

مدل‌های تصادفی سری زمانی در پیش‌بینی بارندگی ماهانه. مطالعه موردی: ایستگاه‌هاشم آباد گرگان

کامل عبدالله‌نژاد

استادیار گروه آمار، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان
تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۲۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۴/۱۶

چکیده

در سال‌های اخیر محدودیت منابع آبی جهت تامین آب مورد نیاز کشاورزی و غیر کشاورزی موجب بروز مشکلات زیادی شده است؛ باران یکی از منابع مهم تامین آب است و بارندگی یکی از مهمترین مولفه‌های ورودی به سیستم‌های هیدرولوژیکی محسوب می‌شود که مطالعه و اندازه‌گیری آن در اکثر موارد برای مطالعات رواناب، خشکسالی، آب‌های زیرزمینی، سیلاب، رسوب و ... لازم و ضروری است. بنابراین پیش‌بینی و برآورد نزولات جوی برای هر منطقه و آبخیز به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم اقلیمی در استفاده بهینه از منابع آبی محسوب می‌گردد. یکی از روش‌های ارزیابی و پیش‌بینی بارش، استفاده از سریهای زمانی است. هدف از انجام این تحقیق بررسی مناسب‌ترین مدل جهت تخمین مجموع بارندگی می‌باشد. برای دستیابی به این هدف، روش‌ها و مدل‌های مختلفی وجود دارند که از آن جمله می‌توان مدل‌های سری‌زمانی اتورگرسیو (AR)، میانگین متحرک (MA) و مدل‌های تلفیقی اتورگرسیو با میانگین متحرک و مدل‌های فصلی (ARIMA و SARIMA) را برشمرد. در این مقاله عملکرد هر یک از مدل‌های یاد شده در برآورد و تخمین مقادیر مجموع بارندگی ماهانه در ایستگاه‌هاشم‌آباد گرگان طی دوره ۲۰۱۲-۱۹۷۶ مورد بررسی قرار گرفته است. در جهت شناسایی بهتر مدل به دست آمده، باقی‌مانده‌ها و خطاهای پیش‌بینی مورد بررسی قرار گرفته و ضرایب مدل تخمین زده شده‌اند. نشان داده شده که مدل ساریما (($AR(2), MA(1)$) از سایر مدل‌های سری زمانی عملکرد بهتری داشته، روند تغییرات سری‌زمانی را با خطای کمتری شبیه‌سازی می‌کند.

واژه‌های کلیدی: سری‌های زمانی، بارندگی، پیش‌بینی، باقی‌مانده‌ها، خطا.

مقدمه

جگر یا کپک رواج بسیار دارند. در مناطق حاره، ملخ صحرایی که شیوه حرکت و توزیع آن به چگونگی جریان هوا بستگی دارد، زیان‌های زیادی به بار می‌آورد. در امور حمل و نقل، مه باعث کاهش و حتی عدم انجام حمل و نقل هوایی، زمینی و دریایی شده و زیان‌ها و سوانح فراوانی ایجاد می‌کند.

برای پیشگیری از این‌گونه خسارت‌ها و افزایش تولید در هر کشور لازم است که پیش‌بینی هواشناسی در اختیار همه‌ی بخش‌ها، از جمله بخش کشاورزی قرار گیرد. با استفاده از این‌گونه خدمات می‌توان طوفان‌های شدید را پیش‌بینی کرد و اخطارهای لازم را در مسیر عبور طوفان به آگاهی عموم رساند؛ ابرها را بارور کرد و باران را برای منطقه‌ی مورد نظر تامین نمود؛ خسارت‌های ناشی از تگرگ و رعد و برق را تا حدود زیادی کاهش داد؛ شرایط و پیش‌بینی‌های

جوامع انسانی با زیان‌های ناشی از خشکسالی، سیل، آتش‌سوزی جنگل‌ها، تگرگ، رعد و برق، یخ بندهای شدید، بادهای خطرناک، سوانح هوایی و آفات و امراض ناشی از شرایط جوی آشنایی دارند. به عنوان مثال زیان ناشی از سیلاب‌های شدید در ۱۹۶۵ در آمریکا بالغ بر ۲۰۰ میلیون دلار برآورد شد. سیل در فلورانس ایتالیا (۱۹۶۶) گرچه تلفات جانی نداشت ولی نزدیک به ۱۵۰ میلیون دلار خسارت به بار آورد. خشکسالی در بهار هند (۱۹۶۵) مرگ نزدیک به دومیون انسان را بر اثر گرسنگی به دنبال داشت. در کشورهای دارای عرض جغرافیایی متوسط، بسیاری از امراض حساس به هوا مانند پرقان سیب زمینی، کرم

ضروری برای پروازهای امن را فراهم آورد. مناسب‌ترین طرح‌های خانه‌سازی از نظر تامین انرژی حرارتی را ارائه داد و بهترین زمان کاشت محصولات کشاورزی را انتخاب کرد.

امروزه کمبود و یا توزیع نامناسب آب، یکی از عمده‌ترین دغدغه‌ها است که در آینده نه چندان دور، یکی از معضلات جامعه بشری به شمار خواهد آمد. با توجه به این که هر ساله با کم شدن 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 به‌سزایی خواهد داشت. در این میان روش‌های پیش‌بینی مختلفی سعی در تعیین ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته داشته‌اند و مدل‌های آماری زیادی برای پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی استفاده شده است. در سال‌های اخیر تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی به‌طور وسیعی در بسیاری از موضوعات علمی مورد استفاده قرار گرفته است. منظور از یک سری زمانی مجموعه‌ای از داده‌های آماری است که در فواصل زمانی مساوی و منظمی جمع‌آوری شده باشند و روش‌های آماری که این‌گونه داده‌های آماری را مورد استفاده قرار می‌دهد، تحلیل سری‌های زمانی نامیده می‌شود (نیرومند، ۱۳۷۲). در زمینه استفاده از سری‌های زمانی در مدل‌سازی پارامترهای هیدرولوژیکی همچون بارندگی، دما و جریان‌های رودخانه تحقیقات متعددی صورت گرفته است. طی بررسی تحقیقات گذشته، دانشمندان به منظور تحلیل تغییرات پارامترهای اقلیمی کوشیده‌اند تا این پارامترها را الگوسازی و سپس شبیه‌سازی کنند. الگوسازی در خانواده ARMA، ARIMA و SARIMA یکی از شیوه‌های مهم و معتبر در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی است (نیرومند، ۱۳۷۲). قهرمان و قره‌خانی (۱۳۹۰) مدل‌های تصادفی سری زمانی AR، MA و ARIMA را برای برآورد تبخیر از تشت مورد استفاده قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که مدل سری زمانی (۱، ۱، ۱) ARIMA عملکرد بسیار بهتری نسبت به سایر مدل‌های ARIMA دارد. ویسی پور و همکاران

(۱۳۸۹) مدل ARIMA را در پیش‌بینی روند بارش و دمای شهرستان کرمانشاه به کار بردند و نشان دادند برای پیش‌بینی باران فقط در مقیاس ده روزه استفاده از باران‌های ده روزه و در مقیاس ماهانه و سالانه استفاده از داده‌های ماهانه از دقت بیشتری برخوردار هستند. شریفان و قهرمان (۱۳۸۶) با استفاده از مدل SARIMA پیش‌بینی بارندگی در استان گلستان انجام داده‌اند و با مقایسه مقادیر برآوردی باران‌های ده روزه، ماهانه و سالانه نتیجه گرفتند که روش استفاده از داده‌های ماهانه از دقت بیشتری برخوردار هستند. پادویلا و همکاران (۱۹۹۶) مدل‌های استوکستیک ARIMA را برای تحلیل سری‌های زمانی دبی سه - چشمه کارستی، اسپانیا و فرانسه به کار گرفتند نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که می‌توان از مدل‌های استوکستیک به منظور پیش‌بینی دبی استفاده کرد، همچنین ARIMA را بهترین مدل معرفی کردند. نوآکس و مک لیود (۱۹۸۵) قدرت پیش‌بینی کوتاه مدت مدل‌های ARIMA، SARIMA و مدل‌های اتو رگرسیون‌دوره‌ای (PAR) را بر روی سری ۳۰ ماهه جریان رودخانه مقایسه کردند و نشان دادند که مدل‌های اتو رگرسیون دوره‌ای دقیق‌ترین پیش‌بینی را دارند. بورلاند و مونتانا (۱۹۹۶) از مدل‌های ARIMA جهت پیش‌بینی بارندگی‌های ساعتی در زمان وقوع آنها استفاده کردند و مقادیر به دست آمده را با داده‌های باران‌سنجی مقایسه کردند. آنها در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که با افزایش مدت دوام بارندگی، پیش‌بینی‌ها روند دقیق‌تری داشتند و با کوتاه‌تر شدن دوام بارندگی، اختلاف میزان باران پیش‌بینی از مقدار واقعی متناظر خود بیشتر می‌شود. خردمند نیا و عساکره (۲۰۰۱) برای پیش‌بینی درجه حرارت متوسط ماهانه منطقه جاسک از مدل‌سازی SARIMA استفاده نمودند. جهانبخش اصل (۲۰۰۴) با استفاده از روش سری‌های زمانی و مدل ARIMA، پنج ایستگاه معرف در پنج ناحیه اقلیمی ایران را در فاصله سال‌های ۱۹۵۱ تا ۱۹۹۵ مورد مطالعه قرار داد و نتیجه گرفته است که مقادیر حداقل و حداکثر دما، به جز مناطق نیمه خشک گرم ایران (ایستگاه‌های

بارندگی سه ایستگاه منتخب (اهواز، آبادان و دزفول) را با استفاده از مدل ARIMA پیش‌بینی کردند. یغمایی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از مدل ARIMA، ماکزیمم و می‌نیمم درجه حرارت شهرستان گرگان را پیش‌بینی کردند و نشان دادند که درجه حرارت در سال‌های آتی روند افزایشی دارد. زو و همکاران (۲۰۱۰) از مدل ARIMA و شبکه عصبی برای پیش‌بینی ظرفیت آب و نمک موجود در خاک استفاده کردند و نشان دادند که مدل ARIMA در پیش‌بینی، بهتر از مدل شبکه عصبی عمل می‌کند. معروفی و همکاران (۱۳۹۳) مدل سری زمانی SARIMA را جهت پیش‌بینی خشکسالی در ناحیه مرکزی استان همدان، به عنوان یک مدل مناسب انتخاب کردند.

محدوده مورد مطالعه

این پژوهش در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک هاشم‌آباد واقع در ۱۱ کیلومتری شمال غربی شهرستان گرگان با طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۱ دقیقه شمالی با ارتفاع متوسط ۱۴ متر از سطح دریا انجام شد (شکل ۱). این ایستگاه دارای آب و هوای مدیترانه‌ای بوده و زمستان‌های آن نسبتاً ملایم و تابستان‌های آن نسبتاً مرطوب است (مهموم سالکویه، ۱۳۹۲).

حاشیه کویر و مناطق کم ارتفاع جنوبی)، سایر مناطق از جمله نواحی دریای خزر و نواحی کوهستانی تغییرات دمایی داشته‌اند و مجموع بارندگی ماهانه به جز در مناطق حاشیه‌ای کویرهای مرکزی تغییرات آماری معناداری ندارند. علیجانی و رضانی (۱۳۸۱) در تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های استان مازندران، با استفاده از روش‌های سری زمانی AR، MA، ARIMA، SARIMA به پیش‌بینی بارندگی چهار ایستگاه منتخب در سطح استان که از آمار ماهانه طولانی و کاملی برخوردار بودند، پرداختند و نتیجه گرفتند که وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها، اغلب با شدت‌های متوسط و یا تقریباً نرمال بوده و بروز این پدیده‌ها در سطح استان از هم‌زمانی و نظم خاصی برخوردار است. بشیری و وفاخواه (۱۳۸۹) در پیش‌بینی دبی ماهانه حوزه آبخیز کرخه، روش‌های مختلف مدل‌سازی و پیش‌بینی در سری‌های زمانی شامل آنالیز روند، روش هولت و وینترز و مدل‌های اتورگرسیو با میانگین متحرک را پیاده کرده و نشان داده است که روش آنالیز روند بهترین پیش‌بینی و پس از آن مدل ARMA با اختلاف جزئی در اولویت بعدی قرار دارد. گلابی و همکاران (۱۳۹۳) دقت مدل‌های باکس-جینکنز را مورد مقایسه قرار دادند و



شکل ۱: نقشه موقعیت ایستگاه اقلیمی مورد مطالعه

تغییرات دوره‌ای: حرکات نوسانی در یک سری زمانی با دوام بیشتر از یک سال را تغییرات دوره‌ای گویند. **تغییرات نامنظم:** تغییرات نامنظم یا تصادفی، نتیجه عوامل پیش‌بینی نشده‌ای است که نامنظم عمل می‌کنند. اینگونه تغییرات طرح معینی را نشان نمی‌دهند و زمان وقوع آنها نامنظم و تقریباً غیرقابل پیش‌بینی است.

اساسی‌ترین هدف در بحث سری‌های زمانی، مدل‌بندی کردن (فرموله کردن) تغییرات سری داده‌ها و پیش‌بینی براساس این مشاهدات برای آینده می‌باشد. منظور از پیش‌بینی، برآورد مشاهداتی (مقادیری) از مجموعه داده‌ها است که مجهول می‌باشد. جهت پیش‌بینی داده‌های سری زمانی و تعیین مدل پیش‌بینی، روش‌های مختلفی وجود دارد (نقل از علیجانی و رضانی، ۱۳۸۱). در این مقاله از بین این روش‌ها از روش SARIMA که از بهترین روش‌ها در تحلیل و پیش‌بینی محسوب می‌شود، استفاده شده است. در این روش علاوه بر عامل روند، به تغییرات فصلی و تصادفی نیز توجه می‌شود. روش SARIMA، تنها برای سری‌های زمانی مانا (ایستا) به کار می‌رود. به همین دلیل در سری‌های زمانی که نامانا (نا ایستا) هستند، بایستی با استفاده از روش‌های تفاضل‌گیری، آن را به یک سری ایستا تبدیل کرد. این تفاضل‌گیری سبب می‌شود که اثرات روند یا فصلی از سری مشاهدات حذف شود و مشاهدات مانا شوند.

بحث اصلی

گام نخست در تحلیل سری‌زمانی رسم نمودار مجموع بارندگی در مقابل ماههای سال (t) می‌باشد (شکل ۱)، زیرا این نمودار ما را در به دست آوردن نامانایی‌هایی نظیر تغییرات فصلی، روند در میانگین و یا روند در واریانس سری و یا هر دو، کمک می‌کند. همچنین با استفاده از این نمودار می‌توان مشاهدات خارجی و پرت را نیز تشخیص داد. از شکل ۱ عدم وجود روند در میانگین و واریانس سری زمانی دیده می‌شود؛ یعنی به نظر می‌رسد که میانگین و واریانس

در ایستگاه هواشناسی هاشم آباد گرگان مجموع بارندگی در ماه، فصل و سال به‌طور متوالی ثبت می‌شود که به عنوان نمونه این مجموع بارندگی در ماه، فصل و سال برای مدت ۳۷ سال متوالی (۲۰۱۲-۱۹۷۶) در نظر گرفته شده است. در این مقاله ما در نظر داریم که به تحلیل سری‌زمانی مربوط به مجموع بارندگی ماهانه این ایستگاه طی سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۲ بپردازیم و در صورت امکان با اطلاعاتی که از میزان بارندگی این شهرستان طی این ۳۷ سال گذشته به دست می‌آوریم، بتوانیم با استفاده از ویژگی وابستگی بین داده‌ها، مجموع بارندگی ماهانه این محدوده اقلیمی را در ماه‌های آینده پیش‌بینی کنیم.

روش تحقیق

به گردایه‌ای از مشاهدات که بر حسب زمان یا کمیت دیگری مرتب شده باشد یک سری زمانی گفته می‌شود. بر خلاف نمونه‌های تصادفی از یک جامعه که مستقل از یکدیگر هستند، داده‌های سری زمانی از هم مستقل نبوده و به طور متوالی به هم وابسته‌اند و این وابستگی بین مشاهدات متوالی است. همین وابستگی بین مشاهدات متوالی مورد توجه محققان قرار گرفته و بیشترین کاربرد را در پیش‌بینی دارد (نیروموند، ۱۳۷۲). 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. معمولاً در تجزیه و تحلیل یک سری زمانی تغییراتی که نتیجه چهار مولفه اصلی است، به صورت زیر مورد نظر قرار می‌گیرد:

روند: تغییرات دراز مدت در میانگین سری زمانی است که معمولاً حالت صعودی یا نزولی دارد.

تغییرات فصلی: تغییراتی که در دوره‌های تناوبی کوتاه و در طی یک سال پیش می‌آیند. این تغییرات مربوط به عواملی هستند که به طور منظم و چرخه‌ای روی یک دوره کمتر از یک سال عمل می‌کنند.

که سری مانا شود. هر چند معمولاً با یک بار تفاضلی کردن مرتبه اول، روند موجود در سری به‌طور ظاهری حذف می‌شود ولی بهتر است با تفاضل‌گیری مرتبه اول به‌طور مکرر، تا حد امکان وجود روند در میانگین سری را از بین ببریم و این همان کاری است که با سه بار تفاضلی کردن مرتبه اول انجام می‌شود. نمودار سری‌زمانی مربوط به هر بار تفاضلی، به ترتیب در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ به همراه خط روند برازش شده رسم شده است. با توجه به معادله خط روندهای برازش شده و مقایسه شیب خط آنها در می‌یابیم که با هر بار تفاضلی کردن این شیب به صفر نزدیک می‌شود، به طوری که برای دومین تفاضلی این شیب تقریباً برابر $0/0036$ ، می‌گردد. با انجام تفاضلی در تاخیر یک، در بار سوم برای اولین سری از مشاهدات و مقایسه شیب خط به‌دست آمده از آن با شیب خط تفاضلی سوم ($0/0036 > 0/0066$) در می‌یابیم که تفاضل‌گیری برای بار سوم باعث افزایش شیب خط روند برازش داده شده می‌گردد. بنابراین سری مشاهدات به‌دست آمده از تفاضلی دوم را به‌عنوان سری ظاهراً مانا و سری که تنها دارای تغییرات نامنظم می‌باشد، در نظر می‌گیریم.

برازش مدل به داده‌ها: دیده شد که سری‌زمانی مربوط به مجموع بارندگی ماهانه در شهرستان گرگان، یک سری نامانا در روند و اثر فصلی است که ابتدا با تفاضلی کردن مرتبه $D=1$ در تاخیر ۱۲، اثر فصلی از سری حذف می‌شود و سری $y_t = \nabla_{12} X_t = X_t - X_{t-12}$ به‌دست می‌آید و سپس با تفاضلی کردن مرتبه $d=2$ در تاخیر ۱، روند نیز از سری حذف می‌شود و سری $w_t = \nabla y_t = \nabla^2 \nabla_{12} X_t$ حاصل می‌شود. الگوی فصلی کلی $SARIMA(p, d, q, P, D, Q)$ برای این سری به‌صورت می‌باشد که در آن:

$$\phi_p(B) \cdot \phi_p(B^{12}) \cdot w_t = \theta_q(B) \cdot \theta_q(B^{12}) \cdot z_t$$

مشاهدات با پیشرفت مشاهدات در ماه تغییر نمی‌کند. ولی با استفاده از همبستگی‌نگار (ACF) مشاهدات اولیه، می‌توان به وجود روند و تغییرات فصلی در سری مجموع بارندگی ماهانه پی برد. اگر نمودار تابع خودهمبستگی به صورت تناوبی و دارای نوسان باشد می‌توان گفت که مشاهدات سری زمانی دارای اثر فصلی می‌باشد و این همان چیزی است که در شکل ۲ مشاهده می‌شود؛ یعنی مجموع بارندگی ماهانه بعد از طی یک دوره چند ماهه به‌طور متناوب - البته نه دقیقاً منظم - تکرار می‌شود. همچنین طول دوره تناوب نمودار تابع خودهمبستگی برابر طول دوره فصلی می‌باشد که با دقت در شکل ۳ طول ۱۲ ماه برای تغییرات فصلی تأیید می‌شود.

حذف اثر فصلی: با توجه به این که داده‌های مجموع بارندگی در ماه دارای اثر فصلی با دوره تناوب ۱۲ ماهه می‌باشند، می‌توان با یک بار تفاضل‌گیری فصلی با طول دوره ۱۲ (تاخیر ۱۲)، این اثر فصلی را حذف کرد. نمودار سری زمانی این مشاهدات تفاضلی شده همراه با یک خط روند برازش داده شده، در شکل ۳ رسم شده است. با حذف مولفه فصلی از مشاهدات مربوط به میزان بارندگی، این مشاهدات تنها دارای دو مولفه روند در میانگین و تغییرات نامنظم می‌باشند. مدل روند خطی $Y_t = -0/73 + 0/00562t$ که به روش کمترین مربعات به این سری از مشاهدات برازش داده شده بیانگر وجود یک روند نه چندان قوی در میانگین میزان بارندگی ماهانه می‌باشد. دلیل برازش یک مدل خطی به این سری از مشاهدات را می‌توان مناسب بودن این مدل با توجه به نمودار سری زمانی آنها دانست. البته می‌توان از سه معیار درستی MAD، MAPE و MSD نیز برای مشخص کردن صحت برازش استفاده کرد.

حذف روند در میانگین سری: برای حذف روند نه چندان قوی موجود در میانگین سری مشاهداتی که فاقد اثر فصلی می‌باشند، کافی است از تفاضلی کردن مرتبه اول استفاده شود. تفاضلی کردن یک صافی مفید برای حذف روند از سری زمانی می‌باشد تا زمانی

زمانی مانا می‌باشد و یکی از خصوصیات مهم آن این است که تابع خودهمبستگی جزئی آن برای AR بعد تاخیر p صفر می‌شود؛ بنابراین برای برآورد p کافی است آزمون فرض $H_0: \phi_{kk} = 0$ در مقابل $H_1: \phi_{kk} \neq 0$ در تاخیرهای متفاوت بررسی شود. برای انجام این آزمون‌ها نیز می‌توان همانند میانگین متحرک از آزمون t و یا نمودار تابع خود همبستگی جزئی نمونه سری باقی‌مانده‌ها کمک گرفت.

نمودار تابع خودهمبستگی جزئی نمونه برای سری باقی‌مانده‌ها در شکل ۸ رسم شده است. با توجه به این نمودار فرض صفر بودن ϕ_{kk} برای $k = 1$ تا $k = 5$ رد می‌شود و برای چند تاخیر بزرگتر از ۵ این فرض صفر به دلیل واقع شدن آنها در حدود اطمینان رد نمی‌شوند. بنابراین مرتبه اتورگرسیو غیرفصلی ۵ برآورد می‌شود.

همچنین با بررسی مقادیر خود همبستگی جزئی نمونه برای $k = 1, 12, 24, \dots$ در نمودار $PACF$ ، به دلیل خارج افتادن $\hat{\phi}_{11}$ از حدود اطمینان، مرتبه اتورگرسیو فصلی ۱ برآورد می‌شود. بنابراین $p = 1$ ، $d = 1$ ، $q = 2$ ، $P = 1$ ، $D = 1$ ، $Q = 2$ بنابراین، فعلا مدل پیشنهادی برای سری اولیه‌ی مجموع بارندگی (۵، ۱، ۲: ۱، ۱، ۲) $SARIMA$ می‌باشد. این مدل پیشنهادی ممکن است مدل خوبی نباشد بنابراین باید شش پارامتر را آن قدر تغییر دهیم تا یک مدل مناسب به سری برازش داده شود. در گام بعدی با صفر در نظر گرفتن مرتبه اتورگرسیو فصلی، سعی در برآوردن الگوی فصلی (۵، ۱، ۲: ۰، ۱، ۲) $SARIMA$ به سری اولیه میزان بارندگی ماهانه هستیم. برآورد نهایی ضرایب و انحراف معیارهای این مدل در جدول ۱ ارائه شده است. منظور از ضرایب مدل، برآورد α_i در قسمت AR ، برآورد β_j در قسمت MA ، برآورد θ_k در قسمت SMA و برآورد مقدار ثابت^۱ مدل می‌باشد. با توجه به p -مقادیر ملاحظه می‌شود که فرض $H_0: \alpha_i = 0$ برای $i = 1, 2, 3, 4$ را می‌توان در

$$\phi_p(B) = (1 - \alpha_1 B - \dots - \alpha_p B^p)$$

$$\phi_p(B^{12}) = (1 - \gamma_1 B^{12} - \dots - \gamma_p B^{12p})$$

$$\theta_q(B) = (1 - \beta_1 B - \dots - \beta_q B^q)$$

$$\theta_q(B^{12}) = (1 - \theta_1 B^{12} - \dots - \theta_q B^{12q})$$

می‌باشد (B عملگر پسرو می‌باشد).

تعیین مرتبه میانگین متحرک فصلی و غیر

فصلی (Q, q): برای این که مرتبه میانگین متحرک غیر فصلی برآورد شود، کافی است مقادیر خودهمبستگی نمونه (r_k) که برآورد پارامترهای ρ_k هستند در همبستگی‌نگار سری باقیمانده‌ها مورد بررسی قرار گیرد و ببینیم که به ازای چند تاخیر اولیه می‌توان فرض $H_0: \rho_k = 0$ را در مقابل $H_1: \rho_k \neq 0$ رد کرد. برای انجام این آزمون می‌توان به دو طریق عمل کرد؛ اول این که از آزمون t برای انجام این آزمون بهره ببریم و دوم این که از حدود اطمینان رسم شده در نمودار همبستگی نگار استفاده کنیم. با توجه به نمودار تابع خود همبستگی سری باقیمانده‌ها (تغییرات نامنظم) شکل ۷، مشاهده می‌کنیم که فرض صفر بودن ρ_k برای $k = 3$ و چند تاخیر بزرگتر از ۳ را نمی‌توان رد کرد و این چیزی است که با بیرون افتادن مقدار خودهمبستگی برای تاخیرهای ۱ و ۲، از حدود اطمینان در نمودار تابع خودهمبستگی سری باقی‌مانده‌ها تایید می‌شود. بنابراین با توجه به ویژگی تابع خودهمبستگی سری میانگین متحرک می‌توان q را ۲ برآورد کرد. اما برای برآورد مرتبه میانگین متحرک فصلی (Q) کافی است فرض $H_0 = p_k = 0$ تاخیرهای $k = 1, 12, 24, \dots$ مورد آزمون قرار گیرد؛ بنابر نمودار تابع خود همبستگی جزئی ($PACF$) (شکل ۸) تنها دو مقدار r_{12}, r_{24} خارج از حدود اطمینان می‌باشند و به ازای دیگر تاخیرها (که مضربی از ۱۲ هستند) داخل حدود اطمینان قرار می‌گیرند. بنابراین مرتبه میانگین متحرک فصلی، یعنی Q ۲ برآورد می‌شود.

تعیین مرتبه اتورگرسیو فصلی و

غیرفصلی (P, p): فرایند اتورگرسیو نیز یک سری

1- Constant

جمع بندی و نتیجه‌گیری

تکنیک‌های آماری، ابزاری مناسب و کارا برای شناسایی و ارزیابی رفتارهای اقلیمی به شمار می‌آیند. یکی از کاربردهای آمار در اقلیم‌شناسی، مدل‌سازی رفتار عناصر اقلیمی می‌باشد. سری‌زمانی یکی از مباحث مهم آماری است که دارای سطح غنی از ساختارهای گوناگون در مدل‌سازی پیش‌بینی بارندگی است. از الگوهای سری‌زمانی پر کاربرد الگوهای ARIMA هستند که اقلیم‌شناسان به آن توجه زیادی نشان داده‌اند. در این گونه الگوها قضاوت شخصی و تجربه در انتخاب مدل بهینه و برآورد پارامترها مهم است. در واقع انتخاب بهترین مدل، قالب مشخصی ندارد و با سعی و خطا انجام می‌گیرد. در این مقاله همچنان که ذکر شد، برای پیش‌بینی مجموع بارندگی در ایستگاه سینوپتیک‌هاشم آباد گرگان از الگوهای سری زمانی استفاده شده است و نشان داده شد که مدل‌های فصلی، برازش مناسبی جهت پیش‌بینی بارش ارائه می‌دهند. همان‌طوری که از جدول ۱ مشاهده می‌شود، مدل $SARIMA(3,1,2)$ یک مدل مناسب جهت پیش‌بینی تشخیص داده شد. بنابراین با استفاده از این مدل می‌توان مقادیر مجموع بارندگی ماهانه ایستگاه سینوپتیک‌هاشم آباد گرگان را برای ماه‌های آینده پیش‌بینی کرد که در جدول ۲ برای سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ این عمل انجام شده است. در اینجا این نکته حائز اهمیت است که آنچه از واژه پیش‌بینی بارندگی در مطالعات هیدرولوژی مدنظر است، ارائه مقادیری است که دارای بیشترین احتمال وقوع می‌باشند و به هیچ وجه به معنی ارائه دقیق مقادیر بارندگی در آینده نیست. زیرا با توجه به تغییرپذیری‌های شدید زمانی و مکانی پارامترهای اقلیمی، چنین ادعایی صحیح نمی‌باشد. به هر روی، پژوهشگران بر این باورند که مقادیر پیش‌بینی، باوجود عدم اطمینان حاکم بر آن، تاثیر بسیار مثبتی بر مدیریت منابع آب خواهند داشت.

سطح معناداری ۰/۰۵ رد کرد و این تصمیم‌گیری را دقیقاً برای فرض‌های $H_0: \beta_i = 0$ و $H_0: \theta_i = 0$ به ازای $i = 1, 2$ خواهیم داشت، ولی فرض این که مقدار ثابت برابر صفر است، قبول می‌شود. بنابراین یک مدل مناسب‌تر برای سری میزان بارندگی ممکن است مدل $SARIMA(4,1,2)$ باشد. این برازش نیز انجام شده و نتایج مربوط به برآورد ضرایب و آزمون فرض‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

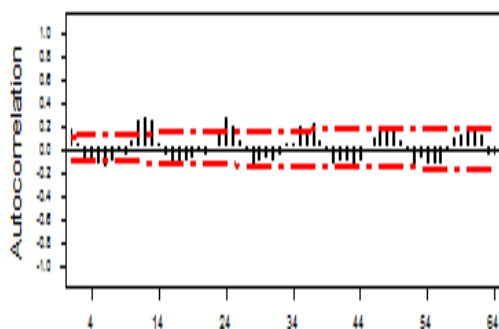
برای برازش یک مدل فصلی با پارامتر کمتر و مناسب‌تر، بهتر است مدل $SARIMA(3,1,2)$ به سری میزان بارندگی برازش داده شود. نتایج حاصل از این برازش در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود فرض صفر بودن هر یک از هفت ضریب در سطح معنی داری ۰/۰۵ رد می‌شود. یکی از ملاک‌های مناسب بودن مدل، استقلال باقیمانده‌های حاصل از برازش مدل به سری مشاهدات می‌باشد. برای بررسی این موضوع از نمودار همبستگی‌نگار سری باقی‌مانده‌های حاصل از برازش کمک می‌گیریم. اگر در مورد تمام خودهمبستگی‌های باقیمانده‌ها نتوان فرض صفر را رد کرد در این صورت استقلال بین باقی‌مانده‌ها وجود دارد. همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، تقریباً همه مقادیر r_k برای سری باقی‌مانده‌های حاصل از برازش مدل، در داخل حدود اطمینان قرار گرفته‌اند و این نتیجه‌اش مستقل بودن باقی‌مانده‌های حاصل از برازش مدل $SARIMA(3,1,2)$ است. پس مدل حاصل یک مدل مناسب می‌باشد. همچنین برای ارزیابی مناسب بودن مدل فیلترهای دیگری نیز وجود دارد؛ از جمله این که نمودار باقیمانده‌ها نسبت به رتبه نرمال بایستی به صورت یک خط راست باشد (شکل ۱۰) و همچنین مقدار آماره باکس-پیرس برابر با ۱۲/۸ و $\chi^2_{\alpha,df} = 15/507$ است. بنابراین این مدل برازش شده، مناسب می‌باشد.

جدول ۱: برآوردهای پارامترهای سه مدل SARIMA

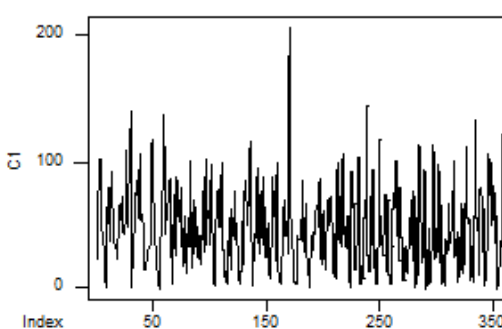
مدل	ضریب	انحراف معیار	آماره t	p- مقدار	
(۵,۱,۲; ۰,۱,۲)	AR ۱	-۱/۹۹۰۱	۰/۱۴۰۶	-۱۴/۱۵	۰/۰۱۶
	AR ۲	-۲/۰۷۷۴	۰/۲۰۳۲	-۱۰-۲۳	۰/۰۰۷
	AR ۳	-۱/۶۸۴۹	۰/۱۹۶۳	-۸/۵۸	۰/۰۲۱
	AR ۴	-۱/۰۳۰۱	۰/۱۵۰۶	-۶/۸۴	۰/۰۳۲
	AR ۵	-۰/۳۲۲۴	۰/۰۶۷۶	-۴/۷۷	۰/۰۷۱
	MA ۱	۰/۳۴۴۲	۰/۱۳۸۸	۲/۵۷	۰/۰۱۱
	MA ۲	۰/۶۱۴۴	۰/۱۳۴۹	۴/۵۶	۰/۰۰۰
	SMA ۱۲	۱/۴۵۳۷	۰/۰۵۴۳	۲۶/۷۸	۰/۰۲۲
	SMA ۲۴	-۰/۵۲۲۹	۰/۰۵۶۴	-۹/۲۸	۰/۰۰۰
	ثابت	۰/۰۰۴۱	۰/۰۱۵۱	۰/۲۶	۰/۷۹۸
(۴,۱,۲; ۰,۱,۲)	AR ۱	-۱/۷۴۳۷	۰/۱۶۶۷	-۱۰/۴۶	۰/۰۱۱
	AR ۲	-۱/۵۹۱۹	۰/۲۰۲۶	-۷/۸۶	۰/۰۰۵
	AR ۳	-۱/۰۴۸۲	۰/۱۴۷۳	-۷/۱۲	۰/۰۰۷
	AR ۴	-۰/۳۹۷۴	۰/۰۶۶۳	-۵/۹۹	۰/۱۲۲
	MA ۱	۰/۴۸۰۷	۰/۱۷۱۳	۲/۸۱	۰/۰۰۵
	MA ۲	۰/۴۸۴۹	۰/۱۷۴۳	۲/۷۸	۰/۰۰۶
	SMA ۱۲	۱/۵۰۱۴	۰/۰۵۲۳	۲۸/۷۲	۰/۰۰۰
	SMA ۲۴	-۰/۵۶۲۵	۰/۰۵۲۶	-۱۰/۶۸	۰/۰۰۰
	ثابت	۰/۰۰۵۵	۰/۰۰۹۶	۰/۵۷	۰/۵۶۸
	(۳,۱,۲; ۰,۱,۲)	AR ۱	-۱/۷۶۵۹	۰/۰۸۲۴	-۲۱/۴۲
AR ۲		-۱/۱۹۶۳	۰/۱۰۶۷	-۱۱/۲۱	۰/۰۲۱
AR ۳		-۰/۳۵۷۱	۰/۰۵۵۸	-۶/۴	۰/۰۲۸
MA ۱		۰/۱۸۴	۰/۰۶۷۶	۲/۷۲	۰/۰۰۷
MA ۲		۰/۷۹۸۲	۰/۰۶۳۹	۱۲/۴۹	۰/۰۳۱
SMA ۱۲		۱/۴۴۷	۰/۰۴۹۵	۲۹/۲۴	۰/۰۰۱
SMA ۲۴		-۰/۴۹۶۸	۰/۰۵۵۶	-۸/۹۴	۰/۰۰۰
ثابت		۰/۰۱۳۶	۰/۰۱۱۰	۱/۲۳	۰/۶۱۱

جدول ۲: پیش‌بینی مجموع بارندگی ماهانه در سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵

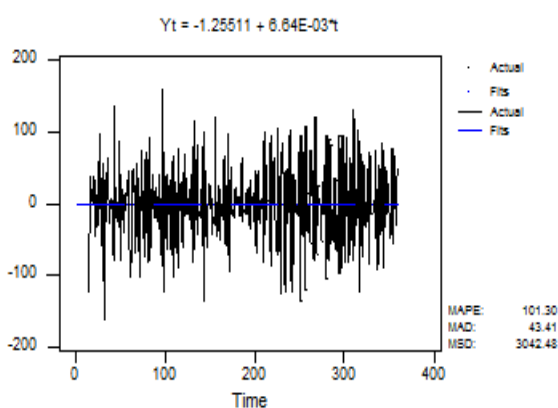
مقدار پیش‌بینی (۲۰۱۵)	مقدار پیش‌بینی (۲۰۱۴)	مقدار پیش‌بینی (۲۰۱۳)	ماه
۴۴/۹۳۴	۴۱/۳۶۳	۴۵/۶۸۵	ژانویه
۳۹/۳۹۳	۴۰/۴۴۱	۴۴/۹۵۵	فوریه
۴۲/۲۶۷	۴۵/۴۷۶	۴۵/۸۸۶	مارس
۳۵/۱۲۰	۴۰/۶۱۷	۴۵/۲۰۶	آوریل
۳۶/۶۴۳	۳۴/۱۸۳	۳۶/۸۱۷	می
۲۲/۲۶۹	۲۵/۰۷۱	۲۸/۰۵۸	ژوئن
۲۰/۳۱۸	۲۴/۳۶۶	۲۲/۲۸۵	ژولای
۲۷/۲۵۵	۲۸/۳۷۰	۳۰/۸۵۰	آگوست
۳۰/۶۴۷	۳۰/۶۰۱	۳۴/۲۷۹	سپتامبر
۵۷/۹۲۷	۵۸/۸۰۷	۶۵/۸۸۴	اکتبر
۵۰/۴۴۴	۵۲/۸۲۳	۵۴/۳۴۹	نوامبر
۴۸/۵۰۹	۵۰/۰۳۹	۵۳/۳۴۰	دسامبر



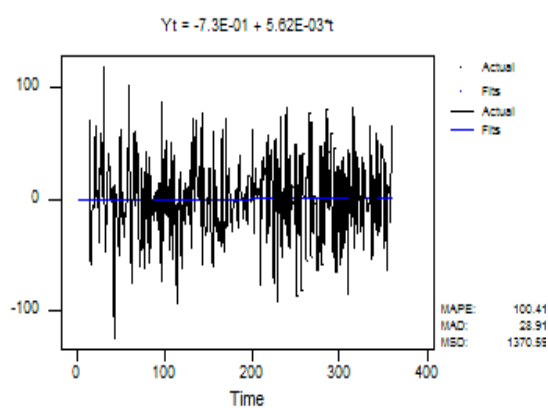
شکل ۳: همبستگی نگار مجموع بارندگی ماهانه ایستگاه هواشناسی هاشم آباد گرگان



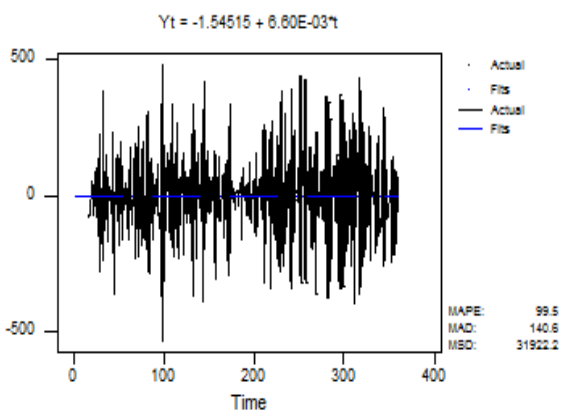
شکل ۲: نمودار مجموع بارندگی ماهانه ایستگاه هواشناسی هاشم آباد گرگان



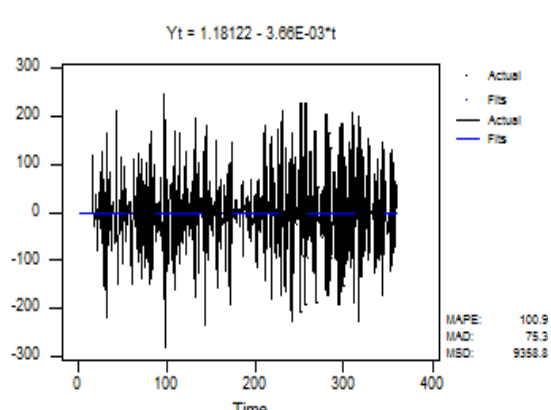
شکل ۵: نمودار سری مشاهدات تفاضل گیری شده مرتبه اول همراه با خط روند (بار اول)



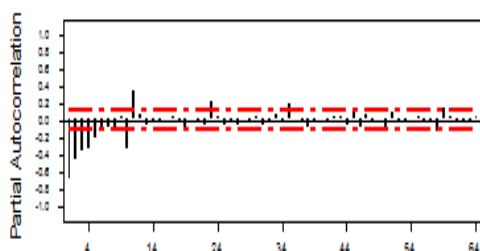
شکل ۴: نمودار سری مشاهدات تفاضل گیری شده با تأخیر ۱۲، همراه با خط روند



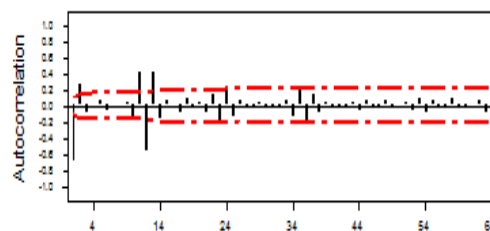
شکل ۷: نمودار سری مشاهدات تفاضل گیری شده مرتبه اول همراه با خط روند (بار سوم)



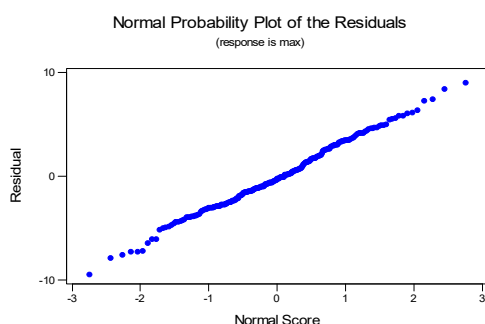
شکل ۶: نمودار سری مشاهدات تفاضل گیری شده مرتبه اول همراه با خط روند (بار دوم)



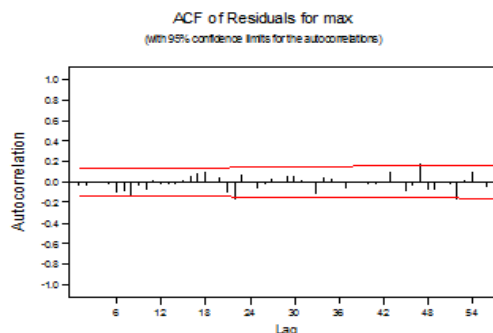
شکل ۹: تابع خود همبستگی جزئی سری مشاهدات ایستگاه شده



شکل ۸: تابع خود همبستگی سری مشاهدات ایستگاه شده



شکل ۱۱: نمودار باقیمانده‌ها نسبت به نشان-نرمال



شکل ۱۰: نمودار تابع خود همبستگی سری باقیمانده‌های حاصل از برازش مدل

منابع

۱. بشیری، مهدی. مهدی وفاخواه. ۱۳۸۹. مقایسه روش‌های مختلف تحلیل سری‌های زمانی در پیش‌بینی دبی ماهانه حوزه آبخیز کرخه. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال اول، شماره دو، صفحات ۷۵-۸۶.
۲. علیجانی، بهلول. نبی‌الله رضانی. ۱۳۸۱. پیش‌بینی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های استان مازندران با استفاده از مدل باکس-جینکنز. ضمیمه پژوهش‌های جغرافیایی، صفحات ۱۵۵-۱۶۹.
۳. شریفان، حسین. بیژن قهرمان. ۱۳۸۶. ارزیابی پیش‌بینی باران با بکارگیری تکنیک SARIMA در استان گلستان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد چهاردهم، شماره سوم.
۴. قهرمان، نوذر. ابودر قره‌خانی. ۱۳۹۰. ارزیابی مدل‌های تصادفی سری زمانی در برآورد تبخیر از تشت (مطالعه موردی: ایستگاه شیراز). مجله پژوهش آب در کشاورزی، جلد بیست و پنج، شماره یک، صفحات ۷۵-۸۱.
۵. گلابی، محمد رضا. علی محمد آخوند علی. فریدون رادمنش. محمد کاشفی پور. ۱۳۹۳. مقایسه دقت پیش‌بینی مدل‌های باکس-جینکنز در مدل‌سازی بارندگی فصلی (مطالعه موردی: ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان). فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره سوم، صفحات ۶۱-۷۲.
۶. معروفی، صفر. بهناز ختار. مجید صادقی‌فر. نصرالدین پارسا‌فر. علیرضا ایل‌دورمی. ۱۳۹۳. پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از سری زمانی SARIMA و شاخص SPI در ناحیه مرکزی استان همدان، نشریه پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۲۸، شماره ۱، صفحات ۲۱۳-۲۲۵.
۷. مهموم سالکویه، صالح. ۱۳۹۲. ارزیابی و واسنجی مدل Aqua-Crop تحت رژیم‌های مختلف آب و کود ازت در زراعت پنبه در اقلیم گلستان. پایان‌نامه، ۱۵۶ صفحه.
۸. نیرومند، حسینعلی. ابوالقاسم بزرگ‌نیا. ۱۳۷۲. تجزیه و تحلیل سری زمانی. چاپ اول، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۹۰ صفحه.
۹. ویسی‌پور، حسین. جعفر معصوم پور. بهمن صحنه. یدالله یوسفی. ۱۳۸۹. تحلیل پیش‌بینی روند بارش و دما با استفاده از مدل‌های سری زمانی (ARIMA).

- Conference of Stochastic Process. Isfahan University (In Persian).
16. Leite, S., and Peixoto, S. 1996. The autoregressive model of climatological time series an application to the longest time series in Portugal. *International Journal of climatology*, 16: 1165-1173.
 17. Noaks, D., and McLeod, A. 1985. Forecasting monthly river flow time series. *International Journal of forecasting*, 1: 179-190.
 18. Padilla, A., Puldo-Bosch, A., Cavache, M., and Vallejos, A. 1996. The ARMA model applied to the flow of Karst Spiring. *Water resources bulletin*, 32: 917-928.
 19. Tiba, C., and Fraidenraich, N. 2004. Analysis of monthly time series of solat radiation and sunshine hours in tropical climates. *Renewable Energy*, 29: 1147-1160.
 20. Zou, P., Jingsong, Y., Jianrong, F., Guangming, L., and Dongshun, L. 2010. Artificial neural network and time series models for predicting soil salt and water content. *Agricultural water management*, 97: 2009-2019.
- مجله علمی پژوهشی جغرافیا، چاپ دوازدهم، صفحات ۶۹-۷۷.
۱۰. یغمایی، فرهاد. عبدالله نژاد، کامل. هزارجریبی، ابوطالب. بابانژاد، منوچهر. ۱۳۹۲. برازش مدل‌های آماری به ماکزیمم و مینیمم درجه حرارت شهرستان گرگان، مجله پژوهش‌های آب و خاک، جلد بیستم، شماره دوم، صفحات ۶۵-۸۴.
 11. Borland, P., and Montana, A. 1996. Forecasting of storm rain full by combined use of rider, rain gages and linear models. *Atmospheric research*, 42: 199-216.
 12. Brockwell, P.J., and Davis, R.A. 1991. *Time series: Theory and Method*, Springer verlay, New York.
 13. Ganjali, M. 1997. Correlation in time series. *Andishe-ye Amari*, 2(2): 44-47.
 14. Jahanbakhsh-Asl, S., and Torabi, S. 2004. Study and forecasting of precipitation and temperature changes in Iran. *Geographical Research*, 74: 104-125. (In Persian)
 15. Kheradmand-Nia, M., and Asakereh, H. 2001. Patterning of ARIMA for annual average temperature in Jask. *The Third*

