۶؛ محمد و ابراهیم، ۲۰۱۶؛ آفریفا و همکاران، ۲۰۱۶؛ ابوزفور و همکاران، ۲۰۱۶؛ شریفان و همکاران، ۱۳۸۶؛ حسینعلی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳؛ صلاحی و ملکی مرشد، ۱۳۹۴)، فصلی (گلابی و همکاران، ۱۳۹۳)، هفتگی (زکریا و همکاران، ۲۰۱۲)، و دمای ماهانه (کاشیک و سینگ، ۲۰۰۸؛ شعبانی و همکاران، ۱۳۹۲) ارزیابی کرده‌اند. اتفاقاً در همه موارد مشخص شد که مدل ساریما در پیش‌بینی پارامترهای بارندگی و درجه حرارت در مقیاس زمانی متفاوت قابل اعتماد است و صحت و کفایت آن تأیید شده است.

در پیش‌بینی خشک‌سالی و ترسالی با استفاده از عنصر بارش (علیچانی و رضانی، ۱۳۸۱؛ میثرا و دیسای، ۲۰۰۵؛ معروفی و همکاران، الف ۱۳۹۳) نیز مدل سری زمانی ساریما، به‌منزله مدلی مناسب، انتخاب و دقت و کارایی آن تأیید شد.

چیو و همکاران (۱۹۹۳) شش روش مدل‌سازی بارش-رواناب را برای شبیه‌سازی جریان‌های روزانه، ماهانه، و سالانه در هشت حوضه آبریز در استرالیا مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که با استفاده از روش‌های سری‌های زمانی می‌توان تخمین مناسبی از بازده ماهانه و سالانه را در منابع آبی از حوضه‌های آبریز به‌دست آورد. نیل و مومانی (۲۰۰۹) نیز سری زمانی بارش کشور اردن را در دوره آماری ۱۹۶۲-۱۹۹۹ بررسی کردند. آن‌ها بر اساس معیارهای اطلاع آکائیک و اطلاع بیزی شوارز اظهار کردند که مدل ساریما بهترین مدل برای پیش‌بینی بارش در آینده است.

چانگ و همکاران (۲۰۱۲)، به منظور پیش‌بینی روند بارش سه‌ساله یانتای چین، از مدل ساریما برای تحلیل داده‌های بارش ماهانه (طی دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۱) استفاده کردند. نتایج نشان داد مدل ساریما برای مدل‌سازی و پیش‌بینی سری زمانی ماهانه بارش مناسب است و پیش‌بینی‌ها بر اساس این مدل نشان می‌دهد که بارش طی سه سال آینده کاهش خواهد یافت.

کیونجا و همکاران (۲۰۱۴)، به منظور تعیین مقادیر پیش‌بینی بارش در کنیا و همچنین برای تعیین دقت مدل ساریما در پیش‌بینی بارش، بیان کردند که در این مطالعه آزمون نرمال بودن مانده‌ها و ارزیابی پیش‌بینی‌ها با مقادیر واقعی نشان می‌دهد که مدل ساریما مدل خوبی برای پیش‌بینی بارش در منطقه کنیا است.

فلاح قاله‌ری و همکاران (۲۰۱۵)، به منظور مقایسه دقت پیش‌بینی مدل‌های سری زمانی در مدل‌سازی بارش فصلی در جنوب استان کرمان، داده‌های بارش فصول سرد سال سه ایستگاه جیرفت، کهنوج، و منوجان استان کرمان را

با استفاده از مدل‌های سری زمانی ساریما مطالعه کردند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که این مدل‌ها از دقت قابل قبولی برای پیش‌بینی بارش در دوره سرد سال برخوردارند.

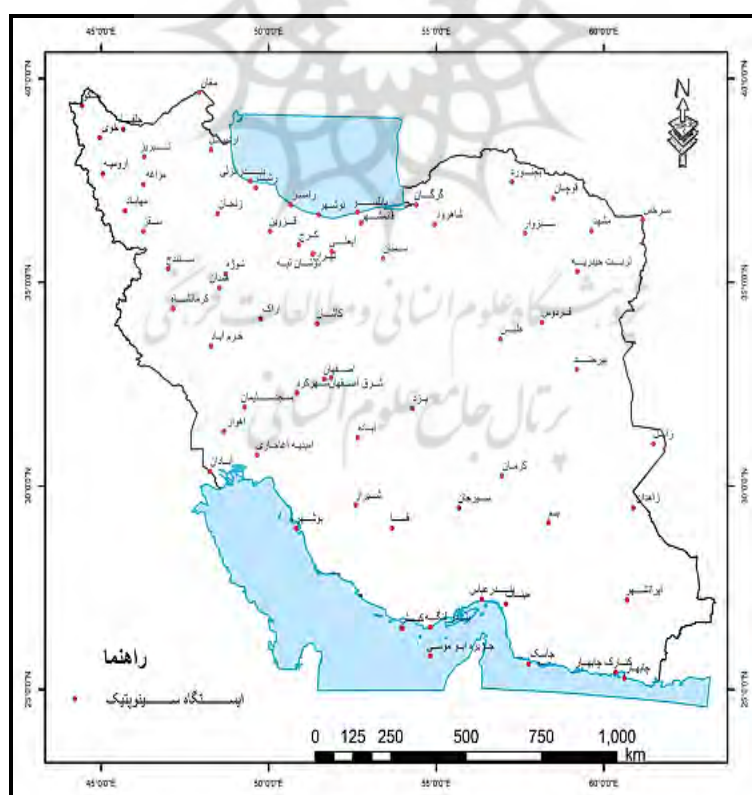
دودانگه و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی کاربرد مدل‌های سری زمانی برای تعیین روند پارامترهای اقلیمی در آینده در راستای مدیریت منابع آب پرداختند و مدل‌های مختلف سری زمانی را بر روی پارامترهای رطوبت نسبی، تبخیر، دمای هوا، و سرعت باد طی سال‌های ۱۹۵۰-۲۰۰۵ منطقه اصفهان برازش دادند. نتایج این مطالعه بیانگر کارایی مدل‌های سری زمانی برای پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی و تعیین روند پارامترهای اقلیمی در آینده است.

عبدالله‌نژاد (۱۳۹۴) به منظور بررسی مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی بارندگی (تخمین مجموع بارندگی) ماهانه ایستگاه هاشم‌آباد گرگان از مدل‌های تصادفی سری زمانی استفاده کرد. نتایج نشان داد که مدل ساریما از سایر مدل‌های سری زمانی عملکرد بهتری دارد و روند تغییرات سری زمانی را با خطای کمتری شبیه‌سازی می‌کند.

هدف اصلی ما در این پژوهش مطالعه بارش فصلی در ایران است؛ به طوری که شناخت و بررسی روابط فصلی بارش به تفکیک مناطق مختلف می‌تواند در برنامه‌ریزی‌ها و مدیریت محیطی کمک شایانی به مسئولان امر کند و حتی می‌توان با شناخت این روابط در پیش‌بینی‌ها نیز موفق‌تر عمل کرد.

داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش، به منظور تحلیل روابط بارش فصلی ایران، از داده‌های ماهانه بارش ۶۷ ایستگاه سینوپتیک با پراکنش مناسب در سطح کشور (شکل ۱) طی دوره زمانی سی‌ساله (۱۹۸۵-۲۰۱۴) استفاده شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

همچنین، کلیه آزمون‌های آماری و محاسبات سری‌های زمانی در محیط نرم‌افزار R^1 انجام شد و پس از برآش مدل ساریمای مناسب، از این مدل برای توصیف رفتار تصادفی سری‌های زمانی بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه استفاده شد.

مدل ساریما

باکس و جنکینز (۱۹۷۶)، با ترکیب مدل‌های فصلی و بین‌فصلی، مدل‌های موسوم به آریمای فصلی را، که به ساریما معروف است، معرفی کردند. یک مدل ساریما از دو مؤلفه ضربی تشکیل شده است: یک مؤلفه آریمای معمولی یا بین‌فصلی که همبستگی‌های عادی موجود در مشاهدات را توصیف می‌کند و یک مؤلفه فصلی با دوره تناوب مشخص که همبستگی‌های فصلی موجود در مشاهدات را تبیین می‌کند. در کل، این مدل به صورت ساریما $(p, d, q)(P, D, Q)_s$ فصلی - ضربی نامیده می‌شود که عبارت p, d, q درجه‌های بخش بین‌فصلی مدل و عبارت $(P, D, Q)_s$ درجه‌های بخش فصلی مدل را مشخص می‌کند. مقدار S نیز بیانگر دوره تناوب مؤلفه فصلی است. شکل کلی مدل به صورت رابطه ۱ است:

$$\phi_p(B) \nabla^d \nabla_s^D X_t = \theta_q(B) a_t \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن B عملگر انتقال پسرو است که روی زمان هر جمله عمل می‌کند و آن را به اندازه یک واحد زمانی به عقب می‌برد تا سری جدیدی را تشکیل دهد و به صورت $B(X_t) = X_{t-1}$ تعریف می‌شود. p, q, P, Q به ترتیب چند جمله‌ای‌هایی با مرتبه‌های p, P, q, Q هستند. مقادیر p و q به ترتیب مرتبه‌های بین‌فصلی بخش‌های اتورگرسیو و میانگین متحرک‌اند که بیانگر وابستگی مستقیم هر فصل با p فصل قبل از خود و وابستگی غیرمستقیم هر فصل با q فصل قبل از خود است و P و Q مرتبه‌های فصلی بخش‌های اتورگرسیو و میانگین متحرک را نشان می‌دهد که به ترتیب بیانگر وابستگی مستقیم هر فصل با همان فصل در P سال قبل از خود و وابستگی غیرمستقیم هر فصل با همان فصل در Q سال قبل از خود است. در اینجا نیز وابستگی غیرمستقیم بدین معنی است که نوسان تصادفی هر فصل در Q سال گذشته بر مقدار سری در آن فصل اثرگذار است.

در این معادله D و d به ترتیب مرتبه تفاضل‌گیری فصلی و بین‌فصلی را نشان می‌دهد که اغلب این ضرایب از یک تجاوز نمی‌کند و به صورت $\nabla X_t = X_t - X_{t-1}$ تعریف می‌شود. در این مدل ∇_s^D عملگر فصلی و ∇^d عملگر بین‌فصلی است (چتفیلد، ۱۳۸۱: ۷۸-۷۹).

در این مدل مرتبه تفاضل‌گیری صفر بدین معنی است که سری ایستا است و به تفاضل‌گیری برای رفع نایستایی احتیاجی نیست. اما مرتبه تفاضل‌گیری غیرصفر در بخش فصلی بیانگر آن است که مؤلفه فصلی نایستا است که برای حذف آن کاربرد تفاضل‌گیری ضروری است و در بخش بین‌فصلی بیانگر آن است که مؤلفه بین‌فصلی نایستا است و این نایستایی ممکن است به سبب وجود روند (تصادفی یا غیرتصادفی) باشد. بنابراین، وجود روند در بخش بین‌فصلی منجر به $d > 0$ و نایستایی در مؤلفه فصلی باعث $D > 0$ می‌شود.

رسم نمودار سری زمانی داده‌ها و بررسی آن شامل مراحل زیر است:

- ۱. تشخیص مدل:** در این مرحله نمودارهای خودهمبستگی داده‌ها رسم و ارزیابی می‌شود. به کمک این نمودارها، مرتبه‌های p, q, P, D, d, q, p که به نظر مناسب می‌آیند انتخاب می‌شوند.

۱. R زبان برنامه‌نویسی است که از آن برای تحلیل داده‌ها استفاده می‌شود و به صورت رایگان در این آدرس اینترنتی (<http://www.r-project.org>) در دسترس است.

۲. **برازش مدل:** در این مرحله پارامترهای مدل‌های انتخاب‌شده با روش حداکثر درست‌نمایی برآورد می‌شوند و اگر بیش از یک مدل برای داده‌ها مناسب تشخیص داده شود، بر اساس ملاک اطلاع آکائیک^۱ بهترین مدل انتخاب می‌شود.

۳. **بررسی کفایت برازش مدل:** برای بررسی عملکرد مدل در توصیف رفتار تصادفی داده‌ها، نمودار مانده‌های استاندارد شده^۲ مدل از نظر دارابودن میانگین صفر، ثبات واریانس، و قرارگرفتن مقادیر در محدوده انحراف معیار استاندارد (۳ع) برای تشخیص مشاهده پرت ارزیابی می‌شوند. نمودار تابع خودهمبستگی مانده‌های مدل از نظر فقدان خودهمبستگی معنی‌دار بین مانده‌های مدل بررسی می‌شوند و با استفاده از نمودار P -مقدار^۳ آزمون لیونگ-باکس^۴ مانده‌های مدل در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ ارزیابی می‌شوند. سرانجام، برای بررسی دقیق‌تر کفایت برازش مدل، مقادیر مدل با مقادیر مشاهده‌شده (داده‌های واقعی) ارزیابی می‌شوند.

معیار آکائیک

معیار آکائیک یکی از روش‌های مقایسه مدل‌های مختلف است. این معیار، که آکائیک آن را در سال ۱۹۷۴ ارائه کرد، بر این اصل استوار است که از بین چند مدل انتخابی برای یک مجموعه داده مدلی که دارای کمترین مقدار معیار آکائیک باشد مدل نهایی انتخاب می‌شود. رابطه ریاضی معیار AIC به صورت رابطه ۲ است (شفیعی و همکاران، ۱۳۹۰: ۵).

رابطه ۲

$$AIC = -2\ln(L(\hat{\theta})) + 2m$$

که در آن مقدار $L(\hat{\theta})$ بیانگر مقدار تابع درست‌نمایی به ازای پارامترهای برآورد شده مدل یعنی $\hat{\theta}$ است. $m = (p+q+P+Q)$ برابر مجموع تعداد پارامترهای مدل است.

برآورد تابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی

تابع خودهمبستگی یک مشخصه برای اندازه‌گیری وابستگی زمانی در ساختار یک سری زمانی است. برای برآورد تابع خودهمبستگی (ACF) بر اساس n مشاهده از یک سری زمانی از رابطه ۳ می‌توان استفاده کرد (معروفی و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۱۹).

رابطه ۳

$$\hat{\rho}_k = \frac{\hat{\gamma}_k}{\hat{\gamma}_0} = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} (X_t - \bar{X})(X_{t+k} - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n (X_t - \bar{X})^2}$$

که در آن $\hat{\rho}_k$ مقدار برآورد تابع خودهمبستگی سری زمانی با تأخیر k و X_t و X_{t+k} مقادیر مشاهدات یا داده‌های سری زمانی در زمان‌های t و $t+k$ و \bar{X} مقدار میانگین مشاهدات است.

روش دیگر برای بیان کردن وابستگی زمانی در ساختار یک سری زمانی تعریف تابع خودهمبستگی جزئی است. اگر $\hat{\theta}_k$ تابع خودهمبستگی جزئی سری زمانی با تأخیر k باشد، رابطه تابع خودهمبستگی جزئی (PACF) عبارت است از:

1. Akaike Information Criterion
2. Standardized Residuals
3. P-values
4. Ljung-Box test

رابطه ۴

$$\phi_k(K) = \frac{\rho_k - \sum_{i=1}^{k-1} \phi_i(k-1)\rho_{k-1}}{1 - \sum_{i=1}^{k-1} \phi_i(k-1)\rho_i}$$

که در آن ϕ_k مقدار تابع خودهمبستگی جزئی سری زمانی با تأخیر k است.

تحلیل سری‌های زمانی بارش با مدل ساریما در ایستگاه‌های مورد مطالعه

در پژوهش حاضر سری‌های زمانی بارش فصلی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه (طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۱۴) با استفاده از مدل ساریما مدل‌سازی شده‌اند. صحت مدل‌های برازش داده‌شده به سری داده‌ها برای هر ایستگاه بر اساس نمودار مانده‌های استاندارد شده، نمودار خودهمبستگی مانده‌های مدل، و مقادیر p -مقدار آزمون لیونگ-باکس (مانده‌های مدل در سطح معنی‌داری ۰/۰۵) بررسی می‌شود و مدل مناسب برای بارش‌های فصلی بر اساس ملاک اطلاع آکائیک در هر ایستگاه (جدول ۱) ارائه می‌شود. همچنین، برای بررسی ارتباط بارش‌های فصلی و بین‌فصلی در هر ایستگاه مرتبه‌های اتورگرسیو (P,p) و میانگین متحرک (Q,q) فصلی و بین‌فصلی حاصل از مدل‌های برازش داده‌شده بررسی می‌شوند. سرانجام، با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS ارتباط الگوهای بارش‌های فصلی در همه ایستگاه‌ها به صورت نقشه ترسیم می‌شود.

یافته‌های پژوهش

ارزیابی کفایت مدل‌های برازش داده‌شده در ایستگاه‌های مورد مطالعه

نتایج ارزیابی کفایت مدل (جدول ۱) نشان داد که در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه ایستگاه‌هایی که طبق آزمون نیکویی برازش لیونگ-باکس مدل ساریما در توصیف بارش آن‌ها کفایت لازم را ندارند عبارت‌اند از بوشهر، شهرکرد، بیرجند، امیدیه‌آغاچاری، و رشت. زیرا مقادیر p -مقدار آزمون لیونگ-باکس برای این ایستگاه‌ها در همه تأخیرهای زمانی کمتر از سطح معنی‌داری $(p < 0.05)$ می‌باشند. در بقیه ایستگاه‌ها، مدل ساریما ساختار همبستگی داده‌ها را به‌خوبی توصیف می‌کند و کفایت مناسبی در تحلیل بارش‌های فصلی در این ایستگاه‌ها می‌تواند داشته باشد؛ به طوری که p مقدارهای آزمون لیونگ-باکس $(p > 0.05)$ (جدول ۱) برای این ایستگاه‌ها نیز نتایج فوق را تأیید می‌کند.

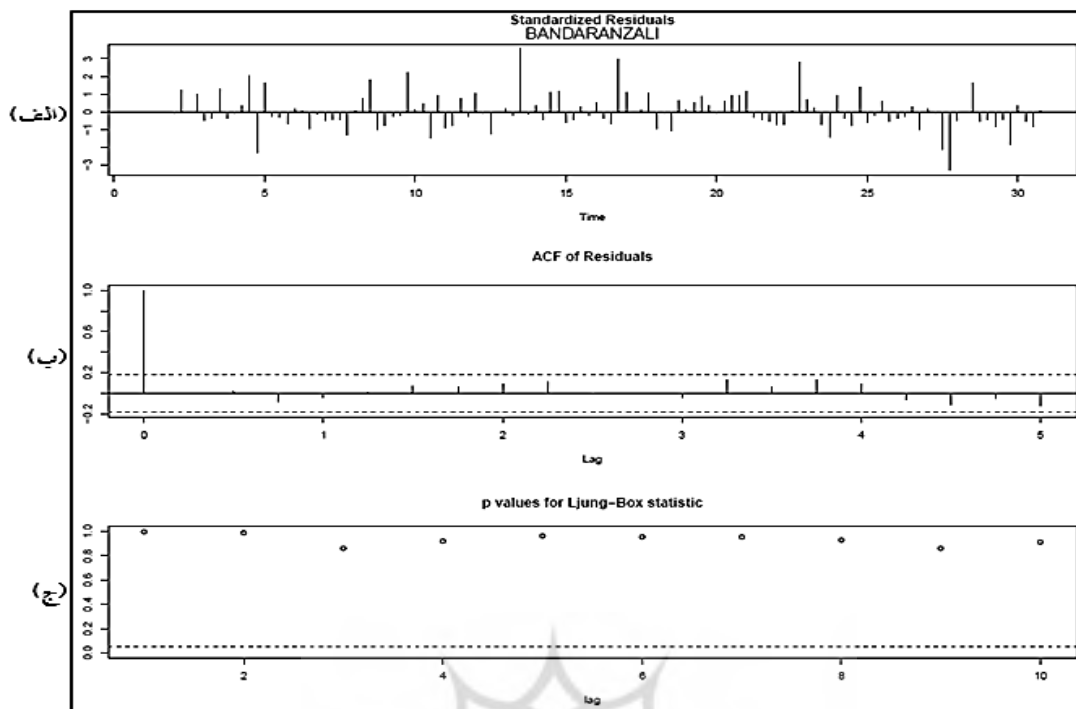
در اینجا برای نمونه ایستگاه بوشهر به‌منزله ایستگاه‌هایی که مدل کفایت لازم را در تحلیل بارش‌های فصلی آن ندارد و بندرانزلی به‌منزله ایستگاه‌هایی که مدل قادر است بارش‌های فصلی آن را به‌خوبی تحلیل کند آورده شده است. در ایستگاه بندرانزلی (شکل ۲ الف)، نمودار مانده‌های استاندارد شده نشان می‌دهد که سری مانده‌ها دارای میانگین صفر و واریانس ثابت‌اند و مقادیر در محدوده انحراف معیار استاندارد (۳ع) پراکندگی دارند و مشاهده پرتی در این نمودار دیده نمی‌شود.

نمودار تابع خودهمبستگی مانده‌های مدل (شکل ۲ ب) نمایانگر این است که مقادیر خودهمبستگی مانده‌های مدل در محدوده اطمینان صفر واقع شده‌اند و خودهمبستگی بین مانده‌های مدل اختلاف معنی‌داری با صفر ندارد؛ این امر نشان‌دهنده عدم همبستگی بین مانده‌های مدل است.

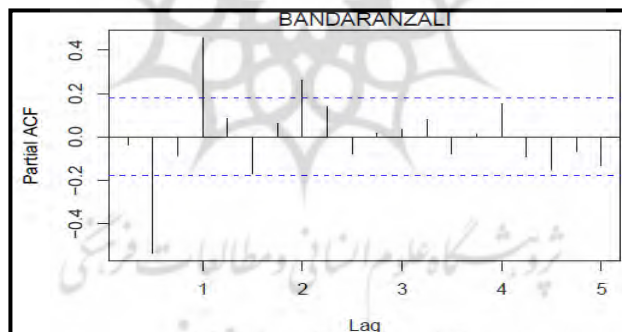
مقادیر p -مقدار برای آماره آزمون لیونگ-باکس در همه تأخیرهای زمانی بزرگ‌تر از سطح معنی‌داری ۰/۰۵ است $(p > 0.05)$ (شکل ۲ ج)، که نشان می‌دهد فرض صفر (H_0) مبنی بر عدم خودهمبستگی بین مانده‌های مدل در سطح خطای ۰/۰۵ پذیرفته می‌شود. پس با بررسی این سه نمودار صحت فرض‌هایی که مدل ساریما بر آن‌ها مبتنی است تأیید می‌شود.

جدول ۱. نتایج برازش مدل ساریما بر سری زمانی بارش فصلی ایستگاه‌های مورد مطالعه

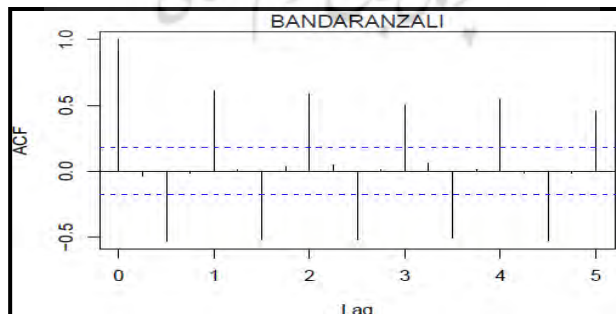
ایستگاه	-P مقدار	AIC	ایستگاه	-P مقدار	AIC	ایستگاه	-P مقدار	AIC	ایستگاه	-P مقدار	AIC
ارومیه	۰٫۹۴۱	۱۲۶۸٫۰۶۳۵	شهرکرد	۰٫۰۲۶	۱۳۲۲٫۱۷۷۰	شاهرود	۰٫۹۶۸	۱۱۳۵٫۷۳۳۳	بندر انزلی	۰٫۹۱۲	۱۶۱۱٫۴۵۷۵
خوی	۰٫۹۸۷	۱۱۸۴٫۶۶۸۵	بجنورد	۰٫۹۲۵	۱۲۰۱٫۹۶۵۳	ایرانشهر	۰٫۳۸۵	۱۱۷۶٫۹۸۳۰	خرم آباد	۰٫۵۳۶	۱۳۸۴٫۵۱۵۹
ماکو	۰٫۰۹۵	۱۱۸۴٫۵۳۴۴	بیرجند	۰٫۰۲۰	۱۱۶۶٫۴۹۱۹	چابهار	۰٫۹۳۱	۱۲۹۶٫۹۸۸۸	بابلسر	۰٫۶۵۱	۱۴۸۷٫۳۲۰۳
مهاباد	۰٫۸۴۵	۱۳۱۲٫۲۹۳۳	طیس	۰٫۲۰۳	۱۰۶۱٫۰۰۳۵	زابل	۰٫۹۴۰	۱۰۴۳٫۴۷۷۶	رامسر	۰٫۴۹۷	۱۵۸۱٫۸۴۰۵
تبریز	۰٫۴۴۵	۱۱۶۴٫۳۲۲۰	فردوس	۰٫۳۸۳	۱۱۲۶٫۲۰۸۷	زاهدان	۰٫۴۷۷	۱۱۰۲٫۳۸۹۸	قائم‌شهر	۰٫۷۸۰	۱۳۸۱٫۷۰۷۳
جلفا	۰٫۹۳۲	۱۱۶۸٫۸۸۹۳	تربت حیدریه	۰٫۵۶۴	۱۲۷۶٫۶۷۸۳	کنارک چابهار	۰٫۵۴۰	۱۲۴۴٫۵۵۸۹	نوشهر	۰٫۲۰۸	۱۵۳۱٫۴۷۰۲
مراغه	۰٫۶۷۳	۱۲۴۵٫۵۰۹۰	سبزوار	۰٫۳۳۷	۱۲۰۴٫۳۶۸۴	شیراز	۰٫۵۷۵	۱۳۸۸٫۶۸۹۵	اراک	۰٫۷۰۸	۱۲۸۹٫۹۴۹۶
اردبیل	۰٫۲۰۹	۱۲۱۰٫۵۶۱۷	سرخس	۰٫۳۹۲	۱۱۵۶٫۵۱۲۵	آباده	۰٫۶۵۰	۱۲۰۰٫۳۹۱۸	یزد	۰٫۶۹۷	۹۹۴٫۷۶۷۹
مغان	۰٫۸۵۲	۱۲۱۷٫۸۷۲۲	قوچان	۰٫۵۴۵	۱۲۳۹٫۰۷۱۴	فسا	۰٫۳۹۵	۱۳۷۳٫۴۲۳۱	همدان	۰٫۹۵۹	۱۲۸۴٫۰۰۰۶
اصفهان	۰٫۵۱۴	۱۱۵۱٫۹۱۳۶	مشهد	۰٫۲۷۵	۱۲۱۸٫۷۳۰۵	سندج	۰٫۸۶۴	۱۳۱۶٫۲۴۲۲	همدان - نوزه	۰٫۹۴۸	۱۲۶۴٫۲۹۷۲
شرق اصفهان	۰٫۶۱۱	۱۱۱۷٫۹۶۴۸	آبادان	۰٫۵۰۹	۱۱۹۷٫۹۷۰۸	سقز	۰٫۸۹۶	۱۳۵۲٫۴۶۸۵	بندرعباس	۰٫۷۹۴	۱۳۳۶٫۶۰۶۹
کاشان	۰٫۸۱۳	۱۱۵۵٫۰۸۵۳	امیدیه‌آغا‌جاری	۰٫۰۳۵	۱۳۲۵٫۲۶۹۷	کرمانشاه	۰٫۳۱۹	۱۳۴۸٫۱۸۵۴	بندر لنگه	۰٫۹۶۶	۱۲۳۵٫۱۲۱۶
کرج	۰٫۹۱۰	۱۲۴۱٫۵۲۵۳	اهواز	۰٫۱۴۸	۱۲۳۹٫۸۲۲۳	گرگان	۰٫۶۰۳	۱۲۸۰٫۸۶۸۲	جاسک	۰٫۸۷۳	۱۲۸۶٫۷۰۷۶
بوشهر	۰٫۰۲۸	۱۳۶۹٫۲۸۵۲	مسجد سلیمان	۰٫۰۹۴	۱۴۲۲٫۸۰۴۷	کرمان	۰٫۷۱۹	۱۱۴۵٫۶۵۹۳	جزیره ابوموسی	۰٫۹۹۴	۱۲۷۰٫۷۹۲۲
تهران	۰٫۹۶۶	۱۲۲۲٫۳۲۵۳	زنجان	۰٫۵۵۸	۱۲۳۱٫۶۱۱۵	سیرجان	۰٫۴۱۹	۱۱۹۸٫۹۴۴۰	کیش	۰٫۴۹۲	۱۲۶۰٫۸۴۳۴
آبعلی	۰٫۷۰۸	۱۳۹۹٫۴۹۸۴	قزوین	۰٫۸۶۶	۱۲۸۰٫۸۴۶۴	بیم	۰٫۷۱۴	۱۰۳۳٫۶۳۰۱	میناب	۰٫۷۸۵	۱۳۳۶٫۹۳۲۶
دوشان‌تپه	۰٫۹۸۱	۱۲۴۲٫۹۴۶۷	سمنان	۰٫۸۷۹	۱۱۳۰٫۶۳۳۳	رشت	۰٫۰۲۴	۱۵۶۰٫۰۰۲۳			



شکل ۲. الف) نمودار استاندارد شده مانده‌های مدل؛ ب) نمودار خودهمبستگی مانده‌های مدل؛ ج) نمودار مقدار P برای ایستگاه بندرانزلی



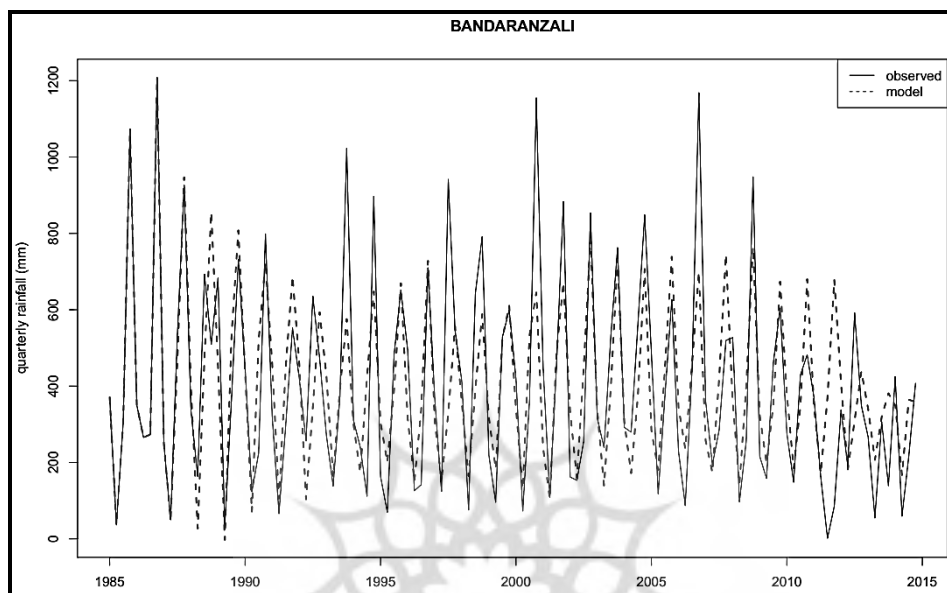
(الف)



(ب)

شکل ۳. الف) نمودار خودهمبستگی (ACF)؛ ب) نمودار خودهمبستگی جزئی (PACF) مانده‌های مدل در سری داده‌های ایستگاه بندرانزلی

برای بررسی دقیق‌تر مدل برازش داده‌شده، علاوه بر ارزیابی مدل از لحاظ مانده‌ها، کفایت مدل از لحاظ مقادیر مشاهده‌شده و مقادیر مدل بررسی شد (شکل ۴). همان‌طور که نمایان است، مقادیر مدل مطابقت مناسبی با مقادیر مشاهده‌شده دارند. ارزیابی مدل برازش داده‌شده در ایستگاه بندرانزلی نشان می‌دهد که مدل ساختار همبستگی داده‌ها را به‌خوبی توصیف می‌کند، بنابراین کفایت آن تأیید می‌شود.



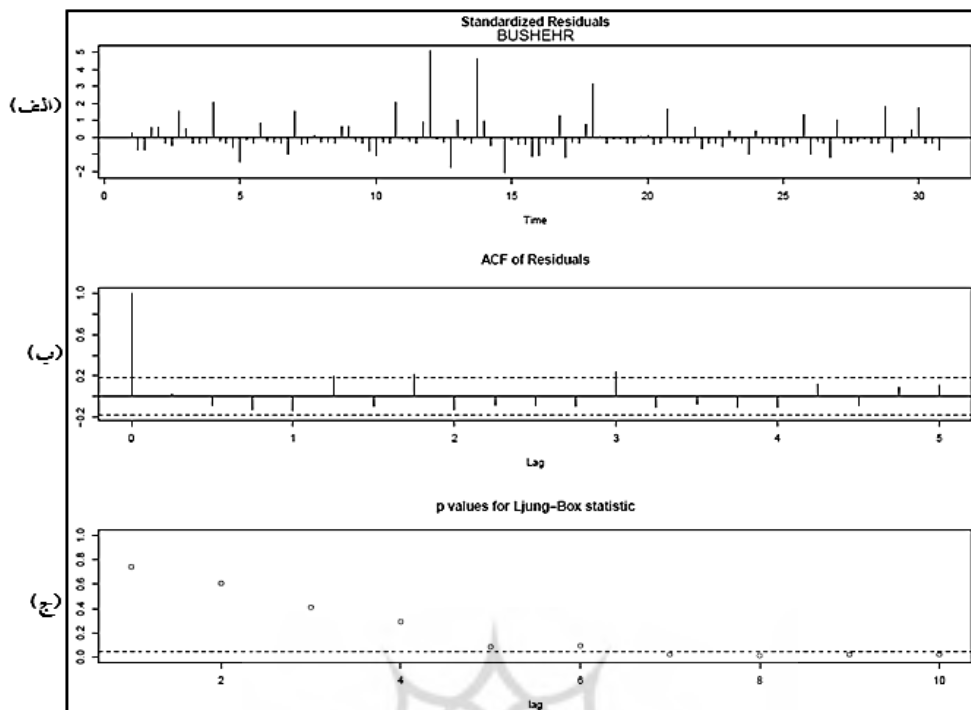
شکل ۴. نمودار مقادیر مشاهده‌شده و مقادیر مدل برای ایستگاه بندرانزلی

ارزیابی کفایت مدل در ایستگاه بوشهر

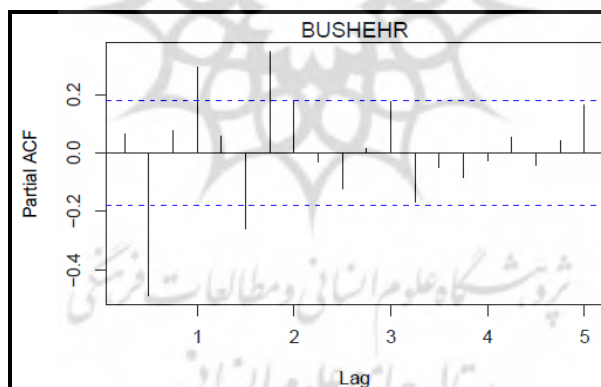
نمودار مانده‌های استاندارد شده ایستگاه بوشهر نشان می‌دهد (شکل ۵ الف) که سری مانده‌های استاندارد شده مدل در محدوده ۵ و -۲ پراکندگی دارند و سه داده پرت دیده می‌شود که خارج از محدوده انحراف معیار استاندارد (۳ع) می‌باشند. نمودار مقادیر مشاهده‌شده و مقادیر مدل برای ایستگاه بوشهر (شکل ۷) نیز وجود سه داده پرت بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۱۹۹۵ را تأیید می‌کند.

در نمودار تابع خودهمبستگی مانده‌های مدل (شکل ۵ ب) به‌نظر می‌رسد مقادیر خودهمبستگی مانده‌های مدل در تأخیرهای زمانی ۵، ۷، و ۱۲ معنی‌دارند و اختلاف معنی‌داری با صفر دارند؛ این امر نشان‌دهنده همبستگی معنی‌دار بین مانده‌های مدل و در نتیجه عدم کفایت مدل در تبیین ساختار همبستگی بین داده‌هاست. علاوه بر این، مقادیر p -مقدار هم برای آماره آزمون لیونگ-باکس در تأخیرهای زمانی مختلف کمتر از سطح معنی‌داری ۰/۰۵ است ($p < 0.05$) (شکل ۵ ج)؛ این موضوع بیانگر آن است که فرض صفر (H_0) مبنی بر عدم خودهمبستگی بین مانده‌های مدل در سطح خطای ۰/۰۵ رد می‌شود و نشان می‌دهد که بین مانده‌های مدل همبستگی وجود دارد.

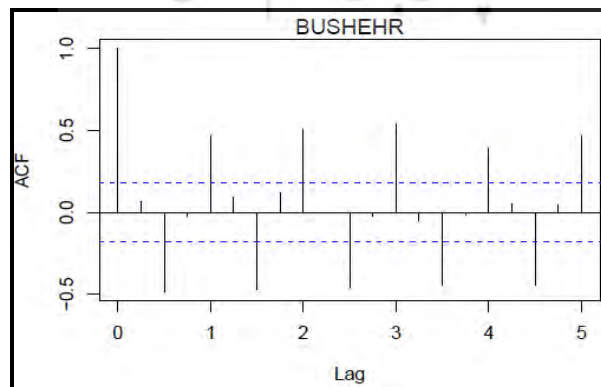
بنابراین، نتایج ارزیابی مدل برای ایستگاه بوشهر نشان می‌دهد که مدل ساریمای برازش داده‌شده قادر نیست ساختار همبستگی داده‌ها را به‌خوبی توصیف کند و برازش خوبی در تحلیل بارش‌های فصلی این ایستگاه نمی‌تواند داشته باشد، بنابراین کفایت آن تأیید نمی‌شود.



شکل ۵. الف) نمودار استاندارد شده مانده‌های مدل؛ ب) نمودار خودهمبستگی مانده‌های مدل؛ ج) نمودار P -مقدار برای ایستگاه بوشهر

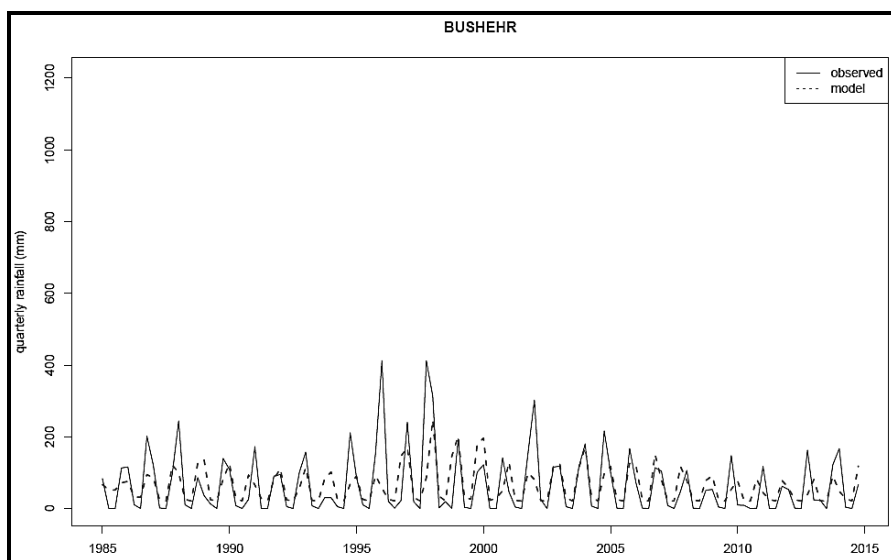


(الف)



(ب)

شکل ۶. الف) نمودار خودهمبستگی (ACF)؛ ب) نمودار خودهمبستگی جزئی (PACF) مانده‌های مدل در سری داده‌های ایستگاه بوشهر

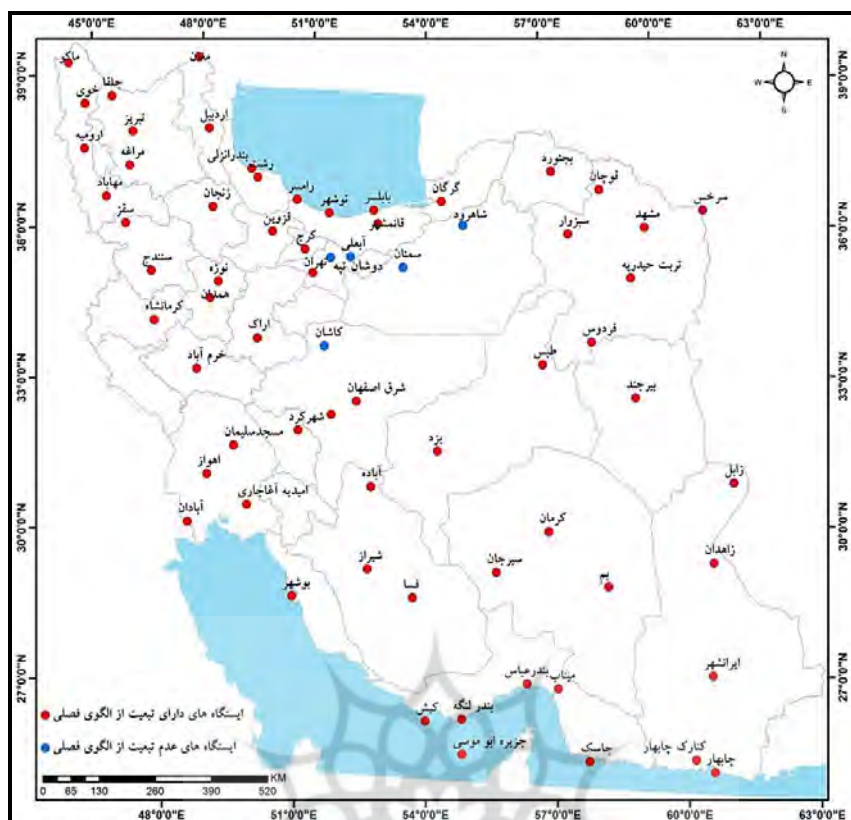


شکل ۷. نمودار مقادیر مشاهده‌شده و مقادیر مدل برای ایستگاه بوشهر

بررسی ارتباط بارش‌های فصلی و بین فصلی بر اساس مقادیر پارامترهای آماری مدل‌های برازش داده‌شده در ایستگاه‌های مورد مطالعه

بر اساس نتایج بررسی مرتبه‌های اتورگرسیو (P, p) و میانگین متحرک (Q, q) فصلی و بین فصلی حاصل از مدل‌های برازش داده‌شده، وابستگی بارش‌های فصلی و بین فصلی در هر ایستگاه بررسی شد. در مطالعه الگوهای فصلی مشخص شد که به غیر از ایستگاه‌های کاشان، آبعلی، دوشان‌تپه، سمنان، و شاهرود بقیه ایستگاه‌های مورد مطالعه (۹۳٪) از الگوهای فصلی تبعیت می‌کنند (شکل ۸)؛ طبق جدول ۲، مرتبه‌های اتورگرسیو فصلی (P) برای این ایستگاه‌ها بیانگر وابستگی مستقیم بارش‌های هر فصل با بارش‌های همان فصل در ۱ تا ۲ سال قبل از خود است. همچنین، مرتبه Q در این ایستگاه‌ها بیانگر آن است که در بعضی از ایستگاه‌ها نوسان تصادفی بارش‌های فصلی ۱ تا ۲ سال قبل نیز به طور غیرمستقیم اثرگذارند.

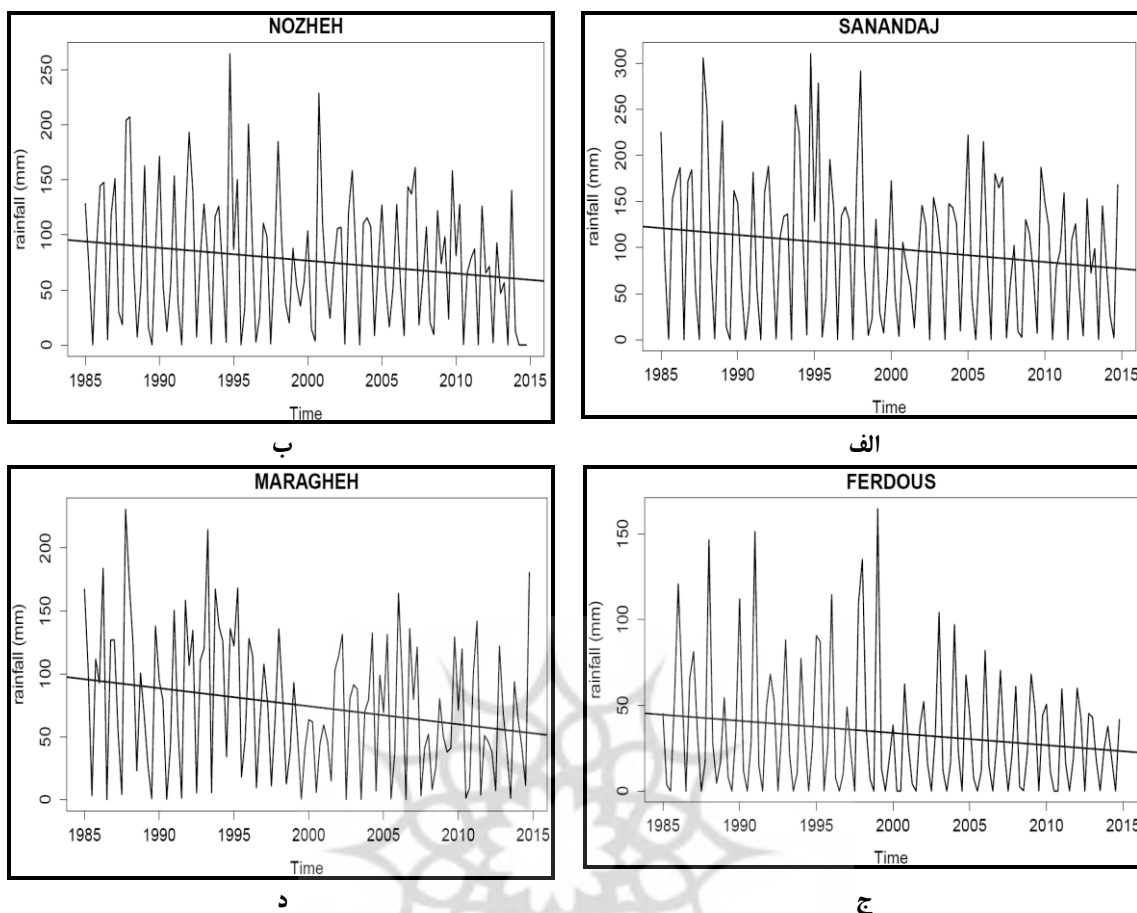
طبق جدول ۲، بررسی مرتبه‌های اتورگرسیو بین فصلی (p) نیز نشان داد که در ۱۹ ایستگاه (۲۸٪) بارش‌های هر فصل با بارش‌های **یک** فصل قبل از خود، ۱۰ ایستگاه (۱۵٪) با **دو** فصل قبل از خود، و ۶ ایستگاه (۹٪) با **سه** فصل قبل از خود ارتباط مستقیم دارند و در بقیه ایستگاه‌های مورد مطالعه (۴۸٪) نیز بارش‌های هر فصل با بارش‌های فصل قبل از خود ارتباط مستقیمی ندارند.



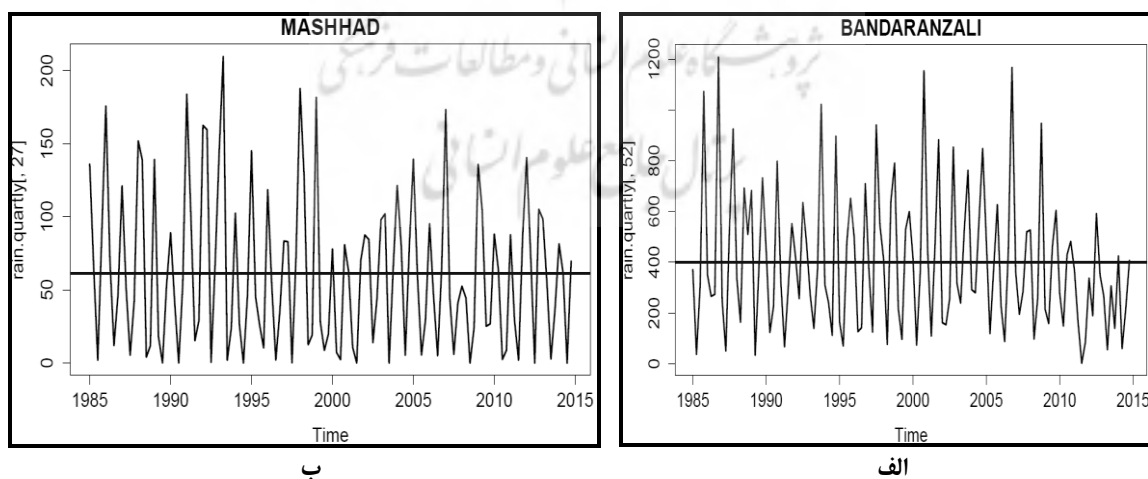
شکل ۸. مشاهده تبعیت و عدم تبعیت از الگوهای فصلی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

تحلیل روند سری‌های زمانی بارش فصلی در ایران

برای تحلیل روند سری‌های زمانی بارش‌های فصلی، مرتبه‌های تفاضلی بین فصلی (d) برای همه ایستگاه‌ها بررسی شد. طبق جدول ۲، مشخص شد که به غیر از ایستگاه‌های مراغه، سنندج، همدان-نوژه، و فردوس در بقیه ایستگاه‌های مورد مطالعه سری زمانی بارش فصلی فاقد هرگونه روند (تصادفی یا غیرتصادفی) است و این روند در این چهار ایستگاه کاهشی و در بقیه ایستگاه‌ها همان‌طور که در شکل ۹ (الف، ب، ج، و د) مشخص است، شیب خط روند در مراغه (-۱/۴۳۴)، نوژه (-۱/۱۶۳)، فردوس (-۰/۷۱۰۸)، و سنندج (-۱/۴۶۸) کاهشی است. به عبارت دیگر، در بیشتر ایستگاه‌های مطالعاتی و در پهنه وسیعی از کشور طی سی سال اخیر، شواهدی دال بر کاهش یا افزایش معنی‌دار در میزان بارش فصلی مشاهده نشد. البته، این امر به معنی تغییرناپذیری زمانی بارش و یکنواختی هرساله آن نیست. چنانکه در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، در دو ایستگاه مشهد و بندرانزلی (نمونه ایستگاه‌های فاقد روند) شدت افزایش بارش در سال‌ها و دوره‌های مرطوب به مراتب بیشتر از شدت کاهش بارش در دوره‌های خشک است. در واقع، از آنجا که چندین دوره خشک‌سالی می‌تواند توسط یک یا دو دوره مرطوب جبران شود، در طی زمانی بلندمدت روند بارش معنادار نیست. ممکن است در چند سال میزان بارش کمتر از میانگین بلندمدت باشد، اما در یک یا دو سال بارش به طور چشم‌گیری افزایش یابد و روندی در سری زمانی داده‌ها مشاهده نشود. در مطالعات انجام‌شده در کشور (نظیر داداشی رودباری و کیخسروی کیانی، ۱۳۹۵؛ آذرخشی و همکاران، ۱۳۹۲) نیز عدم معناداری روند بارش فصلی در بیشتر مناطق کشور تأیید نشده است.



شکل ۹. بررسی روند در سری‌های زمانی بارش‌های فصلی (۱۹۸۵-۲۰۱۴) ایستگاه‌های الف (سنندج؛ ب) نوژه؛ ج) فردوس؛ د) مراغه



شکل ۱۰. بررسی روند در سری‌های زمانی بارش‌های فصلی (۱۹۸۵-۲۰۱۴) ایستگاه‌های الف) بندرانزلی؛ ب) مشهد

جدول ۲. نتایج کلی مقادیر پارامترهای آماری مدل‌های ساریمای برازش داده شده بر بارش فصلی ایستگاه‌های مورد مطالعه

پارامترهای مدل			مدل			ایستگاه
مرتب‌های بین فصلی		مرتب‌های فصلی	ساریمای			
p	d	q	P	D	Q	
۰	۰	۰	۲	۰	۰	ارومیه (۰,۰,۰)(۲,۰,۰) ساریمای
۲	۰	۰	۱	۱	۲	خوی (۰,۰,۰)(۱,۱,۲) ساریمای
۲	۰	۰	۱	۱	۲	ماکو (۰,۰,۰)(۱,۱,۲) ساریمای
۰	۰	۰	۱	۰	۱	مهاباد (۰,۰,۰)(۱,۰,۱) ساریمای
۰	۰	۰	۱	۱	۲	تبریز (۰,۰,۰)(۱,۱,۲) ساریمای
۰	۰	۰	۱	۰	۱	چلغا (۰,۰,۰)(۱,۰,۱) ساریمای
۳	۱	۰	۲	۰	۰	مراغه (۰,۰,۰)(۳,۱,۰) ساریمای
۰	۰	۲	۱	۰	۱	اردبیل (۰,۰,۲)(۱,۰,۱) ساریمای
۱	۰	۱	۱	۰	۰	مغان (۱,۰,۱)(۱,۰,۰) ساریمای
۰	۰	۰	۲	۰	۰	اصفهان (۰,۰,۰)(۲,۰,۰) ساریمای
۱	۰	۱	۲	۰	۰	شرق اصفهان (۱,۰,۱)(۲,۰,۰) ساریمای
۳	۰	۲	۰	۰	۰	کاشان (۰,۰,۰)(۳,۰,۲) ساریمای
۰	۰	۰	۲	۰	۰	کرج (۰,۰,۰)(۲,۰,۰) ساریمای
۰	۰	۰	۲	۰	۰	بوشهر (۰,۰,۰)(۲,۰,۰) ساریمای
۱	۰	۲	۲	۰	۰	تهران (۱,۰,۲)(۲,۰,۰) ساریمای
۲	۰	۲	۰	۰	۰	آبعلی (۰,۰,۰)(۲,۰,۲) ساریمای
۲	۰	۲	۰	۰	۰	دوشان تپه (۰,۰,۰)(۲,۰,۲) ساریمای
۰	۰	۰	۲	۰	۰	شهرکرد (۰,۰,۰)(۲,۰,۰) ساریمای
۱	۰	۲	۲	۰	۰	بجنورد (۱,۰,۲)(۲,۰,۰) ساریمای
۰	۰	۲	۲	۰	۰	بیرجند (۰,۰,۰)(۲,۰,۲) ساریمای
۱	۰	۰	۱	۰	۱	طیس (۱,۰,۰)(۱,۰,۱) ساریمای
۳	۱	۰	۲	۰	۰	فردوس (۰,۰,۰)(۳,۱,۰) ساریمای
۰	۰	۰	۲	۰	۰	ترت حیدریه (۰,۰,۰)(۲,۰,۰) ساریمای
۰	۰	۰	۲	۰	۰	سبزوار (۰,۰,۰)(۲,۰,۰) ساریمای
۱	۰	۰	۲	۰	۰	سرخس (۱,۰,۰)(۲,۰,۰) ساریمای
۱	۰	۱	۲	۰	۰	قوچان (۱,۰,۱)(۲,۰,۰) ساریمای
۲	۰	۱	۲	۰	۰	مشهد (۰,۰,۰)(۲,۰,۱) ساریمای
۱	۰	۱	۲	۰	۱	آبادان (۱,۰,۱)(۲,۰,۱) ساریمای
۲	۰	۱	۲	۰	۰	امیدیه آغاچاری (۰,۰,۰)(۲,۰,۱) ساریمای
۲	۰	۲	۱	۰	۰	اهواز (۰,۰,۰)(۲,۰,۲) ساریمای
۰	۰	۰	۲	۰	۱	مسجد سلیمان (۰,۰,۰)(۲,۰,۱) ساریمای
۰	۰	۰	۲	۰	۰	زنجان (۰,۰,۰)(۲,۰,۰) ساریمای
۰	۰	۰	۲	۰	۰	قزوین (۰,۰,۰)(۲,۰,۰) ساریمای

ادامه جدول ۲

پارامترهای مدل						مدل	ایستگاه
مرتب‌های بین فصلی			مرتب‌های فصلی				
p	d	q	P	D	Q	ساریما	
۲	۰	۳	۰	۰	۰	ساریما (۰,۰,۰) (۲,۰,۳)	سمنان
۳	۰	۲	۰	۰	۰	ساریما (۰,۰,۰) (۳,۰,۲)	شاهرود
۰	۰	۰	۱	۰	۱	ساریما (۱,۰,۱) (۰,۰,۰)	ایرانشهر
۱	۰	۰	۱	۰	۱	ساریما (۱,۰,۰) (۱,۰,۱)	چابهار
۱	۰	۰	۲	۰	۱	ساریما (۱,۰,۰) (۲,۰,۱)	زابل
۰	۰	۰	۱	۰	۱	ساریما (۱,۰,۰) (۰,۰,۰)	زاهدان
۱	۰	۰	۲	۰	۱	ساریما (۱,۰,۰) (۲,۰,۱)	کنارک چابهار
۱	۰	۰	۲	۰	۱	ساریما (۱,۰,۰) (۲,۰,۱)	شیراز
۰	۰	۰	۲	۰	۲	ساریما (۰,۰,۰) (۲,۰,۲)	آباده
۰	۰	۰	۲	۰	۰	ساریما (۰,۰,۰) (۲,۰,۰)	فسا
۳	۱	۰	۲	۰	۰	ساریما (۳,۱,۰) (۲,۰,۰)	سنندج
۰	۰	۰	۲	۰	۰	ساریما (۰,۰,۰) (۲,۰,۰)	سقز
۱	۰	۲	۲	۰	۰	ساریما (۱,۰,۲) (۲,۰,۰)	کرمانشاه
۱	۰	۰	۲	۰	۱	ساریما (۱,۰,۰) (۲,۰,۱)	گرگان
۰	۰	۰	۲	۰	۱	ساریما (۰,۰,۰) (۲,۰,۱)	کرمان
۰	۰	۰	۱	۰	۲	ساریما (۰,۰,۰) (۱,۰,۲)	سیرجان
۰	۰	۱	۲	۰	۲	ساریما (۰,۰,۱) (۲,۰,۲)	بم
۰	۰	۱	۱	۰	۱	ساریما (۰,۰,۱) (۱,۰,۱)	رشت
۰	۰	۱	۱	۰	۱	ساریما (۰,۰,۱) (۱,۰,۱)	بندرانزلی
۱	۰	۲	۲	۰	۰	ساریما (۱,۰,۲) (۲,۰,۰)	خرم‌آباد
۰	۰	۰	۲	۰	۰	ساریما (۰,۰,۰) (۲,۰,۰)	بابلسر
۰	۰	۰	۲	۰	۰	ساریما (۰,۰,۰) (۲,۰,۰)	رامسر
۰	۰	۰	۲	۰	۰	ساریما (۰,۰,۰) (۲,۰,۰)	قائم‌شهر
۰	۰	۳	۲	۰	۰	ساریما (۰,۰,۳) (۲,۰,۰)	نوشهر
۲	۰	۰	۱	۰	۱	ساریما (۲,۰,۰) (۱,۰,۱)	اراک
۰	۰	۰	۲	۰	۱	ساریما (۰,۰,۰) (۲,۰,۱)	یزد
۲	۰	۰	۱	۰	۱	ساریما (۲,۰,۰) (۱,۰,۱)	همدان
۳	۱	۰	۲	۰	۰	ساریما (۳,۱,۰) (۲,۰,۰)	همدان - نوژه
۱	۰	۰	۲	۰	۰	ساریما (۱,۰,۰) (۲,۰,۰)	بندرعباس
۱	۰	۰	۱	۰	۲	ساریما (۱,۰,۰) (۱,۰,۲)	بندر لنگه
۱	۰	۰	۱	۰	۱	ساریما (۱,۰,۰) (۱,۰,۱)	جاسک
۰	۰	۱	۱	۰	۱	ساریما (۰,۰,۱) (۱,۰,۱)	جزیره ابوموسی
۱	۰	۰	۲	۰	۲	ساریما (۱,۰,۰) (۲,۰,۲)	کیش
۰	۰	۰	۱	۰	۲	ساریما (۰,۰,۰) (۱,۰,۲)	میاب

بحث و نتیجه‌گیری

مدل‌ها و روش‌های آماری ابزارهایی کارا و مفید برای شناسایی و ارزیابی رفتارهای اقلیمی به‌شمار می‌آیند. در این میان، مدل‌های سری‌های زمانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند و در علوم مختلف محیطی از جمله هیدرولوژی، هواشناسی، و اقلیم‌شناسی کاربرد فراوانی دارند و به محققان کمک می‌کنند تا تغییرات بارندگی بهتر بررسی شود. در این مطالعه به شناخت ارتباط بارش‌های فصلی و بین‌فصلی در ایران با مدل ساریما پرداخته شد. در این زمینه، نخست کفایت مدل ساریما برای همهٔ ایستگاه‌ها ارزیابی شد. نتایج نشان داد در همهٔ ایستگاه‌های مورد مطالعه (جز بوشهر، شهرکرد، بیرجند، امیدیه‌آغاچاری، و رشت) مدل، ساختار همبستگی داده‌ها را به‌خوبی توصیف و بارش‌های فصلی را در این ایستگاه‌ها به‌خوبی تبیین می‌کند؛ بنابراین، از کفایت لازم برخوردار است. این موضوع با نتایج کار علیچانی و رضانی (۱۳۸۱)، گلایی و همکاران (۱۳۹۲)، چانگ و همکاران (۲۰۱۲)، و بری و همکاران (۲۰۱۵) - که از این مدل برای پیش‌بینی خشک‌سالی و پیش‌بینی سری زمانی بارش استفاده کرده و پس از ارزیابی، کفایت آن را نیز تأیید کرده‌اند - مطابقت دارد.

بررسی وابستگی بارش‌های فصلی و بین‌فصلی در هر ایستگاه (جدول ۲) نشان داد که در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه (۹۳٪) بارش‌ها از الگوهای فصلی تبعیت می‌کنند و رفتار فصلی از خود نشان می‌دهند. در واقع، از آنجا که ملزومات رخداد بارش یعنی وجود رطوبت و صعود هوا در سرزمین ایران عمدتاً تابع عوامل منطقه‌ای است و پهنه‌های آبی اطراف نظیر دریای مدیترانه و عرب منبع اصلی تأمین رطوبت و مکانیزم اصلی صعود برای رخداد بارش معمولاً دینامیکی است، الگوهای گردشی جو و زمان و مسیر ورود سامانه‌های بارشی در نواحی مختلف موجب پیدایش الگوهای منظم فصلی در بارش می‌شود. به عبارت دیگر، بارش ایران توسط پسروری و پیشروی کمربند بادهای غربی و ورود سامانه‌های کم‌فشار و پُرفشار مهاجر کنترل می‌شود و این ورود و عقب‌نشینی کمربندهای آب هوایی در کشور معمولاً تداومی چندماهه دارند.

برای تحلیل روند، سری‌های زمانی بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه و مرتبه‌های تفاضلی بین‌فصلی (d) در همهٔ ایستگاه‌ها بررسی و مشخص شد که در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه (جز مراغه، سنندج، نوزه، و فردوس که روند بارش فصلی در آن‌ها کاهش است) مقدار بارش فصلی از روند کاهشی یا افزایشی معنی‌داری تبعیت نمی‌کند. یافته‌های این بخش از تحقیق با بیشتر نتایج حاصل از مطالعات دیگر پژوهشگران (داداشی رودباری و کیخسروی کیانی، ۱۳۹۵؛ موحدی و همکاران، ۱۳۹۲؛ رضیئی و همکاران، ۱۳۸۴) همخوانی دارد. زیرا روند بارش در بیشتر ایستگاه‌های کشور معنادار نیست؛ هرچند شیب‌های ضعیف کاهشی و افزایشی قابل انتظار است. البته، تفاوت‌های جزئی که در نتایج برخی محققان (ناظر تهرودی و همکاران، ۱۳۹۵) در برآورد روند بارش ایران مشاهده می‌شود بیشتر ناشی از انتخاب بازهٔ زمانی متفاوت است تا اختلاف روش‌های مورد استفاده.

منابع

- آذرخی، م.؛ فرزادمهر، ج.؛ اصلاح، م. و صحابی، ح. (۱۳۹۲). بررسی روند تغییرات سالانه و فصلی بارش و پارامترهای دما در مناطق مختلف آب و هوایی ایران، نشریهٔ مرتع و آبخیزداری، ۱۶(۱): ۱-۱۶.
- چتفیلد، ک. (۱۳۸۱). مقدمه‌ای بر تحلیل سری‌های زمانی، ترجمهٔ حسینی نیرومند و ابوالقاسم بزرگ‌نیا، ج ۲، مشهد: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- حسینی‌زاده، م.؛ حسینی‌زاده، ن.؛ بابانژاد، م. و رضانژاد، م. (۱۳۹۳). پیش‌بینی بارش ماهانه با استفاده از بسته‌های تخصصی سری‌های زمانی در محیط، نرم‌افزار R (مطالعهٔ موردی: ایستگاه ارازکوسهٔ استان گلستان)، نشریهٔ حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی، ۲(۲): ۱-۱۲.
- داداشی رودباری، ع.ع. و کیخسروی کیانی، م. (۱۳۹۵). واکاوی مکانی و زمانی روند بارش سالانهٔ ایران طی سال‌های ۱۳۲۹ تا ۱۳۸۶، مجلهٔ محیط زیست و منابع آب، ۲(۲): ۱۱۱-۱۲۱.

- دودانگه، ا.؛ عابدی کوپایی، ج. و گوهری، س.ع. (۱۳۹۱). کاربرد مدل‌های سری زمانی به منظور تعیین روند پارامترهای اقلیمی در آینده در راستای مدیریت منابع آب، علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۱۶(۵۹): ۷۴-۵۹.
- رضیعی، ط.؛ دانش کارآراسته، پ. و تقفیان، ب. (۱۳۸۴). بررسی روند بارندگی سالانه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مرکزی و شرقی ایران، دو ماهنامه آب و فاضلاب، ۱۶(۲): ۸۱-۷۳.
- شریفان، ح. و قهرمان، ب. (۱۳۸۶). ارزیابی پیش‌بینی باران با به‌کارگیری تکنیک ساریما در استان گلستان، علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۳: ۱۴-۱.
- شعبانی، ب.؛ موسوی بایگی، م.؛ جباری نوقایی، م. و قهرمان، ب. (۱۳۹۲). مدل‌سازی و پیش‌بینی دمای حداکثر و حداقل ماهانه دشت مشهد با استفاده از مدهای سری زمانی، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۷(۵): ۸۹۶-۹۰۶.
- شفیعی، م.؛ قهرمان، ب.؛ انصاری، ح. و شریفی، م.ب. (۱۳۹۰). شبیه‌سازی تصادفی شدت خشک‌سالی بر اساس شاخص پالمر، مدیریت آب و آبیاری، ۱۱(۱): ۱۳-۱.
- صلاحی، ب. و ملکی مرشد، ر. (۱۳۹۴). پیش‌بینی و تحلیل تغییرات بارش‌های ماهانه شهرستان اردبیل با استفاده از مدل‌های آریمما، اتورگرسیو و وینترز، نشریه آب و خاک، ۲۹(۵): ۱۳۹۱-۱۴۰۵.
- عبدالله‌نژاد، ک. (۱۳۹۴). مدل‌های تصادفی سری زمانی در پیش‌بینی بارندگی ماهانه (مطالعه موردی: ایستگاه هاشم‌آباد گرگان)، مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۱۷(۵): ۲۵-۱۵.
- علیچانی، ب. و رضوانی، ن. (۱۳۸۱). پیش‌بینی خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌های استان مازندران با استفاده از مدل باکس-جنکینز، پژوهش‌های جغرافیایی، یادنامه دکتر احمد مستوفی، ص ۱۵۵-۱۶۹.
- فرج‌زاده، م. (۱۳۸۶). تکنیک‌های اقلیم‌شناسی، تهران: سمت.
- گلایی، م.ر.؛ آخوندی، ع.م.؛ رادمنش، ف. و کاشفی‌پور، م. (۱۳۹۳). مقایسه دقت پیش‌بینی مدل‌های باکس-جنکینز در مدل‌سازی بارندگی فصلی (مطالعه موردی: ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان)، تحقیقات جغرافیایی، ۲۹(۳): ۶۱-۷۲.
- معروفی، ص.؛ ختار، ب.؛ صادقی‌فر، م.؛ پارسافر، ن. و ایلدورمی، ع.ر. (۱۳۹۳ الف). پیش‌بینی خشک‌سالی با استفاده از سری زمانی ساریما و شاخص SPI در ناحیه مرکزی استان همدان، نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۲۸(۱): ۲۱۳-۲۲۵.
- معروفی، ص.؛ سقائی، ص.؛ ارشاد فتح، ف. و ختار، ب. (۱۳۹۳ ب). ارزیابی مدل‌های سری زمانی به منظور برآورد متوسط دمای ماهانه در ایستگاه‌های سینوپتیک قدیمی ایران طی دوره آماری ۱۹۷۷-۲۰۰۵، نشریه دانش آب و خاک، ۲۴(۴): ۲۱۵-۲۲۶.
- موحدی، س.؛ عساکره، ح.؛ سبزی‌پرور، ع.ا.؛ مسعودیان، ا. و مریانجی، ز. (۱۳۹۲). بررسی تغییرات الگوی فصلی بارندگی در استان همدان، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۸(۲): ۳۳-۴۸.
- ناظری تهرودی، م.؛ خلیلی، ک. و احمدی، ف. (۱۳۹۵). تحلیل روند تغییرات ایستگاهی و منطقه‌ای بارش نیم قرن اخیر کشور ایران، نشریه آب و خاک، ۳۰(۲): ۶۴۳-۶۵۴.
- Abdolahnezhad, K. (2015). Forecasting of Monthly Sum-rainning by Stochastic Models in Time Series, *Geographical Planning of Space Quarterly Journal*, 5(17): 15-25.
- Abu Zafar, M.D.; Chakraborty, A.; Muniruzzaman, SH.M.D. and Mojumdar, S.R. (2016). Rainfall Forecasting in Northeastern part of Bangladesh Using Time Series ARIMA Model, *Research Journal of Engineering Sciences*, 5(3): 17-31.
- Afrifa-Yamoah E.; Bashiru I.I.S. and Azumah, K. (2016). SARIMA Modelling and Forecasting of Monthly Rainfall in the Brong Ahafo Region of Ghana, *World Environment*, 6(1):1-9.
- Alijani, B. and Ramezani, N. (2002). The Predicted droughts and Wet Periods of Mazandaran province using the Box-Jenkins, *Geography Research (Reminder doctor Ahmed Mostofi)*, 155-169.
- Azarakhshi, M.; Farzadmehr, J.; Eslah, M. and Sahabi, H. (2103). An Investigation on Trends of Annual and Seasonal Rainfall and Temperature in Different Climatologically Regions of Iran, *Journal of Range and Watershed Management*, 66(1): 1-16.
- Bari, S.H.; Rahman, M.T.; Hussain, M.M. and Ray, S. (2015). Forecasting Monthly Precipitation in Sylhet City Using ARIMA Model, *Civil and Environmental Research*, 7(1): 69-77.
- Box, G.E.P. and Jenkins, G.M. (1976). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*, Third Edition, holden-day.
- Borzognia, A. and Niromand, H.A. (1993). *Time Series Analysis*, Ferdowsi University Press.

- Chang, X.; Gao, M.; Wang, Y. and Hou, X. (2012). Seasonal Autoregressive Integrated moving average model for Precipitation time series, *Journal of Mathematics and Statistics*, 8(4): 500-505.
- Chefield, K. (2002). *Introduction to Time Series Analysis*, Translated by Niromand, H.A and Bozorgnia, A., Ferdowsi University Press.
- Chiew, F.H.S.; Stewardson, M.J. and McMahon, T.A. (1993). Comparison of six rainfall-runoff modeling approaches, *Journal of Hydrology*, 147: 1-36.
- Chowdhury, S. and Biswas, A. (2016). Development of a Monthly Rainfall Prediction Model Using Arima Techniques in Krishnanagar Sub-Division, Nadia District, West Bengal, *International journal of Engineering Studies and Technical Approach*, 2(2):18-26.
- Dadashi Roudbari, A.A. and Keykhosravi Kiani, M. (2016). Analysis of the Spatial and Temporal Trend of Annual Rainfall in Iran during 1950-2007, *Journal of Environment and Water Engineering*, 2(2): 111-207.
- Dodangeh, S.; Abedi Koupai, J. and Gohari, S.A. (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.
- Fallah Ghalhari, GH.A.; Bayatani, F. and Fahiminezhad, E. (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.
- Fallah Ghalhari, GH.A.; Bayatani, F. and Fahiminezhad, E. (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.
- Golabi, M.R.; Akhondali, A.M.; Radmanesh, F. and Kashefipoor, M. (2014). The Forecasting Accuracy Comparison of Box-Jenkins Models in Modeling the Seasonal Rainfall (Case study: Selected Stations in Khozestan Province), *Geographical Research*, 29(3): 61-72.
- Hosseinalizadeh, M.; Hassanalizadeh, N.; Babanezhad, M. and Rezanezhad, M. (2014). Monthly Precipitation Forecast by Time Series Packages in R Environment (Case study: Arazkooseh station of Golestan province), *Journal of Conservation and Utilization of Natural Resources*, 3(2): 1-12.
- Kaushik, I. and Singh, S.M. (2008). Seasonal ARIMA model for forecasting of monthly rainfall and temperature, *Journal of Environmental Research and Development*, 3(2): 2: 506 -514.
- Kibunja, H.W.; Kihoro, J.M.; Orwa, G.O. and Yodah, W.O. (2014). Forecasting Precipitation Using SARIMA Model: A Case Study of Mt. Kenya Region, *Mathematical Theory and Modeling*, 4(11): 50-58.
- Mahsin, M.d.; Akhter, Y. and Begum, M. (2012). Modeling rainfall in Dhaka division of bangladesh using time series analysis, *Journal of Mathematical Modelling and Application*, 1(5): 67-73.
- Majid-Ali, S. (2013). Time Series Analysis of Baghdad Rainfall Using ARIMA Method, *Iraqi Journal of Science*, 54(4): 1136-1142.
- Marofi, S.; Khatar, B.; Sadeghifar, M.; Parsafar, N. and Ildoromi, A.R. (2015). The Prediction of Drought Using the SARIMA time series and index SPI, In the Central Region of the Hamedan Province, *Journal of Water Research in Agriculture*, 28(1): 213-225.
- Marofi, S.; Saghaei, S.; Ershadifath, F. and Khatar, B. (2014). Evaluating Time Series Models to Estimate Monthly Temperature of Iran's Synoptic Stations During 1977-2005, *Water and Soil Science*, 24(4): 215-226.
- Mishra, A.K. and Desai, V.R. (2005). Drought forecasting using stochastic models, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 19(5): 326-339.
- Mohamed, T.M. and Ibrahim, A.A. (2016). Time Series Analysis of Nyala Rainfall Using ARIMA Method, *Journal of Science and Technology*, 17(1): 5-11.
- Movahedi, S.; Asakereh, H.; Sabziparvar, A.A.; Masodian, A. and Maryanaji, Z. (2013). Investigating the Changes of Seasonal Rainfall Pattern in Hamedan Province, *Geographical Researches Quarterly Journal*, 28(109): 33-48.
- Naill, P.E. and Momani, M. (2009). Time series model for Rainfall data in Jordan: a case study for using time series, *American Journal of Environmental Sciences*, 5(5): 599-604.
- Nazeri Tahrudi, M.; Khalili, K. and Ahmadi, F. (2016). Spatial and Regional Analysis of Precipitation Trend over Iran in the Last Half of Century, *Journal of Water and Soil*, 30(2): 643-654.
- Raziei, T.; Daneshkar Arasteh, P. and Saghafian, B. (2005). Annual Rainfall Trend Analysis in Arid and Semi-arid Regions of Central and Eastern Iran, *Journal of Water and Wastewater*, 16(2)(Serial number: 54): 73-81.

- Shabani, B.; Mousavi Baygi, M.; Jabari Noghahi, M. and Ghareman, B. (2013). Modeling and Prediction of Monthly Max & MinTemperatures of Mashhad Plain Using Time Series Models, *Journal of Water and Soil*, 27(5): 896-906.
- Shafiei, M.; Ghahraman, B.; Ansari, H. and Sharifi, M.B. (2011). Stochastic Simulation of Drought Severity Based on Palmer Index, *Journal of Water and Irrigation Management*, 1(1): 1-13.
- Sharifan, H. and Ghahraman, B. (2007). Evaluation of rainfall forecasting in Golestan province using time series, *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 14(3): 196-209.
- Zakaria, S.; Al-Ansari, N.; Knutsson, S. and Al-Badrany, T. (2012). ARIMA Models for weekly rainfall in the semi-arid Sinjar District at Iraq, *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 1(3): 25-55.

