روش پیش‌بینی بارندگی با استفاده از مدل سریهای زمانی باکس - جنکینز

(مطالعهٔ موردی ایستگاه قائمشهر)

نبی‌اله رمضانی
کارشناس ارشد دانشگاه تربیت معلم تهران

چکیده

مدلهای پیش‌بینی باکس - جنکینز یکی از معروف‌ترین مدلهای سریهای زمانی است که در پیش‌بینی پدیده‌های مختلف جغرافیایی اهمیت بسزایی دارد. در روش شناسی باکس - جنکینز مدلهای سری زمانی در واقع مدلهای تلفیقی اتورگرسیو و میانگین متحرک می‌باشند که در آمار به مدلهای ARIMA[1] معروف هستند. از مدلهای ARIMA می‌توان مدلهای متعددی چون مدل رگرسیون ساده و چند متغیره، اتورگرسیو، میانگین متحرک، مدلهای فصلی و حتی مدلهای ناشناخته دیگر را استخراج کرد. در این تحقیق ضمن بیان روش پیش‌بینی بارش از طریق مدل سری زمانی باکس - جنکینز، به طور عملی و با برازش دادن این مدل بر روی داده‌های بارش ماهانه ایستگاه سینوپتیک قائمشهر که از آمار ۵۰ ساله برخوردار است، بهترین مدل برای پیش‌بینی بارش در این ایستگاه که از نوع مدل SARIMA(1.0.1)(0.1.1) بود، انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی: سری زمانی، مدلهای باکس - جنکینز، خود همبستگی، خودهمبستگی جزئی - ARIMA - ایستگاه قائمشهر.

مقدمه

یکی از روشهای بسیار مهم در پیش‌بینی پدیده‌های اقلیمی به‌ویژه تخمین میزان بارندگی، استفاده از مدلهای مختلف سریهای زمانی می‌باشد. تحلیل سریهای زمانی به طور نظری و عملی از دهه ۱۹۷۰ به بعد جهت امور پیش‌بینی و کنترل، به سرعت توسعه یافته است. از جمله تحقیقاتی که در این زمینه انجام گرفته شامل: بررسی خشکسالی جنوب صحرا (Lamb, 1982)، تحلیل روند خشکسالی در مجارستان (Zenil etal, 1998)، بررسی تغییرات ویژگیهای بارندگی شمال نیجریه، (Aadover and Ming, 1998) بررسی الگوهای ماهانه خشکسالی و ترسالی در ایران، (خوش‌اخلاق، ۱۳۷۵) تحلیل و پیش‌بینی دما و بارندگی شهر تهران با استفاده از سری زمانی (جمشیدی، ۱۳۶۸) و مدل خشکسالی در غرب کشور (مالکی، ۱۳۷۴) می‌باشد. سریهای زمانی در واقع گردآورده‌ای از مشاهدات در طول زمان می‌باشند. به بیان دقیق‌تر سری زمانی نمونه‌ای است که از یک فرایند تصادفی [2] مثل بارندگی در طول زمان جمع‌آوری شده است که این نمونه‌ها معمولاً در زمانهای با فاصله مساوی از یکدیگر انتخاب می‌شوند. (آمارپردازان، ۱۳۷۷) به طور معمول برای تحلیل یک‌سری زمانی، تغییراتی که نتیجه چهار مؤلفه اصلی هستند درنظر گرفته می‌شوند که این اجزاء (مؤلفه‌ها)، شامل موارد ذیل می‌باشند (آذر و مؤمنی، ۱۳۷۹):

۱- ***روند:*** [3] روند عبارت است از تغییرات دراز مدت در میانگین سری زمانی. به عبارت دیگر سیر طبیعی سری زمانی را در دراز مدت، روند گویند که معمولاً حالت صعودی یا نزولی دارد.

۲- ***تغییرات فصلی:*** [4] تغییرات فصلی تغییراتی می‌باشند که در دوره‌های تناوبی کوتاه مدت پیش می‌آیند. این تغییرات مربوط به عواملی هستند که به طور منظم و چرخه‌ای، روی یک دوره کمتر از یک سال عمل می‌کنند.

۳- ***تغییرات دوره‌ای:*** [5] حرکات نوسانی در یک سری زمانی بیشتر از یک سال را تغییرات دوره‌ای گویند. این تغییرات به واسطه افت و خیزهایی است که از یک دوره بیشتر از یک سال برمی‌گردند.

۴- ***تغییرات نامنظم:*** [6] تغییرات نامنظم یا تصادفی نتیجه نیروی پیش‌بینی نشده می‌باشد که به طریقی نامنظم عمل می‌کنند. این گونه تغییرات طرح معینی را نشان نمی‌دهند و زمان وقوع آنها نامنظم و تقریباً غیرقابل پیش‌بینی می‌باشند. برای پیش‌بینی رفتار سری زمانی و تعیین مدل پیش‌بینی، فنون مختلفی وجود دارد که این فنون را می‌توان به دو دستهٔ ***روشهای کیفی*** (شامل روشهای دلفی، طوفانی مغزی و گروه اسمی) و ***روشهای کمّی*** (شامل مدلهای ساده، میانگین متحرک، نمو هموار، هلت- وینترز، باکس - جنکینز و مدلهای اقتصادسنجی) تفکیک کرد. (آذر و مؤمنی، ۱۳۷۹) در این تحقیق از بین این مدلها، مدل کمّی باکس - جنکینز که از بهترین مدلها برای تحلیل و پیش‌بینی محسوب می‌شود به اجمال تشریح می‌گردد. اساس رویکرد باکس - جنکینز به 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 مدلهای ARIMA[7] معروفند. از مدلهای ARIMA می‌توان مدلهای متعددی چون مدل رگرسیون ساده و چند متغیره، میانگین متحرک و حتی مدلهای ناشناخته دیگر را که مناسب سری زمانی می‌باشند استخراج کرد. در مدل باکس - جنکینز علاوه بر عامل روند به تغییرات فصلی و تصادفی نیز توجه می‌گردد (آذرومؤمنی، ۱۳۷۹). روش باکس- جنکینز و مدلهای استفاده شده در آن تنها برای سریهای زمانی ایستا [8] یا

مانا به کارمی‌روند. به همین دلیل در سریهای زمانی مختلف که غالباً هم نامتعادل بوده باید با استفاده از تبدیل [9] و روشها تفاضل‌گیری [10] مختلف آن را به یک سری ایستا تبدیل نمود. این تبدیل و تفاضل‌گیری‌ها سبب می‌شود که اثرات روند یا فصلی در سری داده‌ها از بین رفته و داده‌ها به حالت تعادل برسند. در مدلهای باکس- جنکینز علاوه بر فرض ایستابودن داده‌ها به فرض نرمال بودن داده‌ها نیز اهمیت زیادی داده می‌شود. لذا در این مدلها قبل از هر چیزی باید آزمون نرمال بودن بر روی سری داده‌های موردنظر انجام شود. برای انجام این آزمون روشهای مختلفی چون آزمون کای اسکور و منحنی‌های نرمال Q-Q,P-P وجود دارد. با این پیش زمینه و با فرض اینکه داده‌ها حالت تعادل و ایستایی داشته و فرض نرمال بودن نیز در آنها لحاظ گردیده به کارگیری مدل باکس- جنکینز شامل مراحل ذیل می‌باشد:

۱ - مرحله تشخیص مدل

تعیین یک مدل مناسب، ضرورتاً دقیق نبوده و جز راهنمایی یک دسته از مدلهای قابل برازش، کار دیگر نخواهد کرد. به همین جهت انتخاب مدل مناسب برای سری داده‌های موردنظر، بستگی به نمایش هندسی سری زمانی و قضاوت و تجربه تحلیلگر دارد. در تشخیص مدل، روشهای گرافیکی مناسب می‌باشند ولی برای تعیین مدل نهایی تکرار و آزمایش مدل اهمیت ویژه‌ای دارد. یکی از راههای مناسب که تحلیلگر را در تشخیص مدل کمک می‌کند، نمودارهای توابع خود همبستگی [11] (Acf) و خود همبستگی جزئی (Pacf)[12] می‌باشند. زیرا با این نمودارها می‌توان با توجه به ضرایب همبستگی تأخیرها و کیفیت بیرون زدگی تأخیرها از خط معنی داری، نوع و مرتبه مدلهای سری زمانی را تشخیص داد.

۲ - مرحله برآورد پارامترها و آزمون آنها

در این مرحله بعد از تعیین مدل اولیه باید با استفاده از داده‌های موجود به تخمین و برآورد پارامترهای مدل پرداخت. در این رابطه با توجه به قراردادن نوع تابع خود همبستگی و خودهمبستگی جزئی و مرتبه آنها و نیز نوع تفاضل‌گیری‌ها و تبدیل‌ها و دخالت دادن این تغییرات در مدل به برآورد و تخمین پارامترها می‌پردازیم. در برآورد پارامترها، پارامترهایی مناسب می‌باشند که از سطح معنی داری بالایی برخوردارباشند و آزمونهای کای اسکور و یا کولموگروف- اسمیرونوف وجود پارامترها را تأئیدکنند و مقادیر باقیمانده مدل نیز از جهت استقلال و نرمال بودن مورد قبول واقع شده باشند.

۳ - مرحله پیش بینی

در این مرحله به پیش‌بینی مقادیر آینده سری داده‌ها پرداخته می‌شود. به همین منظور باید به صحت مراحل قبل اطمینان کامل داشت. زیرا پیش‌بینی‌ها زمانی نزدیک به واقعیت خواهدبود و حداقل خطا را خواهند داشت که طی آن، تشخیص مدل و تعیین پارامترها و انجام آزمونهای لازم به درستی صورت گرفته باشد. مهمترین مدلهای پیش‌بینی سریهای زمانی به روش باکس- جنکینز شامل موارد ذیل می‌باشد:

- مدلهای اتورگرسیو (AR):

یک نوع مدل تصادفی برای نمایش سریهای موردنظر که می‌تواند برای پیش‌بینی مفید و کارآمد واقع شود.مدل اتورگرسیو AR(p) می‌باشد. این مدل در واقع یک معادله رگرسیونی می‌باشد. با این تفاوت که در این مدل مقادیر (x_t) روی متغیرهای مستقل، رگرسیون نشده بلکه روی مقادیر گذشتهٔ (x_t) رگرسیون شده است و به همین دلیل است که آن را ***فرایند اتورگرسیو*** نامیده‌اند (بزرگنیا و نیرومند، ۱۳۷۴). صورت کلی این مدل به شکل زیر می‌باشد:

$$Z_t = \phi Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t$$

که یک مدل اتورگرسیو از مرتبه P یا AR (p) نامیده‌می‌شود(جمشیدی،۱۳۶۸).

- مدل میانگین متحرک(MA)

یکی دیگر از مدلهای باکس - جنکینز که برای پیش‌بینی سریهای زمانی از اهمیت علمی بالایی برخوردار می‌باشد مدل میانگین متحرک مرتبه q یا MA(q) می‌باشد. در این مدل اگر Z_t فرایند تصادفی محض با میانگین صفر و δX^2 باشد، در آن صورت فرایند X_t را میانگین متحرک با مرتبه q می‌گویند. صورت کلی این الگو به شکل زیر می‌باشد:

$$Z_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q}$$

- مدلهای تلفیقی اتورگرسیو ومیانگین متحرک(ARMA)

در این الگو برای برازش بهتر و مناسب سریهای زمانی از مدلهای اتورگرسیو و میانگین متحرک به صورت ترکیبی استفاده شده است. به طورکلی چون وجود تعداد زیاد پارامترها در الگوها، دقت برآورد را کاهش می‌دهد، بنابراین در ساختن یک مدل، لازم است جملات اتورگرسیو و میانگین متحرک توأماً در مدل یا الگو استفاده شود. این مسئله به الگوی مرکب اتورگرسیو و میانگین متحرک، منتهی می‌شود که صورت کلی معادله آن به شکل زیر می‌باشد (بزرگ‌نیا و نیرومند، ۱۳۷۴):

$$Z_t = \phi Z_{t-1} + \phi Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta q a_{t-q}$$

-مدلهای فصلی (SARIMA)

از دیگر مدلهای باکس - جنکینز که در آن اثرات فصلی مورد توجه قرار گرفته الگوهای فصلی سریهای فصلی زمانی می‌باشند. به طورکلی وقتی در یک سری پس از S فاصله زمانی پایه، شباهتهایی پیداشود، می‌گوییم که سری رفتار تناوبی با دوره تناوب S از خود نشان می‌دهد (مشکانی، ۱۳۷۱). این دوره تناوب ممکن است S=12 یا S=4 ماه باشد. در میان الگوهای تصادفی فصلی به طور کلی به الگوهای ضرب‌پذیر توجه بیشتری می‌شود. الگوی کلی مدل فصلی به صورت زیر می‌باشد (مشکانی، ۱۳۷۴):

$$\Phi (B^s)\, \nabla_S^D Z_t = \Theta (B^s)\, a_t$$

روش کار

از آنجایی که سریهای زمانی اقلیمی در بررسی کیفیت داده‌ها مفید بوده و نتایج بسیارمناسبی را ارائه می‌دهند (F.Valero etal, 1996)، به همین جهت،

برای بـرآورد و پـیش‌بینی بـارندگی در ایـن تـحقیق از الگـوهای سـری زمـانی استفاده گردید. مهمترین و معروفترین مدل سری زمانی، مدلهای اتورگرسیو با میانگین متحرک ARIMA می‌باشد. مدلهای ARIMA از زمانی که یک دامنه وسیعی از فرایندهای تصادفی را شامل شدند از اهمیت زیادی برخوردارشدند، زیرا ساختار ریاضی آنهاکاملاً برای پیش‌بینی مفید بوده و نمایش آماری مناسبی از داده‌ها را برحسب پارامترهای بسیارکم تهیه می‌کنند.

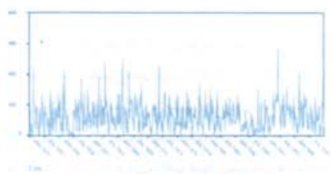
نمایه(۱): مراحل مدل سازی

مدلهای ARIMA تصورکلی ما را از آب و هوا و راههایی که در مشاهدات هواشناسی است در مطالعات اقلیمی، درست نـمایی می‌کنند (Katz, 1981). همانطورکه گردش کار مربوط به پیش‌بینی (نـمایه۱) مشـاهده مـی‌شود، بـرای پیش‌بینی بارندگی، مراحل مختلفی انجام می‌گیرد. ابتدا داده‌های ماهانه بارندگی ایستگاههای موردنظر را تبدیل به یک سری کرده، به این نحو که تمام مـاههای هر سال، به دنبال هم قرار گیرند. بعد از سری شدن داده‌ها، وضـعیت پـراکـنش داده‌ها باید مشاهده گردد،به همین جهت نمودار پراکنش داده‌ها رسم گردیده 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 شدکه سری داده‌ها از واریـانس ثـابت و تـعادل بـرخـوردار نـبوده، بـا عـمل تـبدیل (Transform) و تفاضل‌گیری (Difference) به ایسـتا کـردن و نـرمال کـردن داده‌هـا پـرداخـته مـی‌شود. بـعد از انـجام ایـن مـرحـله نـمودارهـای‌خودهمبستگی (Acf) و خودهمبستگی جزئی (Pacf) ترسیم می‌گردد.ایـن‌نمودارهـادر تـشخیص مـدل اولیه پیش‌بینی به ماکمک می‌کنند، زیرا می‌توان با توجه به بیرون زدگـی تـعداد ضرایب همبستگی تأخیرها(Lag) از خط معنی داری، نوع مدل ARIMA را از جهت این که مدل از نوع میانگین متحرک، اتورگرسیو و یا ترکیبی از این دو بوده را می‌توان به طور پیش فرض تشخیص داد و شناسایی کرد.

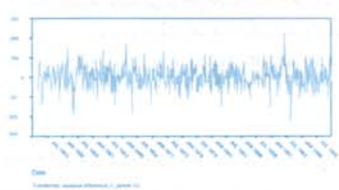
در مرحله بعدی با توجه به اعمالی که در مرحله قبل انجام داده شـد، بـه تخمین پارامترهای مدل پرداخته می‌شود برای این منظور باید به چند مسئله توجه داشت: **اول اینکه** پارامترهای تـعیین شـده بـاید از سـطح مـعنی داری بسیاربالایی برخوردارباشند و لااقل سـطح مـعنی داری آنـهاکـمتر از ۰/۰۵ باشد. **دوم،** میزان T-RATIO پارامترها نیز درحد بالایی بوده و لااقل خارج از مـحدوده |۲| بـاشد. **سوم،** مـقادیر کـواریـانس و مـاتریس هـمبستگی پارامترها نیز باید همبستگی بسیارپایینی نسبت به هم داشته باشند. اگر ایـن معیارها برای پذیرش پارامترها در مدل انتخابی پذیرفته شدند، بـه مـرحـله بعدی یعنی آزمون باقیمانده‌ها پرداخته می‌شود. در آزمون باقیمانده‌ها باید به دو مسئله توجه گردد: **فرض استقلال داده‌ها و فرض تصادفی بودن آنها.** بـه هـمین جهت نموارهای Pacf,Acf مقادیر باقیمانده‌های مدل ترسیم می‌گردد. برای پذیرش مدل باید تمام مقادیر بـاقیمانده زیـرخـط مـعنی داری بـاشند، اگـر آزمون باقیمانده‌ها مورد پذیرش قرارگرفت به برازش مدل می‌پردازیـم. در این مرحله با توجه به نوع مدل پذیرفته شده به پیش‌بینی پرداخته می‌شود.

مراحل عملی پیش بینی، ایستگاه قائم شهر

همانطورکه در نمودار پراکندگی داده‌های بـارندگی ایـستگاه قـائمشهر مشاهده می‌شود (نگاره۱)، داده‌های بـارندگی از حـالت نـاایستایی و عـدم تعادل برخوردار می‌باشند. لذا برای این که این داده‌ها را به ایستایی و تعادل برسانیم تنها یکبار تفاضل‌گیری فصلی به عمل آمد.

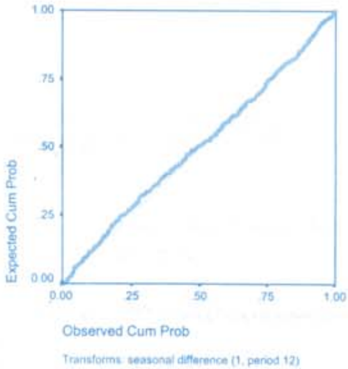


نگاره (۱): نمودارخطی داده‌های اصلی بارش - ایستگاه قائمشهر

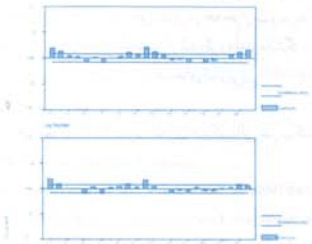


نگاره (۲): نمودارایستاشده داده‌های بارش - ایستگاه قائمشهر

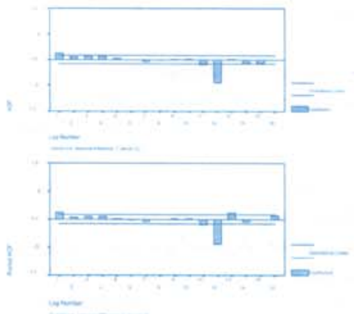
تـرسیم نـمودارهـای Acf و Pacf داده‌هـای خـام و تـوجه بـه حـرکت تأخیرها در آنها مشخص می‌کندکه مـدل احـتمالی بـرای بـرازش داده‌هـای بارندگی این ایستگاه ترکیبی از میانگین متحرک و اتورگرسیو باشد.



نگاره (۳): نمودار P-P داده‌های ایستاشده بارش - ایستگاه قائمشهر



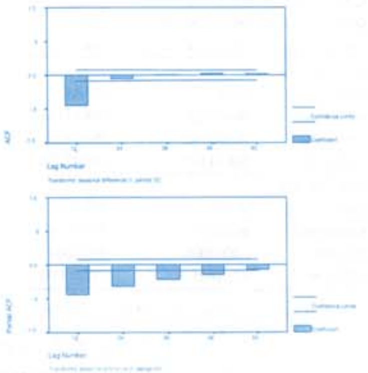
نگاره (۴): نمودار Acf,Pacf داده‌های اصلی بارش - ایستگاه قائمشهر



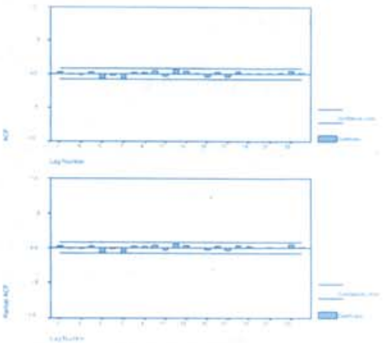
نگاره (۵): نمودار Acf,Pacf داده‌های ایستاشده بارش - ایستگاه قائمشهر

در مرحله بعد، با عمل تفاضل‌گیری فصلی مرتبه اول که برای ایستاکردن داده‌ها استفاده شد، به ترسیم نمودارهای Acf,Pacf می‌پردازیم. این نمودارها نشان می‌دهند (نگاره۵) که حدس ما در مورد نوع مدل درست بوده، زیرا نمودار خودهمبستگی (Acf) که برای تشخیص میانگین متحرک مدل می‌باشد، نشان می‌دهد که مدل نهایی می‌تواند با میانگین متحرک مرتبه اول برازش داده شود.

نمودار خودهمبستگی جزئی **Pacf** نیز که برای تشخیص مدل اتورگرسیو می‌باشد، نشان می‌دهد که برای پیش‌بینی بارش، مدل اتورگرسیو مرتبه اول مناسب می‌باشد. نمودارهای **Acf,Pacf** فصلی نیز مشخص می‌کنند که از نظر فصلی، نمودار **Acf** از ضرایب قوی‌تری نسبت به **Pacf** برخوردار می‌باشد. بنابراین با توجه به این نمودارها، مدل پیش فرض ما مدل ترکیبی از میانگین متحرک و اتورگرسیو می‌باشد.



نگاره (۶): نمودار Acf,Pacf فصلی داده‌های ایستاشده بارش ایستگاه قائمشهر



نگاره (۷): نمودار Acf,Pacf باقیمانده‌ها- ایستگاه قائمشهر

برای این که بدانیم این مدل انتخابی ما واقعاً برای پیش‌بینی مناسب است یا خیر، بـه تخمین پارامترها و آزمون باقیمانده‌ها می‌پردازیم. در تخمین پارامترهای این مدل (جدول ۱) معیارهایی که برای تأئید مدل لازم می‌باشد وجود دارد، یعنی سطح معنی داری پارامترها، مقادیر **T-Ratio** مقادیر کواریانس و ماتریس همبستگی ،صحت مدل را تأئید‌می‌کنند. برای اطمینان بیشتر از صحت مدل به آزمون باقیمانده‌ها نیز توجه شده است، همانطورکه در نمودارهای خود همبستگی جزئی باقیمانده‌ها(نگاره۷) مشاهده می‌شود، مقادیر باقیمانده هیچ مدلی را به خود نپذیرفته و تمام تأخیرها زیر خط معنی داری قراردارند و این نشان دهنده استقلال و تصادفی بودن مقادیر باقیمانده می‌باشد.

جدول شماره (۱): ضرایب مدل برازش داده شده

Initial values:				
AR1	.43653			
MAI	.31888			
SMAI	.56077			
Variables in the Model				
.	B	SEB	T-RATIO	APPROX.PROB
AR1	.855	.0735	11.630	.000
MA1	.75423	.0930	8.105	.000
SMA1	.926	.0217	42.64	.000
Covariance Matrix:				
	AR1	MA1	SMA1	
AR1	.00541516	.00656020	.00012133	
MA1	.00656020	.00865942	.00014397	
SMA1	.00012133	.00014397	.00047236	
Correlation Matrix:				
	AR1	MA1	SMA1	
AR1	1.0000000	.9580031	.0758594	
MA1	.9580031	1.0000000	.0711865	
SMA1	.0758594	.0711865	1.0000000	

بنابراین با انجام مراحل فوق، به این نتیجه می‌رسیم که مدل میانگین متحرک فصلی و غیرفصلی به همراه اتورگرسیو برای پیش‌بینی بارش ایستگاه قائمشهر مناسب باشد. مدل مذکور که به صورت (۱و۱و۰) (۱و۰و۱) SARIMA نمایش می‌دهند و در سطح اطمینان ۰/۰۵ به پیش‌بینی می‌پردازد، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\phi(B)\,\nabla_{12}\,Z_t = \theta_1(B)\Theta(B_{12})a_t$$

که باعملگر پسرو به شکل زیر می‌باشد:

$$(1-\phi_1 B)\,(1-B_{12})\,Z_t = (1-\Theta_1 B)\,(1-\Theta_1 B_{12})\,a_t$$

که حالت باز شده آن می‌شود:

$$Z_t - Z_{t-12} - \phi_1 Z_{t-1} + \phi Z_{t-13} = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \Theta_1 a_{t-12} + \theta_1 \Theta_1 a_{t-13}$$

در این مدل:

متغیر بارش با تأخیر ۱۳= Z_{t-13}

متغیر بارش با تأخیر ۱۲ =Z_{t-12}

متغیر بارش با تأخیر ۱ =Z_{t-1}

متغیر بارش =Z_t

پارامتر میانگین متحرک فصلی مرتبه اول=Θ_1

پارامتر میانگین متحرک غیرفصلی مرتبه اول=θ_1

پارامتر اتورگرسیو مرتبه اول= ϕ_1

و مقدار خطا با تأخیر ۱۲ =a_{t-12}

مقدار خطا با تأخیر ۱ =a_{t-1}

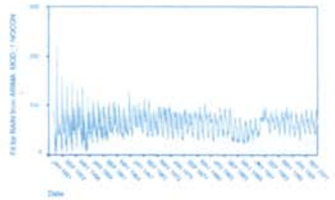
نوفهٔ سفید یا فرآیند تصادفی محض=a_t

مقدار خطا با تأخیر ۱۳ = a_{t-13} می‌باشد.

با جایگزین کردن پارامترهای بدست آمده از تخمین پارامترها، مدل پیش‌بینی ایستگاه قائمشهر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Z_t = Z_{t-12} + 0.44Z_{t-1} - 0.46Z_{t-13} - 0.32a_{t-1} - 0.56a_{t-12} + 0.18a_{t-13}$$

مقادیر پیش‌بینی شده بارندگی تا سال ۲۰۰۳ در نگاره(۸) آمده است.



نگاره (۸): نمودارسری Fit شده داده‌های بارندگی ایستگاه قائمشهر (۱۹۵۱-۲۰۰۳)

منابع:

۱- آذر، عادل و منصور، مؤمنی (۱۳۷۷)، آمار و کاربرد آن در مدیریت، جلد دوم، انتشارات سمت.

۲- باکس، جی، ای. بی و جی .ام، جنکینز (۱۳۷۱)، تحلیل سریهای زمانی پیش‌بینی وکنترل، مشکانی، محمدرضا(مترجم)، جلداول، انتشارات دانشگاه شهیدبهشتی.

۳- بزرگنیا، ابوالقاسم ونیرومند، حسینعلی (۱۳۷۴)، سریهای زمانی، انتشارات پیام‌نور.

۴- جمشیدی، وحید(۱۳۶۸)، تجزیه و تحلیل درجه حرارت و بارندگی شهر تهران به وسیله سریهای زمانی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه آمار دانشگاه تربیت مدرس.

۵- شرکت آمارپردازان (۱۳۷۷)، راهنمای کاربران spss6.0 تحت ویندوز، انتشارات مرکز فرهنگی حامی.

۶- مالکی، عبدالکریم(۱۳۷۵)، مدل سازی خشکسالی غرب کشور، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه آمار دانشگاه شهیدبهشتی.

7 - F.Valero etal(1996)"A method for the reconstruction and temporal extension of climatological timeseries",Int.J.Climatol,Vol.16, p.213-224.

8 - Katz,R.W.and Richard H.S(1981)"On the use of autoregressive moving average processes to model meteorological time series ,"Monthly Weather Review,Vol.109,p.479-489.

پی‌نوشت

1- Autoregressive Integrated Average

۲- فرآیند تصادفی یک پدیدهٔ آماری می‌باشد که در طول زمان مطابق قوانین احتمالات تحول می‌یابد(مشکانی، ۱۳۷۱).

3- Trend

4- Seasonal Change

5- Cyclical Change

6- Irregulur Change

7- Autoregressive Integrated moving Average

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

9- Transform

10- Difference

11- Autocorrolation

12- Partial Autocorrolation

تصحیح

ضمن عرض پوزش، بدینوسیله مشخصات نویسندگان محترم مقالهٔ «بررسی روشهای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای» (سپهر شماره ۵۹) به شرح ذیل تصحیح می‌گردد:

- مهندس ابوالفضل رنجبر: کارشناس ارشد سیستم اطلاعات جغرافیایی عضو هیأت علمی دانشگاه تبریز

- مهندس سید محمد باقر فاطمی: کارشناس ارشد فتوگرامتری و سنجش از دور