

پیش‌بینی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های استان مازندران با استفاده از مدل باکس - جنکینز

دکتر بهلول علیجانی - استاد جغرافیا، دانشگاه تربیت معلّم

نبی‌ا... رمضانی - دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا، دانشگاه تربیت معلّم

چکیده

بروز خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها با همه پیامدهایی که دارند، یک پدیده تکراری و طبیعی در اکوسیستم محیط محسوب می‌شود. در این تحقیق به منظور پیش‌بینی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های استان مازندران با استفاده از روش سری زمانی باکس - جنکینز که شامل مدل‌های مختلف سری زمانی از جمله اتورگرسیون، میانگین متحرک، مدل‌های تلفیقی اتورگرسیون با میانگین متحرک و مدل‌های فصلی می‌باشد، به پیش‌بینی بارندگی چهار ایستگاه منتخب در سطح استان که از آمار ماهانه طولانی و کاملی (بابلسر، قائم‌شهر ۲۰۰۰ - ۱۹۵۱، رامسر ۲۰۰۰ - ۱۹۵۵ و نوشهر ۲۰۰۰ - ۱۹۷۷) برخوردار بودند، پرداخته شد. بعد از برازش دادن مدل‌های مختلف باکس - جنکینز برای پیش‌بینی بارش چهار ایستگاه فوق، مشخص شد که مدل‌های فصلی این روش برای پیش‌بینی، از دقت و کارایی بیشتری برخوردار می‌باشند. مدل‌های فصلی در حقیقت ترکیبی از مدل‌های تلفیقی اتورگرسیون با میانگین متحرک غیرفصلی و فصلی می‌باشند.

واژگان کلیدی: مازندران، خشکسالی و ترسالی، بارندگی، پیش‌بینی، سریهای زمانی، مدل‌های فصلی، مدل‌های باکس - جنکینز.

مقدمه

پدیده‌های اقلیمی نقش بسیار مؤثری در زندگی انسان و برنامه‌ریزی‌های حال و آینده او داشته و همواره یکی از پایه‌های مطالعاتی غالب برنامه‌ریزی‌های محیطی می‌باشد؛ لذا شناخت و بررسی این پدیده‌ها از جمله پدیده خشکسالی و یا ترسالی که اثرات مستقیمی بر محیط زیست گیاهان، جانوران و جوامع انسانی دارد، ضروری بنظر می‌رسد. از آنجایی که بروز خشکسالی و یا ترسالی در یک منطقه رابطه مستقیمی با مقادیر بارش نازل شده دارد، تحلیل و پیش‌بینی بارندگی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تاکنون تحقیقات مختلفی در این زمینه به اشکال مختلف صورت گرفته است که از جمله این تحقیقات، بررسی خشکسالی جنوب صحرا (Lamb, 1982)، تحلیل روند خشکسالی در مجارستان (Zenil et al, 1998)، بررسی تغییرات ویژگی‌های بارندگی شمال نیجریه (Aodover and Ming, 1998)، بررسی الگوهای سینوپتیک ماهانه خشکسالی و ترسالی در ایران (خوش اخلاق، ۱۳۷۶)، بزرگی، گستره و فراوانی خشکسالی‌ها در ایران (غیور، ۱۳۷۶)، تحلیل و پیش‌بینی دما و بارندگی شهر تهران با استفاده از سری زمانی (جمشیدی، ۱۳۶۸) و مدل سازی خشکسالی در غرب کشور (مالکی، ۱۳۷۴) می‌باشد.

این تحقیق نیز بر آن است تا برای نخستین بار، تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های استان مازندران را با استفاده از روش سری زمانی که معروفترین و بهترین روش برای پیش‌بینی سریهای اقلیمی می‌باشد، انجام دهد. برای این منظور از داده‌های بارندگی ماهانه چهار ایستگاه سینوپتیک استان یعنی ایستگاههای بابلسر، قائمشهر، رامسر و نوشهر که از آمار کامل و طولانی برخوردار بودند، استفاده گردید.

روش کار

تحلیل سری‌های زمانی از دهه ۱۹۷۰ به بعد برای پیش‌بینی و کنترل داده‌ها توسعه یافته است. این تحلیل معمولاً به داده‌هایی مربوط می‌شود که مستقل نبوده و به طور

متوالی به هم وابسته‌اند. همین وابستگی بین مشاهدات متوالی است که مورد توجه قرار گرفته و بیشترین کاربرد را در پیش بینی داشته است (بزرگ‌نیا و نیرومند، ۱۳۷۴).

سری‌های زمانی گردآورده‌ای مرتب از مشاهدات در طول زمان می‌باشند. به بیان دقیق‌تر، سری زمانی نمونه‌ای است که از یک فرآیند تصادفی^(۱) مثل بارندگی در طول زمان جمع‌آوری شده است. این نمونه‌ها معمولاً در زمان‌هایی با فاصله مساوی از یکدیگر انتخاب می‌شوند (آمار پردازان، ۱۳۷۷). این سری‌ها که به طور دنباله‌ای در طول زمان تولید می‌شوند اگر به طور پیوسته باشند، آنرا سری زمانی پیوسته می‌گویند و اگر به صورت مجموعه‌ای از داده‌های گسسته باشند، سری زمانی گسسته نامیده می‌شوند که معمولاً از دو طریق یعنی از راه نمونه‌گیری از یک سری زمانی پیوسته و یا از راه تجمع مقادیر یک متغیر (مثلاً بارندگی) در طول دوره‌ای از زمان تولید می‌شوند (مشکانی، ۱۳۷۱).

تغییراتی که در سری‌های زمانی حاصل می‌شود، می‌تواند بر اثر عوامل طبیعی یا عواملی دیگر باشد و لذا با توجه به سری زمانی و نمودار آن، اجزای تشکیل دهنده سری زمانی را می‌توان شناخت و آنها را اندازه‌گیری نمود. به طور معمول برای تحلیل یک سری زمانی تغییراتی که نتیجه چهار مؤلفه اصلی هستند، در نظر گرفته می‌شوند که این اجزاء یا مؤلفه‌ها شامل موارد ذیل می‌باشند (آذر و مؤمنی، ۱۳۷۹):

۱- روند^(۲): روند عبارت است از تغییرات درازمدت در میانگین سری زمانی و به عبارت دیگر، سیر طبیعی سری زمانی را در درازمدت، روند گویند که معمولاً حالت صعودی یا نزولی دارد.

۲- تغییرات فصلی^(۳): تغییرات فصلی، تغییراتی می‌باشند که در دوره‌های تناوبی کوتاه و در داخل یک سال پیش می‌آیند. این تغییرات مربوط به عواملی هستند که به

۱- فرآیند تصادفی یک پدیده آماری می‌باشد که در طول زمان، مطابق قوانین احتمالات تحول می‌یابد (مشکانی، ۱۳۷۴).

طور منظم و چرخه‌ای روی یک دوره کمتر از یک سال عمل می‌کنند.

۳- تغییرات دوره‌ای^(۱): حرکات نوسانی در یک سری زمانی با دوام بیشتر از یک سال را تغییرات دوره‌ای گویند.

تغییرات نامنظم^(۲): تغییرات نامنظم یا تصادفی، نتیجه نیروهای عوامل پیش بینی نشده می‌باشد که به طریقی نامنظم عمل می‌کنند. این گونه تغییرات، طرح معینی را نشان نمی‌دهد و زمان وقوع آنها نامنظم و تقریباً غیرقابل پیش‌بینی می‌باشد.

مهمترین هدف از تجزیه و تحلیل سری زمانی، یافتن مدل تغییرات و پیش‌بینی آینده می‌باشد. منظور از پیش‌بینی سری زمانی، تخمین مقادیری از مجموعه داده‌ها می‌باشد که در زمان اجرای تحلیل، مقدار آن مجهول است (آمار پردازان، ۱۳۷۴). برای پیش‌بینی رفتار سری زمانی و تعیین مدل پیش‌بینی، فنون مختلفی وجود دارد. این فنون را می‌توان به دو دسته روشهای کیفی (شامل روشهای دلفی، طوفانی مغزی و گروه اسمی) و روشهای کمی (شامل مدل‌های ساده، میانگین متحرک، نمو هموار، هلت - ویتترز، باکس - جنکینز و مدل‌های اقتصادسنجی) تفکیک کرد (آذر و مؤمنی، ۱۳۷۹). در این تحقیق از بین این مدل‌ها از مدل کمی باکس - جنکینز که از بهترین مدل‌ها برای تحلیل و پیش‌بینی محسوب می‌شود، استفاده شده است.

اساس رویکرد باکس - جنکینز، بر پایه بررسی حوزه وسیعی از مدل‌های پیش‌بینی برای یک سری زمانی قرار گرفته است. گروه عمومی مدل‌ها برای یک سری زمانی در روش‌شناسی باکس - جنکینز مدل‌های تلفیقی اتورگرسیو و میانگین متحرک می‌باشند که در آمار به مدل ARIMA^(۳) معروفند. از مدل‌های متعددی چون مدل رگرسیون ساده و چند متغیره، میانگین متحرک و حتی مدل‌های ناشناخته دیگر را که مناسب سری زمانی می‌باشند، می‌توان استخراج کرد. در مدل باکس - جنکینز علاوه بر عامل روند، به تغییرات فصلی و تصادفی نیز توجه می‌گردد (آذر و مؤمنی ۱۳۷۹).

روش باکس و جنکینز و مدل‌های استفاده شده در آن، تنها برای سری‌های زمانی ایستا^(۱) بکار می‌روند. به همین دلیل در سری‌های زمانی مختلف که غالباً نایستا هستند، باید با استفاده از روشهای تفاضل‌گیری^(۲) مختلف آنرا به یک سری ایستا تبدیل نمود. این تفاضل‌گیری‌ها سبب می‌شود که اثرات روند یا فصلی در سری داده‌ها از بین رفته و داده‌ها به حالت ایستا برسند. تبدیل‌های دیگری نیز در یک سری زمانی انجام می‌شود: مانند لگاریتم و یا گرفتن ریشه دوّم داده‌ها که پایداری واریانس جامعه را کنترل می‌کنند. عمل تفاضل‌گیری که صافی مناسبی جهت حذف روند و اثرات فصلی می‌باشد، به دو صورت تفاضل‌گیری غیر فصلی و فصلی انجام می‌شود.

از آنجایی که سری‌های زمانی اقلیمی در بررسی کیفیت داده‌ها مفید بوده و نتایج بسیار مناسبی را ارائه می‌دهند (Valero et al, 1996)، برای برآورد و پیش‌بینی بارندگی، در این تحقیق از الگوهای سری زمانی استفاده گردید. مدل‌های سری‌های زمانی مانند مدل میانگین متحرک، زمانی که یک دامنه وسیعی از فرآیندهای تصادفی را شامل شدند، از اهمیت زیادی برخوردار گردیدند؛ زیرا ساختار ریاضی آنها کاملاً مفید برای پیش‌بینی بوده و نمایش آماری مناسبی از داده‌ها را بر حسب پارامترهای بسیار کم تهیه می‌کنند. مدل‌های ARIMA تصوّر کلی ما را از آب و هوا و راههایی که در مشاهدات هواشناسی است، درست نمایی می‌کنند (Katz, 1981).

مراحل تحقیق

۱- آمار ماهانه بارندگی ایستگاههای منتخب در دوره آماری موجود (بابلسر و قائمشهر از ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۰، رامسر از ۱۹۵۵ تا ۲۰۰۰ و نوشهر از ۱۹۷۷ تا ۲۰۰۰) به صورت یک سری زمانی تنظیم شد.

۱- سری زمانی مانا یا ایستا به سری‌هایی گفته می‌شود که در آن، تغییرات منظم در میانگین و واریانس از بین رفته باشد و تغییرات دوره‌ای کاملاً حذف شده باشد.

۲- نمودار تغییرات زمانی آنهارسم شد تا از این طریق بتوان کیفیت داده‌ها را از نظر وجود روند، اثرات فصلی یا دوره‌ای تشخیص داد. اگر از نحوه پراکنش داده‌ها تشخیص داده شد که سری داده‌ها از واریانس ثابت و ایستا برخوردار نبوده، با عمل تبدیل واریانس ثابت گردید. البته برای نرمال کردن داده‌ها از تبدیل لگاریتمی نپیرین استفاده گردید.

۳- به منظور شناسایی وضعیت ایستایی نمودارهای خود همبستگی (Acf) و خود همبستگی جزئی (Pacf) ترسیم شدند. بر اساس این مدل‌ها و استفاده از فرآیند تفاضل‌گیری، سری‌ها ایستا شدند.

۴- از روی نمودارهای Acf و Pacf سری‌های ایستا شده، نوع مدل سری زمانی مانند میانگین متحرک، اتورگرسیو و یا ترکیبی از این دو (ARIMA) شناسایی شد.

۵- بر اساس معنی داری تأخیرهای نمودارهای Acf و Pacf در سطح $\alpha=0.05$ جملات هر کدام از مدل‌ها تعیین شد.

۶- وضعیت خشکسالی و ترسالی بر اساس میانگین سالانه تعیین شده است. بدین صورت که سالهای زیر میانگین خشکسالی و سالهای بالای میانگین ترسالی منظور شده است. بنابراین با مقایسه مقدار بارش پیش‌بینی شده هر سال با میانگین دراز مدت آن، وضعیت خشکسالی یا ترسالی مشخص می‌شود.

نتایج

چون شرح مراحل کار و نتایج مرحله‌ای همه ایستگاههای مورد مطالعه از عهده این مقاله خارج است، فقط پردازش ایستگاه بابلسر شرح داده می‌شود و سپس نتایج نهایی همه ایستگاهها بررسی می‌شود.

پیش‌بینی بارندگی در ایستگاه بابلسر:

نمودار پراکنندگی بارش ایستگاه بابلسر در شکل شماره (۱) و نمودارهای Acf و

Pacf آن در شکل شماره (۲) ترسیم شده‌اند. این نمودارها نشان می‌دهند که داده‌های بارندگی از حالت ایستایی برخوردار نمی‌باشد. به همین جهت، برای ایستا و نرمال کردن داده‌ها از تفاضل‌گیری فصلی و غیرفصلی مرتبه اول استفاده کرده، داده‌ها را ایستا و نرمال کردیم. شکل‌های شماره (۳ و ۴) نشان می‌دهند که داده‌ها ایستا و نرمال شده‌اند. در مرحله بعدی، نمودارهای Acf و Pacf سری تبدیل شده را رسم نمودیم (شکل‌های شماره ۵ و ۶) با توجه به این شکلها، نمودار Acf در محدوده‌های غیر فصلی و هم فصلی فقط در تأخیر اول معنی دار است و نمودار Pacf کاهش تدریجی (نمایی) اندازه تأخیرها را در هر دو سطح غیرفصلی و فصلی نشان می‌دهد. بنابراین مدل مناسب میانگین متحرک مرتبه اول، غیرفصلی و فصلی می‌باشد.

بنابراین مدل پیش فرض ما از نوع میانگین متحرک (۱ و ۱ و ۰) (۱ و ۱ و ۰) می‌باشد. البته میانگین هم معنی دار نبوده (جدول شماره ۱) و در مدل گنجانده نشده است.

پس از اعمال مدل حاصل به سری زمانی، به منظور آزمون مدل نمودار Pacf باقیمانده‌ها را ترسیم نمودیم (شکل شماره ۷). این شکل استقلال باقیمانده‌ها را نشان نمی‌دهد. چون در تأخیر اول، محدوده غیر فصلی معنی دار است؛ در نتیجه اتورگرسیو مرتبه اول غیر فصلی را در مدل اولیه اضافه نمودیم و مدل به صورت آریمای (۱ و ۱ و ۰) (۱ و ۱ و ۱) درآمد. تحلیل باقیمانده‌های این مدل (شکل شماره ۸) استقلال داده‌ها را تأیید می‌کند. در نتیجه، مدل نهایی مناسب به شرح زیر تعریف می‌شود:

$$\phi_1(B)\nabla\nabla^{12}y_t = \theta_1(B)\Theta_1(B^{12})a_t$$

این مدل را می‌توان به شرح زیر باز کرد:

$$(1-\phi_1B)(1-B)(1-B^{12})y_t = (1-\theta_1B)(1-\Theta_{1,12}B^{12})a_t$$

و اما معادل طرف چپ مساوی می‌شود:

$$\begin{aligned} (1-\phi_1B)(1-B)(1-B^{12})y_t &= (1-B\phi_1B + \phi_1B^2)(1-B^{12})y_t \\ &= (1-B-\phi_1B + \phi_1B^2 - B^{12} + B^{13} + \phi_1B^{13} - \phi_1B^{13})y_t \end{aligned}$$

$$= y_t - B y_t - \phi_1 B y_t + \phi_1 B^2 y_t - B^{12} y_t + B^{13} y_t + \phi_1 B^{13} y_t - \phi_1 B^{14} y_t$$

$$= y_t - y_{t-1} - \phi_1 y_{t-1} + \phi_1 y_{t-2} - y_{t-12} - y_{t-13} + \phi_1 y_{t-13} - \phi_1 y_{t-14}$$

و اما معادل طرف راست مساوی می شود:

$$(1 - \theta_{1,12} B^{12})(1 - \theta_1 B) a_t = (1 - \theta B - \theta_{1,12} B^{12} + \theta_1 \theta_{1,12} B^{13}) a_t$$

$$a_t - \theta_1 B a_t - \theta_{1,12} B^{12} a_t + \theta_1 \theta_{1,12} B^{13} a_t = a_t - \theta a_{t-1} - \theta_{1,12} a_{t-12} + \theta_1 \theta_{1,12} a_{t-13}$$

در نتیجه، شکل نهایی مدل به صورت زیر تعریف می گردد:

$$y_t - y_{t-1} - \phi_1 y_{t-1} + \phi_1 y_{t-2} - y_{t-12} - y_{t-13} + \phi_1 y_{t-13} - \phi_1 y_{t-14} = a_t - \theta a_{t-1} - \theta_{1,12} a_{t-12} + \theta_1 \theta_{1,12} a_{t-13}$$

و در صورت اعمال ضرایب:

$$y_t - y_{t-1} - {}^{13}y_{t-1} + {}^{13}y_{t-2} - y_{t-12} - y_{t-13} + {}^{13}y_{t-13} + {}^{13}y_{t-14} = a_t - {}^{58}a_{t-1} - {}^{57}a_{t-12} + {}^{07}a_{t-13}$$

$$y_t = y_{t-1} + {}^{13}y_{t-1} - {}^{13}y_{t-2} + y_{t-12} + y_{t-13} - {}^{13}y_{t-13} - {}^{13}y_{t-14} - {}^{58}a_{t-1} - {}^{57}a_{t-12} + {}^{07}a_{t-13}$$

مقادیر پیش بینی شده بارندگی تا سال ۲۰۰۳ در شکل شماره (۹) ترسیم شده

است.

جمع بندی مدل های پیش بینی و تعیین سالهای خشک و تر

همانطور که ذکر شد، برای پیش بینی بارش در استان مازندران از ایستگاههای بابلسر، قائمشهر، رامسر و نوشهر استفاده گردید و برای این کار نیز روش سری های زمانی باکس - جنکینز بکار گرفته شد. بنابراین با انجام مراحل مختلف در این روش و آزمون مکرر مدل های مختلف سری های زمانی، مدل های فصلی، برازش مناسب و بهتری برای پیش بینی بارش ایستگاهها ارائه دادند. همانطور که در جدول شماره (۲) مشاهده می گردد، این مدل ها شامل مدل فصلی (۰، ۱، ۱) (۰، ۱، ۱) برای ایستگاه قائمشهر، (۰، ۱، ۱) (۰، ۱، ۱) برای ایستگاه بابلسر و بالاخره مدل های فصلی (۰، ۱، ۱) (۰، ۱، ۱) (۰، ۱، ۱) همراه با تبدیل لگاریتم نپین برای ایستگاههای رامسر و نوشهر می باشند. ضرایب استفاده شده در مدل ها در جدول شماره (۳) نوشته شده اند.

مدل پیش بینی شده ایستگاههای منتخب به شرح زیر است:

ایستگاه قائمشهر

$$(1-0.44B) \nabla^{12}y_t = (1-0.32B)(1-0.56B^{12})a_t$$

که در آن برای پیش بینی بارش، پارامترهای اتورگرسیو مرتبه اول و میانگین متحرک فصلی و غیر فصلی مرتبه اول به همراه تفاضل گیری فصلی مرتبه اول، در مدل دخالت داده شده است.

ایستگاه بابلسر

$$(1-0.13B) \nabla \nabla^{12}y_t = (1-0.58B)(1-0.57B^{12})a_t$$

در این مدل از پارامترهای اتورگرسیو مرتبه اول و میانگین متحرک فصلی و غیر فصلی به همراه تفاضل گیریهای فصلی و غیر فصلی مرتبه اول برای پیش بینی بارش استفاده شده است.

ایستگاه رامسر

$$\nabla \nabla^{12}y_t = (1-0.69B)(1-0.71B^{12})a_t$$

که در آن از پارامترهای میانگین متحرک فصلی و غیر فصلی به همراه تفاضل گیری فصلی و غیر فصلی استفاده شده است.

ایستگاه نوشهر

$$\nabla \nabla^{12}y_t = (1-0.67B)(1-0.69B^{12})a_t$$

که در آن از پارامترهای میانگین متحرک فصلی و غیر فصلی به همراه تفاضل گیریهای فصلی و غیر فصلی بکار رفته است.

مقایسه مدل های فوق نشان می دهد که در همه مدل های فوق، پارامترهای میانگین متحرک فصلی و غیر فصلی بکار رفته است و این امر سازگاری داده های این ایستگاهها را با پارامترهای مذکور نشان می دهد. با توجه به نمودارهای پیش بینی بارش هر ایستگاه،

مشخص می‌شود که پیش‌بینی‌های انجام شده، عمدتاً دامنه‌ی میانی بارندگی‌های واقعی را در بر گرفته و چون داده‌های بارش عمدتاً حالت فصلی داشته، پیش‌بینی‌ها نیز با فرکانس نسبتاً منظم، حالت فصلی به خود گرفته‌اند (شکل شماره ۹). برای مثال، مقادیر پیش‌بینی بارش سالانه‌ی ایستگاهها در جدول شماره (۴) نوشته شده‌اند.

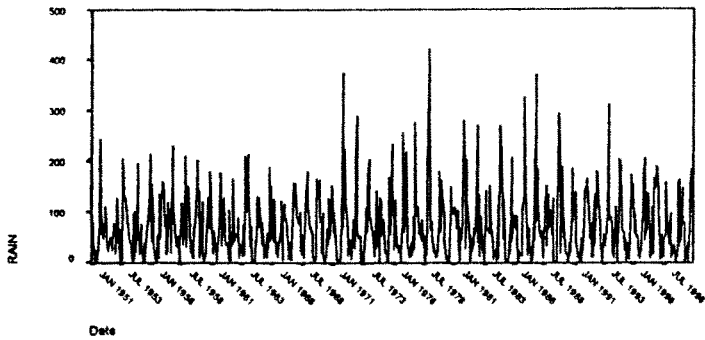
میانگین‌ها نسبت به هم بسیار نزدیک می‌باشند، ولی در ایستگاههای نوشهر و رامسر مقادیر میانگین سری اصلی و پیش‌بینی شده، اختلافی در حدود ۲۰ میلی‌متر نسبت به هم دارند و مقادیر خطای استاندارد برای هر ایستگاه به عنوان کمترین خطا در میان مدل‌های مختلف بحساب می‌آیند؛ در ایستگاههای رامسر و نوشهر از مقادیر بالاتری نسبت به دو ایستگاه دیگر برخوردار می‌باشند. این مسائل در مقادیر پیش‌بینی بارش آنها برای سالهای آتی نیز وجود دارد، به طوری که در ایستگاههای نوشهر و رامسر مقادیر پیش‌بینی شده‌ی بارش سالهای آتی، بارش سالانه‌ی کمتری نسبت به میانگین بارش سالانه‌ی کل دوره دارند؛ در حالیکه در ایستگاههای قائمشهر و بابلسر، مقادیر بارش پیش‌بینی شده برای سالهای آینده با میانگین بارش کل دوره از نزدیکی خوبی برخوردار می‌باشند.

دلیل این امر را می‌توان تأثیرپذیری زیاد مقادیر پیش‌بینی شده به بارش چند سال قبل خود و نوع مدل دانست، زیرا استفاده‌ی محض پارامترهای میانگین متحرک در مدل (در ایستگاههای رامسر و نوشهر) سبب هموار سازی نوسان داده‌ها و در نتیجه سبب دقت کمتر مدل پیش‌بینی و کاهش مقادیر پیش‌بینی نسبت به میانگین می‌شود.

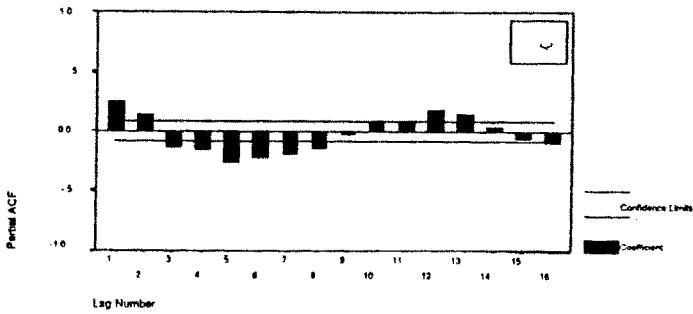
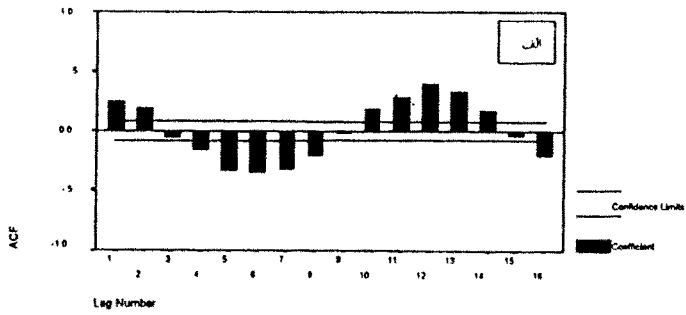
مقایسه‌ی آمار پیش‌بینی شده‌ی سالهای ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۳ با میانگین دراز مدت ایستگاهها نشان می‌دهد که ایستگاههای قائمشهر و بابلسر دوره‌ی ترسالی، و ایستگاههای رامسر و نوشهر دوره‌ی خشکسالی را آغاز کرده‌اند.

منابع و مأخذ:

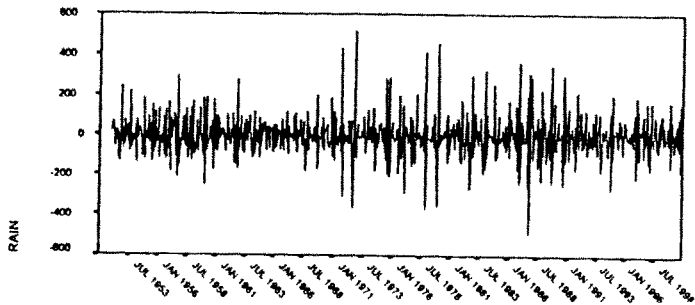
- ۱- آذر، عادل و مؤمنی، منصور. (۱۳۷۷). «آمار و کاربرد آن در مدیریت». انتشارات سمت.
- ۲- باکس، جی. ای. بی و جنکینز، جی. ام مترجم، محمدرضا مشکانی. (۱۳۷۱). «تحلیل سریهای زمانی پیش بینی و کنترل». انتشارات شهید بهشتی.
- ۳- بزرگ نیا، ابوالقاسم. نیرومند، حسینعلی. (۱۳۷۴). «سری های زمانی». انتشارات پیام نور.
- ۴- شرکت آمار پردازان. (۱۳۷۷). «راهنمای کاربران spss6.0 تحت ویندوز». انتشارات مرکز فرهنگی حامی.
- ۵- جمشیدی، وحید. (۱۳۶۸). «تجزیه و تحلیل درجه حرارت و بارندگی شهر تهران به وسیله سریهای زمانی». پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه آمار دانشگاه تربیت مدرس.
- ۶- علیجانی، بهلول. (۱۳۷۵). «آب و هوای ایران». انتشارات پیام نور.
- ۷- مالکی، عبدالکریم. (۱۳۷۵). «مدل سازی خشکسالی غرب کشور». پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه آمار دانشگاه شهید بهشتی.
- 8- Katz, R. W and Richard, H.S (1981) "On the use of autoregressive moving average process to model meteorological time series", Monthly Weather Review, Vol.109, p.479-489.
- 9- Tahule, Aodover and Ming-Kowoo (2000) "Change in rain fall characteristics in Northern Nigeria", Int.j. Climatol, Vol, 18,p.1261-1271.
- 10- Sziell, C.S. etal (1998) "Droght tendecies in Hungary". Int.J. Climatol, Vol.18,p.1479-1491.

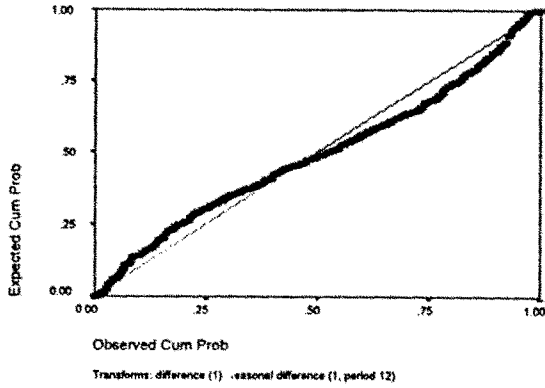


شکل ۱ نمودار سری اصلی بارندگی ایستگاه بابلسر

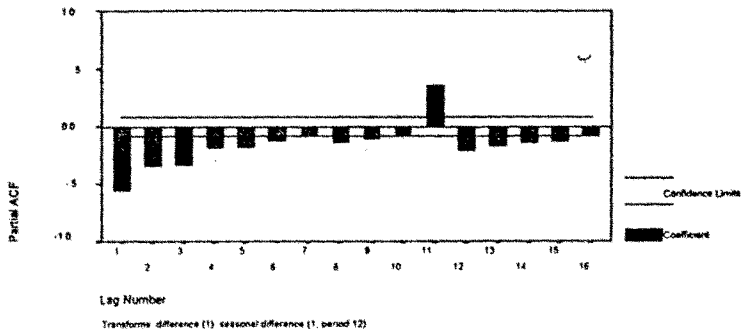
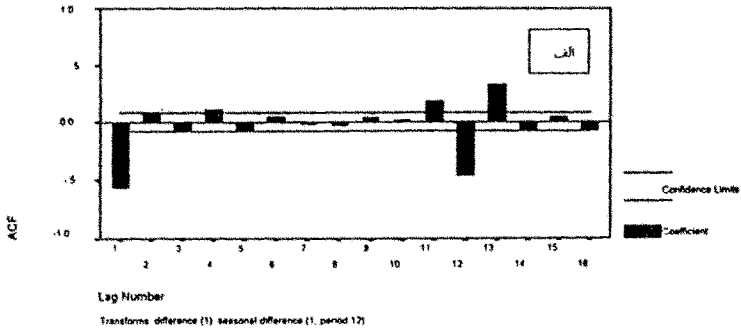


شکل ۲ نمودارهای ACF (الف) و PACF (ب) بارندگی بابلسر

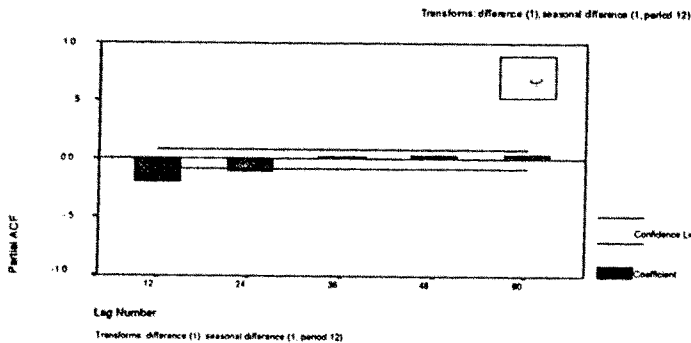
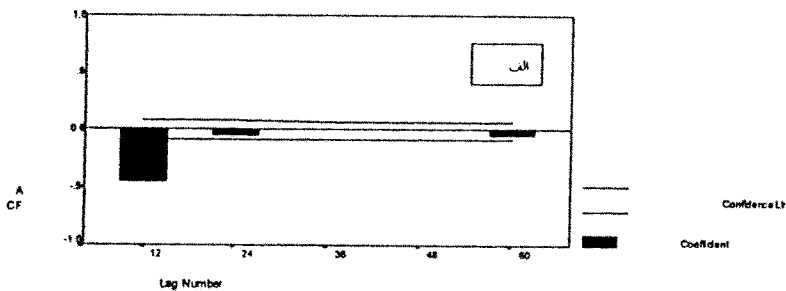




شکل ۴ نمودار Q-Q ایستگاه بابلسر پس از اعمال تفاضل گیری



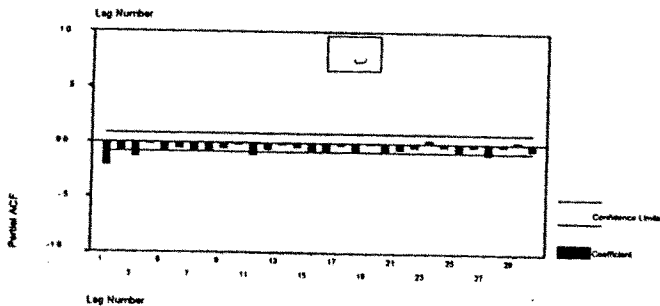
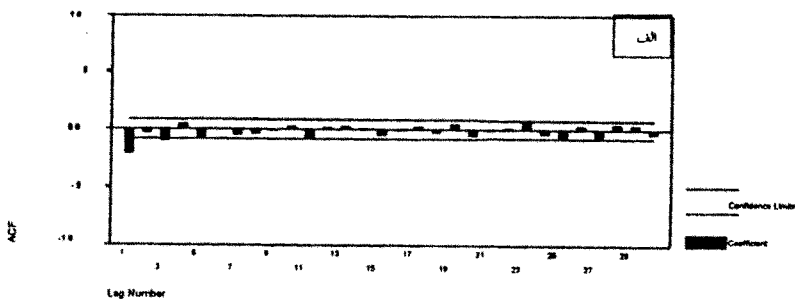
شکل ۵ نمودار های ACF (الف) و PACF (ب) بابلسر بعد از تفاضل گیری برای محدوده غیر فصلی

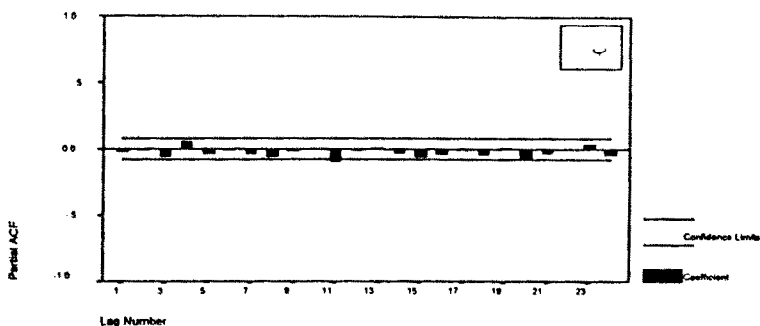
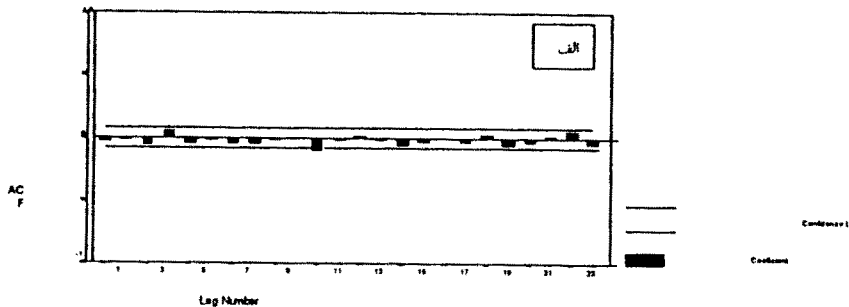


شکل ۶ نمودار های ACF (الف) و PACF (ب) بایلسر بعد از فواصل گیری برای محدوده فصلی

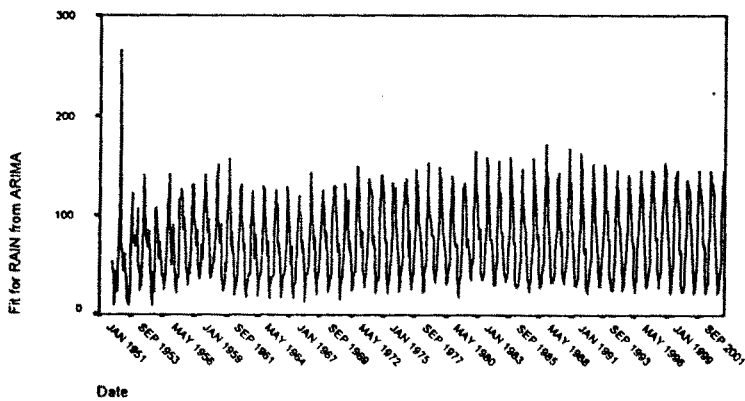
جدول ۱: ضرایب مدل

	Initial values	B	SEB	T-RATIO	APPROX.PROB
AR1	-.13280	.12	.04	-3.05	.002
MA1	.57870	.97	.017	55.50	.00
SMA1	.57644	.98	.07	14.16	.00





شکل ۸ نمودار های ACF (الف) و PACF (ب) باقیمانده ها پس از اضافه نمودن جمله AR1 در مدل



شکل ۹ مقادیر پیش بینی شده بارش ایستگاه بابلسر بر اساس مدل نهایی