

پیش‌بینی و تحلیل تغییرات بارش‌های ماهانه‌ی شهرستان اردبیل با استفاده از مدل‌های آریمای اتورگرسیو و وینترز

برومند صلاحی^{۱*} - رقیه ملکی مرشت^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۲/۱۳

چکیده

بارش جزء تغییرپذیرترین عناصر اقلیمی با زمان و مکان است. نوسانات شدید بارندگی در مناطق مختلف جغرافیایی، لزوم بررسی این عنصر اقلیمی و ارائه‌ی مدل مناسب برای پیش‌بینی مقادیر آتی آن برای انجام برنامه‌ریزی‌های ناحیه‌ای را آشکار می‌کند. شهرستان اردبیل، همواره با نوسانات بارندگی و کمبود آب مواجه بوده است لذا در پژوهش حاضر، با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی اتورگرسیو مرتبه‌ی ۲، وینترز و آریمای بارش‌های ماهانه‌ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل به عنوان نماینده‌ی شهرستان اردبیل برای یک دوره‌ی ۳۱ ساله (۱۹۷۷-۲۰۰۷) مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. برای بررسی وجود یا عدم وجود تغییرات معنادار میانگین بارش ایستگاه سینوپتیک اردبیل، بارش این ایستگاه به دو دوره‌ی ۱۹۷۷ تا ۱۹۹۳ و ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۰ تقسیم و برای آزمون اختلاف بارش دو دوره‌ی فوق، از آماره‌ی t استفاده گردید. نتایج حاصل از بررسی پارامتر بارش با استفاده از مدل‌های مذکور، سیر نزولی پارامتر مجموع بارش ماهانه‌ی ایستگاه مورد مطالعه را طی سال‌های آتی نشان داد. نتایج حاصل از تحلیل و مدل‌سازی مجموع بارش ماهانه‌ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل با استفاده از مدل‌های مذکور نشان می‌دهد که مدل آریمای با داشتن پایین‌ترین مقدار میانگین قدر مطلق خطاها و بالاترین مقدار ضریب تعیین، بهتر از مدل‌های اتورگرسیو مرتبه‌ی ۲، وینترز می‌باشد. شاخص‌های جذر میانگین مجذور خطاها، معیار آکائیک و میانگین قدر مطلق انحرافات مبین این بود که الگوی $SARIMA(1,1,1)(2,0,1)_{12}$ کمترین مقدار عددی معیارهای مذکور را دارا می‌باشد لذا می‌تواند به عنوان الگوی مناسبی برای پیش‌بینی مقادیر بارش‌های ماهانه‌ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل لحاظ گردد.

واژه‌های کلیدی: آزمون‌های آماری، آمار توصیفی، صحت سنجی، مدل بندی، نوسانات بارندگی

مقدمه

این روش‌ها عمدتاً ناظر بر سری‌های زمانی و مدل‌های رگرسیونی هستند. مطالعات نشان می‌دهند که با عنایت به این که پدیده‌ی بارش، اساساً پیچیدگی‌های خاصی دارد، لذا پیش‌بینی مقادیر آتی آن نیز تابع مدل‌هایی خواهد بود که دقت بیشتر و خطای کمتری داشته باشند. در بین مدل‌های پیش‌بینی، مدل‌های خانواده‌ی آریمای^۳ کاربرد بیشتری پیدا کرده و تقریباً جای دیگر مدل‌ها را گرفته‌اند.

در به کارگیری مدل‌های مختلف آماری برای پیش‌بینی عنصر بارش در مناطق مختلف جغرافیایی، مطالعات گسترده‌ای در سطح جهان و ایران صورت گرفته است. اسدی و حیدری (۳) تغییرات سری‌های دما و بارش شیراز طی دوره ۲۰۰۵ - ۱۹۵۱ را بررسی کردند. ارسطو (۲) با بهره‌گیری از تحلیل سری‌های زمانی، روند خشکسالی اقلیمی در ایستگاه‌های منتخب استان سمنان را بررسی کرد. رادمنش و همکاران (۱۹) در پیش‌بینی خشکسالی هواشناسی ایستگاه آبادان، مدل $(1,1,0)$ آریمای مدلی مناسب برای پیش

بارش، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های محیط زیست است. مقدار نزولات جوی در زمان و مکان‌های مختلف، دستخوش نوسانات زیادی است که ممکن است دوره‌ای باشند. تحقیقات نشان داده‌اند که در سال‌های اخیر، شاهد بی‌نظمی در روند بارندگی بوده‌ایم که ممکن است دلیل آن، اثرات گلخانه‌ای و تغییرات آب و هوا باشد. علاوه بر کمبود بارندگی، نوسانات شدید آن نیز از ویژگی‌های شاخص اقلیم ایران محسوب می‌شود. تغییرپذیری و نوسانات شدید بارندگی و تبعات آن، بر ضرورت انجام پژوهش‌هایی در زمینه‌ی ویژگی‌های شاخص-های رطوبتی همچون بارش تأکید می‌نماید. امروزه، پیش‌بینی مقادیر بارش مناطق مختلف جغرافیایی با روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد.

۱ و ۲- به ترتیب دانشیار و دانش آموخته کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده‌ی ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی
* - نویسنده مسئول: (Email: bromand416@yahoo.com)

همکاران (۱۸) بارش‌های موسمی هند غربی را با مدل آریما پیش‌بینی نمودند و تحلیل روند را بر روی آن داده‌ها انجام دادند. ماهالاکشمی و همکاران (۱۵) با بهره‌گیری از مدل ترکیبی آریما و شبکه‌های عصبی مصنوعی، بارش‌های ایالت تامیل ناو^۱ در ساحل شرقی هندوستان را پیش‌بینی کردند.

نتایج حاصل از بررسی پژوهش‌های انجام شده، نشان می‌دهد که روش‌های آماری همچون سری‌های زمانی می‌توانند در زمینه‌ی مطالعه‌ی شاخص‌های اقلیمی همچون بارش و پیش‌بینی روند این پارامتر در آینده کارایی بهتری داشته باشند. شهرستان اردبیل با حدود ۲۸۰ میلیمتر بارندگی سالانه، از نظر ذخایر آبی وضعیت مطلوبی ندارد. بارش اندک این شهرستان با توزیع نه‌چندان مناسب آن و نیز رواج دیم‌کاری در آن، لزوم تعیین الگوی توزیع بارش در طول سال و تغییرات زمانی آن در منطقه‌ی مورد مطالعه و آگاهی از ویژگی‌ها و رفتارهای بارش‌های آن را می‌طلبد تا بتوان از تبعات منفی ناشی از کمبود آب در زمینه‌های اقتصادی و اجتماعی در منطقه‌ی مورد مطالعه کاست. لذا این پژوهش در صدد است تا با بهره‌گیری از مدل‌های مناسب آماری، مقادیر بارش‌های ماهانه‌ی شهرستان اردبیل را بررسی و مدل‌بندی نماید.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، از داده‌های مجموع بارش ماهانه‌ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل (به عنوان نماینده‌ی شهرستان اردبیل)، برای یک دوره‌ی آماری ۳۱ ساله (۲۰۰۷-۱۹۷۷) استفاده شده است. پس از کنترل داده‌ها، برخی ویژگی‌های آمار توصیفی آن‌ها بررسی شد. جهت مدل‌بندی مجموع بارش ماهانه‌ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل، از مدل‌های وینترز، اتورگریسو و آریما استفاده گردید. مدل وینترز، به پیش‌بینی مقادیر در سری‌هایی که تغییرات فصلی و روند دارند، می‌پردازد. این مدل هم دارای مدل مجزا برای پیش‌بینی در سری‌هایی است که تغییرات غیرفصلی دارند و هم توسعه‌پذیر به سری‌هایی است که تغییرات فصلی دارند. اگر مقدار مشاهده شده برای سری زمانی در زمان t را با X_t نشان داده شود، بیانگر مقدار پیش‌بینی آن خواهد بود. روند برآورد شده برای T_t معرفی می‌شود. در مدل وینترز، دو معادله‌ی برآورد عبارتند از:

$$\bar{X}_t = A(\bar{X}_{t-1} + T_{t-1}) + (1-A) X_t \quad (0 < A < 1) \quad (1)$$

$$T_t = BT_{t-1} + (1-B)(\bar{X} - \bar{X}_{t-1}) \quad (0 < B < 1) \quad (2)$$

که در معادلات فوق، A و B ضرایب هموارسازی هستند که مقدار

بینی بارش‌های فصلی آن ایستگاه دانستند. روشنی (۲۰) با استفاده از آماره من - کندال و مدل آریما، به تحلیل و پیش‌بینی تغییرات روند بارش‌های ۱۵ فروردین تا ۱۵ اردیبهشت شهر تبریز پرداخت. تیرگر فخری (۲۴) با استفاده از آماره من-کندال و مدل آریما، روند بارش‌های سالانه‌ی ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه را تحلیل و پیش‌بینی نمود و دریافت که بارش‌های سالانه‌ی ایستگاه مذکور، روند کاهشی دارد. بابازاده و همکاران (۵) با استفاده از روش‌های استوکستیک به بررسی خشکسالی و ترسالی منطقه شیراز پرداختند و مدل (۰،۱،۲) (۰،۰،۰) آریما را مدلی مناسب برای پیش‌بینی بارش ماهانه آن منطقه دانستند. زاهدی و همکاران (۲۵) به الگوسازی بارش ایستگاه‌های ارومیه و تبریز پرداختند. فیروزی و همکاران (۸) روند بارش در ایستگاه‌های منتخب استان فارس را مدل‌سازی کردند. حاجی بیگلو و همکاران (۱۰) با به کارگیری تکنیک ساریما، متوسط بارندگی ماهانه ایستگاه بارانسنجی بابامان بجنورد را بررسی و پیش‌بینی نمودند.

کاشیک و سینگ (۱۳) از مدل آریمای فصلی برای پیش‌بینی بارش و دمای ماهانه‌ی منطقه‌ی میرزاپور^۱ (اوتارپرادش^۲) هندوستان بهره جستند. ماهسین و همکاران (۱۶) در مدل‌بندی بارش‌های حوضه‌ی داکا در بنگلادش از سری‌های زمانی استفاده نموده و مدل $(1, 1, 0)$ آریما را مدلی مناسب برای پیش‌بینی بارش‌های ماهانه‌ی آن حوضه دانستند. زکریا و همکاران (۲۶) از سری‌های زمانی در تخمین بارش‌های هفتگی بیابان سینجار^۳ عراق استفاده کردند. عبدالعزیز و همکاران (۱) الگوهای بارندگی را بر اساس آریمای فصلی برای منطقه‌ی آشاتنی^۴ کشور غنا مدل‌بندی و پیش‌بینی کردند. سریدهار همکاران (۲۲) با استفاده از مدل آریما، به پیش‌بینی و تحلیل بارش در ایستگاه‌های حاره‌ای عرض‌های جغرافیایی پایین پرداختند. مهر و جا (۱۷) مدل $(1, 1, 0)$ آریما را مدلی مناسب برای برآورد بارش‌های ماهانه‌ی حوضه‌ی رودخانه‌ی ماهانادی^۵ هندوستان دانستند. گونگ و همکاران (۹) در تخمین بارش‌های ماهانه‌ی ایالت شیان^۶ چین، از مدل $(7, 1, 1)$ آریما استفاده کردند. هان و همکاران (۱۱) در بررسی خشکسالی‌های دشت گوانجوی^۷ چین، از شاخص استاندارد بارش و مدل آریما استفاده کردند. سوهارتونو و همکاران (۲۳) در پیش‌بینی داده‌های بارش ماهانه‌ی مناطق پوزان^۸ و واگیر^۹ اندونزی، مدل‌های انفیس و آریما استفاده کردند. نارایانان و

- 1- Mirzapour
- 2- Uttar Pradesh
- 3- Sinjar
- 4- Ashanti
- 5- Mahanadi
- 6- Xian
- 7- Guanzhong
- 8- Pujan
- 9- Wagir

در این ایستگاه به خود اختصاص داده‌اند. انحراف معیار بارش در ماه اوت به کمترین حد و در ماه نوامبر به بیشترین حد خود رسیده است. ضرایب چولگی و کشیدگی مجموع بارندگی در تمام فصول، حاکی از عدم تبعیت توزیع این داده‌ها از توزیع نرمال هستند. از نظر دامنه‌ی تغییرات مجموع بارندگی ماهانه، ماه اکتبر (مهر) بیشترین و ماه اوت (مرداد) کمترین دامنه‌ی تغییرات پارامتر مذکور را دارند.

شکل ۱، توزیع سری زمانی بارش ماهانه‌ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل (بر حسب میلی‌متر) از ژانویه ۱۹۷۷ تا دسامبر ۲۰۱۰ (۴۰۸ مشاهده) را آشکار می‌کند. با عنایت به این شکل، می‌تواند یک روند کاهشی با شیب ملایم در سال‌های مختلف را مشاهده نمود. بنابراین سری فوق، دارای ناپایداری است. شکل ۲، نشان می‌دهد که با لگاریتم‌گیری از داده‌ها، علی‌رغم تغییرات در اعداد گمشده، باز هم داده‌ها دارای کاهشی نسبی هستند. برای رفع این مسأله، از داده‌ها تفاضل‌گیری مرتبه‌ی اول صورت گرفت که نتیجه‌ی آن در شکل ۳ نشان داده شده است. بعد از تفاضل‌گیری غیرفصلی، با انجام تبدیل لگاریتمی بر روی داده‌ها، این روند تا حدی از بین رفت. شکل ۴، ضرایب خودهمبستگی اولیه‌ی سری بارش ماهانه‌ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل را نشان می‌دهد. این شکل، مبین وجود سیکل تناوبی منظم در داده‌های مجموع بارندگی ماهانه‌ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل می‌باشد. تعداد ۶۰ ضریب خودهمبستگی جزئی سری بارش ماهانه‌ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل در شکل شماره‌ی ۵ آشکار شده است.

شکل ۶، مبین ضرایب خودهمبستگی بارش ماهانه‌ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل است که در آن می‌توان اغلب ضرایب خود-همبستگی را برابر صفر در نظر گرفت. ضرایب خودهمبستگی جزئی بارش ماهانه‌ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل، در شکل ۷ نشان داده شده است. در این شکل، اغلب ضرایب تأخیرهای زمانی مضارب ۱۲ غیر صفر است. شکل‌های ۸ و ۹ که به ترتیب، ۶۰ ضریب خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی سری $\nabla_{12}(X_t)$ بارش ماهانه‌ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل در مضارب ۱۲ را نشان می‌دهند، دارای برخی ضرایب معنی‌داری می‌باشند. با توجه به شکل‌های مذکور، می‌توان دریافت که سری بارش ایستگاه سینوپتیک اردبیل، دارای تغییرات فصلی و غیرفصلی است. بنابراین مدل انتخابی، ساریما خواهد بود. سری فوق، با یک‌بار تفاضل‌گیری غیرفصلی ($d=1$) ایستا گردید. علاوه بر این، جهت انتخاب مرتبه‌های مختلف D و d ، ابتدا مرتبه‌های مختلف تفاضل‌گیری فصلی و غیر فصلی (D و d)، طبق جدول ۲، برای D و d در نظر گرفته شد و سپس واریانس هر حالت به صورت جداگانه محاسبه گردید.

آن‌ها همواره بین صفر و یک خواهد بود. برای استفاده از معادلات مذکور، علاوه بر مقادیر A و B ، به مقدار واقعی سری زمانی در زمان t ، مقدار پیش‌بینی در زمان $t-1$ ، مقدار پیش‌بینی در زمان t و مقدار روند در زمان $t-1$ ، $t-1$ مورد نیاز است (۴). در صورتی که هر مشاهده‌ی سری زمانی، وابستگی خطی به یک یا چند مشاهده‌ی قبلی داشته باشد، مدل اتورگرسیو (AR) ایجاد می‌شود. مدل اتورگرسیو مرتبه‌ی ۲ به صورت زیر ساخته می‌شود:

$$X_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i-1} + \beta_2 X_{i-2} + e_i \quad i = 3, 4, \dots, n \quad (3)$$

در رابطه‌ی فوق، e_i ، مانده‌ی مدل در لحظه‌ی i ام است (۶). چنان‌چه بتوان مدل اتورگرسیو مرتبه‌ی P را با مدل میانگین متحرک مرتبه‌ی Q ترکیب نمود مدل آریما با مرتبه‌ی (P, Q) ایجاد می‌شود که مدل مرکبی به شمار می‌رود. بیان ریاضی این مدل مرکب به صورت زیر است:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 Y_{t-1} + \beta_2 Y_{t-2} + \dots + \beta_p Y_{t-p} - \theta_1 e_{t-1} - \theta_2 e_{t-2} - \dots - \theta_q e_{t-q} + e_t \quad (4)$$

در این رابطه، $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ پارامترهای مدل e_t ، مقدار مؤلفه‌ی اشتباه تصادفی برای دوره‌ی t ام ($Y_t = e_t$) و $Y_t = e_t$ است (۷). برای انتخاب بهترین مدل از بین مدل‌های مختلف برای پیش‌بینی سری زمانی، ارجاع به یک یا چند شاخص ارزیابی ضروری به نظر می‌رسد. هر اندازه مقدار واقعی سری زمانی به مقدار پیش‌بینی شده‌ی آن نزدیک‌تر باشد، مبین دقت و صحت مدل پیش‌بینی کننده است لذا میزان خطای پیش‌بینی، می‌تواند معیار مناسبی برای شناسایی مدل باشد. شاخص‌های میانگین قدر مطلق انحرافات، میانگین مجذور خطاها، جذر میانگین مجذور خطاها، میانگین قدر مطلق درصد خطاها و معیار اطلاع آکایک، متداول‌ترین شاخص‌ها در انتخاب مدل مناسب پیش‌بینی سری‌های زمانی می‌باشند که در این پژوهش نیز از آن‌ها بهره گرفته شده است (۴).

یافته‌های پژوهش

ویژگی‌های آماری مجموع بارندگی ماهانه‌ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل در دوره‌ی آماری مورد مطالعه در جدول ۱، مبین این است که ماه می، بیشترین و ماه اوت، کمترین مقدار مجموع بارندگی ماهانه را

- 1- Mean absolute deviations
- 2- Mean square errors
- 3- Root mean square errors
- 4- Mean absolute percentage errors
- 5- Akaike's information criterion

جدول ۱- نتایج آماره‌های توصیفی مجموع بارش ماهانه در ایستگاه اردبیل

Table 1- The results of descriptive statistics of total monthly precipitation in Ardabil station

	ANU	DEC	NOV	OCT	SEP	AGU	JUL	JUN	MAY	APR	MAR	FEB	JAN
Mean میانگین	302.2	25	36.7	32.1	8.5	5.4	6.6	20	45.9	40.2	37.4	21.8	24.5
Median میانه	280.4	22.4	27.6	25.1	5.6	21	4	13.2	43.3	33.5	33.4	21.3	19.8
Mode مد	189.3	16.2	1.3	18.4	0	0	0	4.2	8.7	4.9	21.8	21.3	15.8
Std. Deviation انحراف معیار	80.7	15.8	34.8	31	9.6	7.5	9.3	23.6	25.2	24	21.6	14.5	15.5
Variance واریانس	651.5	249	1210	962	91.6	56.5	86	555	634	578	467	210	242
Skewness چولگی	0.9	0.9	1.9	2.5	2.1	1.7	2.3	1.9	0.4	0.6	1.3	0.9	1.3
Kurtosis کشیدگی	0.7	0.9	3.7	8.6	6.1	2	4.8	4.2	-0.8	-0.5	2	0.8	1.3
Range دامنه‌ی تغییرات	344.8	68.5	149.5	157	45.1	26.8	34	102	88.8	86.4	88.3	58.5	65

بارش ماهانه‌ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل (شکل ۱۱)، حاکی از قرارگیری ضرایب در محدوده‌ی باند اطمینان و استقلال مانده‌های سری مذکور از هم می‌باشد. فرض نرمال بودن مانده‌های مدل اصلی نیز با بررسی شکل خط نرمال مانده‌های اصلی سری بارش ماهانه‌ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل، قابل پذیرش است (شکل ۱۲). شکل ۱۳، نمودار پراکنش مقادیر پیش‌بینی شده‌ی سری بارش ماهانه‌ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل، با حدود اطمینان ۹۵ درصد را آشکار می‌کند که مقادیر پیش‌بینی شده‌ی بارش ماهانه‌ی ایستگاه مذکور را تا سال ۲۰۰۹ نمایان می‌سازد. نمودار مقایسه‌ای سری اصلی بارش ماهانه‌ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل و سری پیش‌بینی شده تا سال ۲۰۱۵، حاکی از انطباق مناسب دو سری و به تبع آن، موفق بودن مدل انتخابی است (شکل ۱۴).

جهت بررسی روند تغییرات بارش ایستگاه سینوپتیک اردبیل، علاوه بر استفاده از مدل آریمای از مدل‌های اتورگرسیو و وینترز نیز استفاده گردید. نتایج مقادیر پیش‌بینی شده برای ۵ سال آخر دوره‌ی آماری مورد مطالعه، برای مدل‌های آریمای اتورگرسیو و وینترز در جدول ۴ آمده است.

به منظور انتخاب مناسب‌ترین مدل از میان مدل‌های مورد مطالعه، از شاخص میزان انحراف مقدار پیش‌بینی شده از مقدار واقعی برای ماه‌های سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ استفاده گردید. میزان درصد میانگین خطای مطلق برای مدل آریمای وینترز و اتورگرسیو به ترتیب برابر با ۶۱/۸۲، ۱۴۸/۳۹ و ۸۱/۵۴ و ضریب تعیین آن به ترتیب ۸۸/۲۸، ۶۱/۰۷ و ۸۵/۱۲ به دست آمد. مقایسه‌ی شاخص‌های مذکور مبین این واقعیت است که مدل آریمای نسبت به مدل‌های وینترز و اتورگرسیو، دارای بالاترین ضریب تعیین و پایین‌ترین مقدار میانگین خطای مطلق (به ترتیب برابر با ۸۸/۲۸ و ۶۱/۸۲) می‌باشد.

مطابق جدول مذکور، مرتبه‌های $D=0$ و $d=1$ با داشتن کمترین مقدار واریانس، برای مدل انتخاب گردیدند. در این حالت ($D=0$ و $d=1$)، سری مذکور، دارای کمترین واریانس و ثابت‌ترین سطح است. این نتیجه‌گیری، در ترسیم شکل‌های خودهمبستگی و خود-همبستگی جزئی سری زمانی، با تفاضل‌گیری غیر فصلی ($d=1$) نیز تایید شده بود. بعد از مشخص شدن مرتبه‌های D و d ، ضرورت دارد که مرتبه‌های P ، Q و p نیز مشخص شود تا مدل نهایی SARIMA، انتخاب شود. شکل‌های ۸ و ۹ نشان می‌دهند که منحنی‌های ضرایب ACF و PACF به ترتیب، به صورت مقطعی و نمایی به سمت صفر میل می‌کنند.

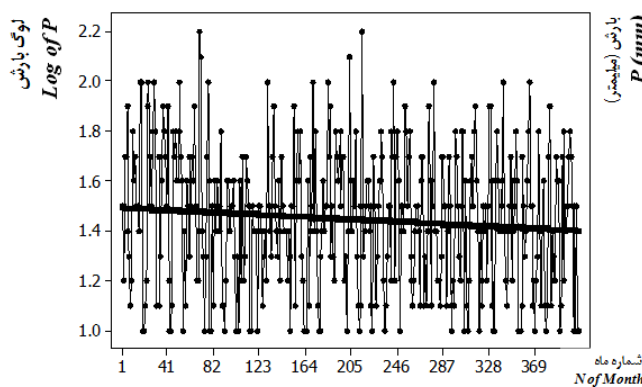
جهت انتخاب مدل مناسب از میان مدل‌های مختلف، مقادیر RMSE، AIC و MAD الگوهای مختلف محاسبه و نتایج آن نشان داد که الگوی $SARIMA(1,1,1)(2,0,1)_{12}$ کمترین مقدار RMSE، AIC و MAD را داشته و می‌تواند به عنوان الگوی مناسب جهت پیش‌بینی بارش ماهانه‌ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل انتخاب شود (جدول ۳). در نهایت، مدل کلی سری بارش ماهانه‌ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل با ترکیب دو جزء فصلی و غیر فصلی و با رعایت اصل امساک، به صورت $SARIMA(1,1,1)(2,0,1)_{12}$ در آمد. لازم به توضیح است که مقادیر RMSE، AIC و MAD برای بیش از ۱۰۰ الگو محاسبه گردید که به دلیل رعایت اختصار، تنها مقادیر هجده الگو که پایین‌ترین میزان RMSE، AIC و MAD را داشتند، در جدول ۳ ذکر شده‌اند. پس از انتخاب مدل نهایی، بایستی مدل فوق مورد ارزیابی دقیق قرار گیرد. از مهم‌ترین این ارزیابی‌ها می‌توان به نرمال بودن و مستقل بودن مانده‌های مدل اشاره کرد. هیستوگرام مانده‌های مدل اصلی سری زمانی مورد مطالعه و منحنی نرمال آن در شکل ۱۰ آمده است. برازش مناسب منحنی نرمال با توزیع فراوانی مشاهدات مانده‌ها، مبین نرمال بودن سری مشاهدات مانده‌ها می‌باشد. بررسی ضرایب خودهمبستگی جزئی مانده‌های مدل اصلی سری

جدول ۲- مقادیر مرتبه‌های مختلف تفاضل‌گیری فصلی (D) و غیر فصلی (d) و واریانس مجموع بارش ایستگاه اردبیل
 Table 2- Amount of Different grades of seasonal difference (D) and non-seasonal (d) and the total variance of rainfall in Ardabil station

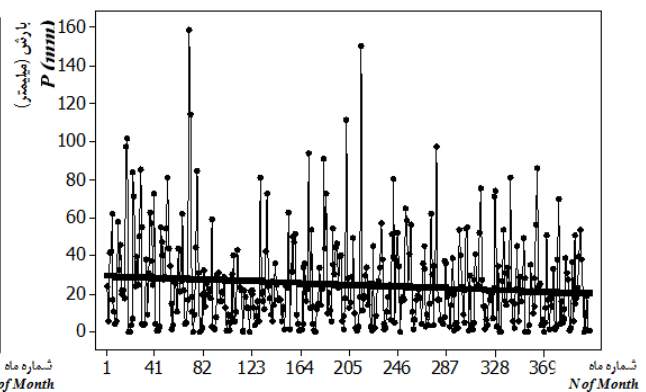
d	D	میانگین Mean	واریانس Variance	تعداد سری زمانی N. Time Series
0	0	24.62	785.51	408
1	0	0.0577	573.93	407
0	1	-0.289	815.46	396
1	1	-0.0271	1500.62	395
2	0	-0.0704	1203.43	406
0	2	-0.861	877.84	383
1	2	-0.0405	1363.23	383
2	1	-0.195	1696.05	394
2	2	-0.138	1616.23	382

جدول ۳- مقادیر MAD, MSE, RMSE و AIC برای الگوی مختلف مجموع بارش (درصد) ایستگاه اردبیل
 Table 3- Amount of MAD, MSE, RMSE & AIC for The total rainfall patterns (percent) in Ardabil station

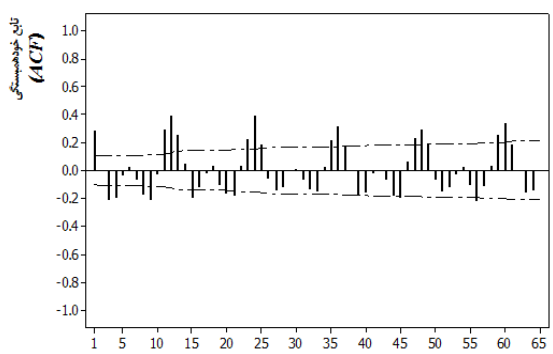
الگو (Pattern)	RMSE	Normalized BIC	AIC
(1,1,0)(0,0,0) ₁₂	31.81	6.96	901.80
(1,1,0)(1,0,0) ₁₂	29.89	6.85	760.26
(1,1,0)(1,0,2) ₁₂	28.86	6.79	803.42
(1,1,0)(2,0,0) ₁₂	28.97	6.81	835.02
(1,1,0)(3,0,0) ₁₂	29.27	6.84	827.34
(1,1,1)(1,0,0) ₁₂	22.41	6.29	741.65
(1,1,1)(1,0,1) ₁₂	21.45	6.24	656.16
(1,1,1)(2,0,1) ₁₂	21.45	6.22	653.44
(1,1,1)(1,0,2) ₁₂	21.47	6.24	660.82
(1,1,1)(0,0,1) ₁₂	22.74	6.32	752.99
(1,1,1)(0,0,2) ₁₂	21.94	6.27	726.20
(2,1,0)(0,0,0) ₁₂	29.94	6.86	895.51
(2,1,0)(1,0,0) ₁₂	29.95	6.69	804.85
(2,1,1)(1,0,0) ₁₂	22.38	6.31	740.97
(2,1,1)(1,0,1) ₁₂	21.46	6.24	674.24
(2,1,1)(1,0,2) ₁₂	21.47	6.25	661.09
(2,1,2)(1,0,0) ₁₂	21.56	6.26	658.83
(3,1,0)(1,0,0) ₁₂	26.16	6.282	835.95



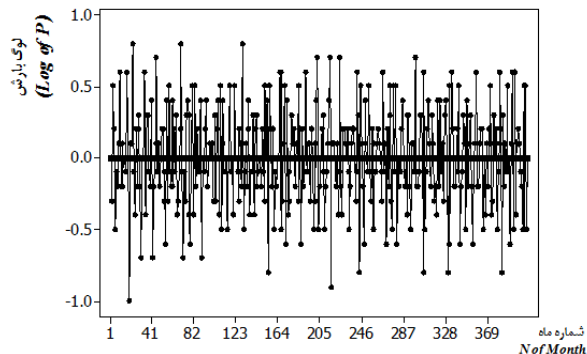
شکل ۲- سری زمانی داده‌های لگاریتم‌گیری شده‌ی بارش ایستگاه اردبیل
 Figure 2- Time series of log of rainfall in Ardabil station



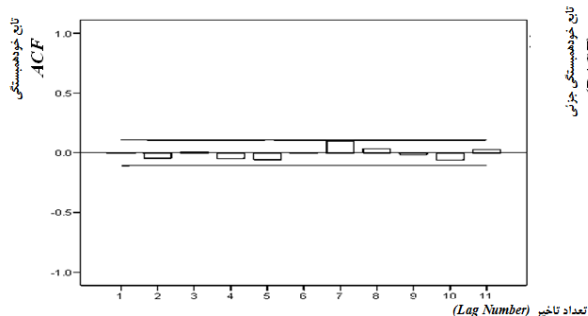
شکل ۱- سری زمانی داده‌های بارش ایستگاه اردبیل
 Figure 1- Time series of rainfalls in Ardabil station



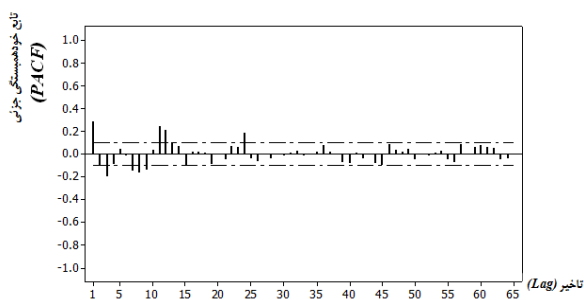
شکل ۴- تابع خودهمبستگی بارش ایستگاه اردبیل
Figure 4- Autocorrelation function of rainfall in Ardabil station



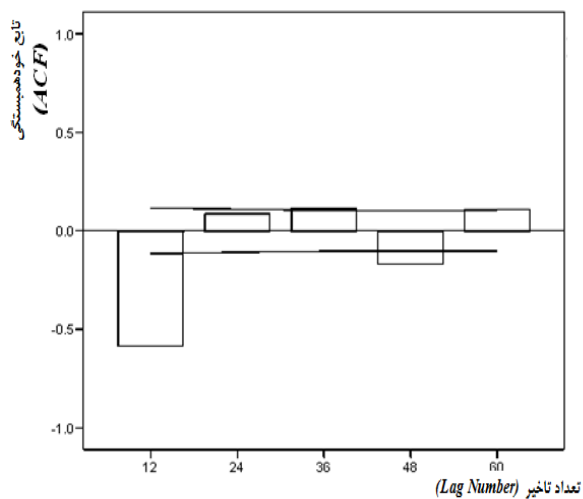
شکل ۳- سری زمانی داده‌های لگاریتم‌گیری شده و دیفرانسل‌گیری مرتبه‌ی اول بارش
Figure 3- Time series of log & order of 1 Differential of rainfall in Ardabil station



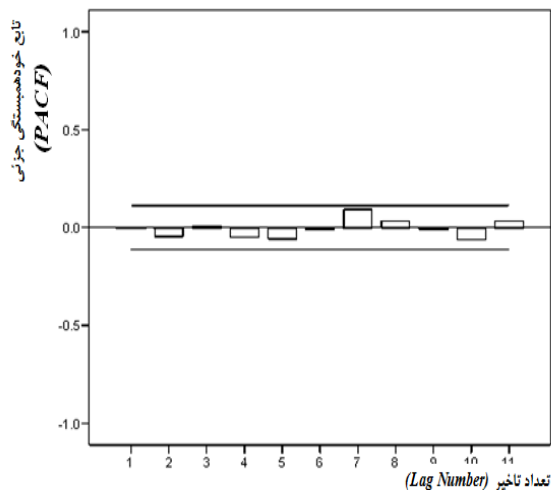
شکل ۶- نمودار تابع خود همبستگی بارش ایستگاه اردبیل با یک‌بار تفاضل‌گیری
Figure 6- Partial Autocorrelation function of rainfall in Ardabil station with 1 differential



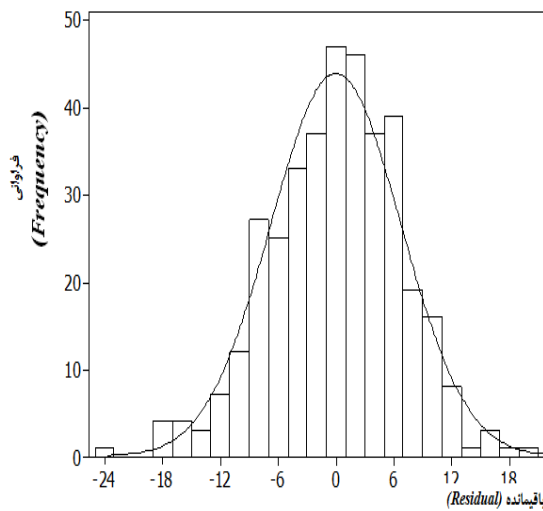
شکل ۵- نمودار تابع خودهمبستگی جزئی بارش ایستگاه اردبیل
Figure 5- Partial Autocorrelation function of rainfall in Ardabil station



شکل ۸- نمودار تابع خودهمبستگی بارش ایستگاه اردبیل برای مضارب دوره تناوب
Figure 8- Autocorrelation function of rainfall in Ardabil station For multiples of the period

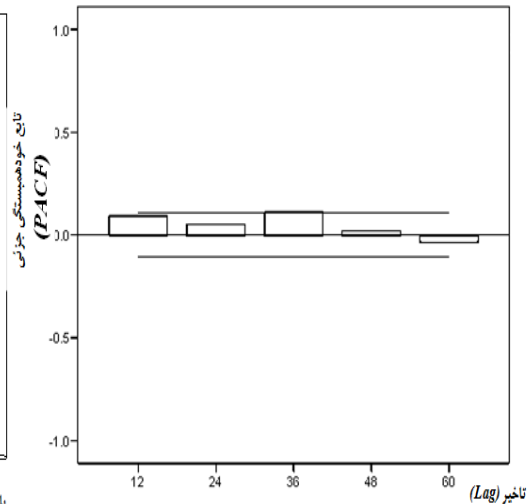


شکل ۷- نمودار تابع خودهمبستگی جزئی بارش ایستگاه اردبیل با یک‌بار تفاضل‌گیری
Figure 7- Partial Autocorrelation function of rainfall in Ardabil station with 1 differential



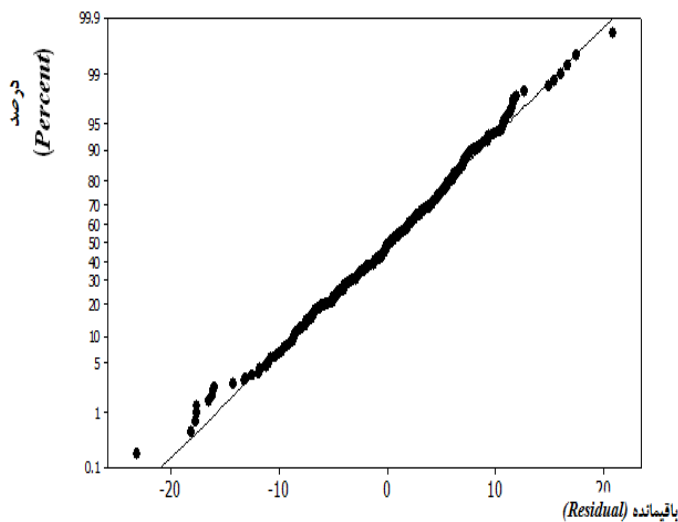
شکل ۱۰- نمودار هسته‌نگار باقیمانده‌های بارش ایستگاه اردبیل

Figure 10- Histogram of residuals of rainfall in Ardabil station



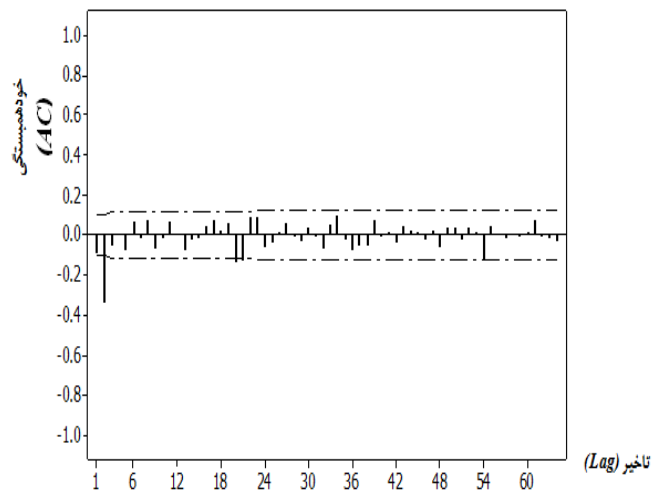
شکل ۹- نمودار تابع خودهمبستگی جزئی بارش ایستگاه اردبیل برای مضارب دوره تناوب

Figure 9- Partial Autocorrelation function of rainfall in Ardabil station for multiples of the period



شکل ۱۲- نمودار کاغذ احتمال نرمال باقیمانده‌های بارش ایستگاه اردبیل

Figure 12- Normal probability plot of residuals of rainfall in Ardabil station



شکل ۱۱- نمودار تابع خودهمبستگی باقیمانده‌های بارش ایستگاه اردبیل

Figure 11- Autocorrelation function of residuals of rainfall in Ardabil station

به منظور مقایسه توانایی مدل $SARIMA(1,1,1)(2,0,1)_{12}$ در پیش‌بینی مقادیر میانگین بارش‌های ماهانه برای سال‌های نزدیک، شاخص‌های همبستگی (R)، ضریب تعیین (R^2)، میانگین قدر مطلق انحرافات (MAD)، میانگین مجذور خطاها (MSE)، جذر میانگین مجذور خطاها ($RMSE$) و میانگین قدر مطلق درصد خطاها ($MAPE$) برای سال‌های ۲۰۱۱، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ که دارای داده‌های واقعی بودند محاسبه و نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است.

به نظر می‌رسد مدل آریمای پیش‌بینی‌های مناسب‌تری را برای بارش‌های ماهانه‌ی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ ارائه نموده است لذا می‌تواند به عنوان مدل بهینه برای پیش‌بینی عنصر مورد مطالعه معرفی شود لذا پیش‌بینی مقادیر آتی بارش ماهانه‌ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل بر اساس مدل مذکور انجام گرفت. جدول ۵، مقادیر پیش‌بینی شده‌ی سری بارش ایستگاه سینوپتیک اردبیل با بهره‌گیری از مدل آریمای همراه میانگین ۳۴ ساله‌ی آن را نشان می‌دهد.

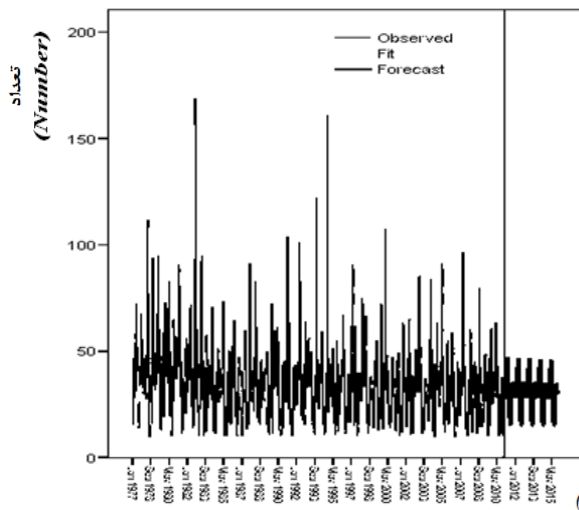
جدول ۴- مقادیر پیش‌بینی شده‌ی بارش (میلی‌متر) برای ۵ سال آخر دوره‌ی آماری مورد مطالعه (۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰) با استفاده از مدل‌های آریمما، اتورگرسیو و وینترز

Table 4- The predicted values of precipitation (mm) for the last 5 years of the study period (2006 to 2010) using arima, autoregressive and winters models

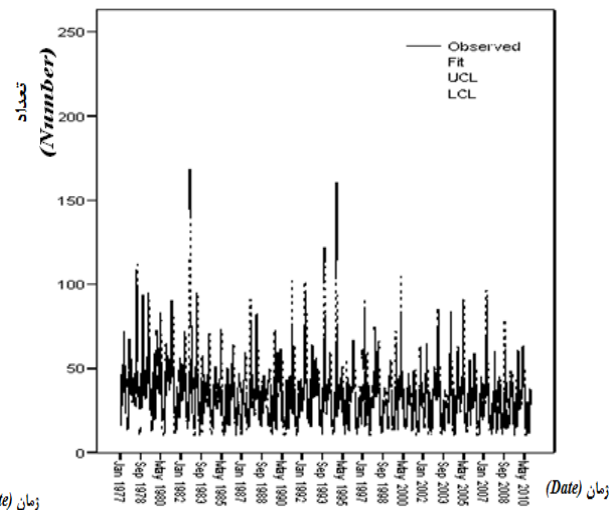
آریمما (Arima)										
سال	2006		2007		2008		2009		2010	
Year	پیش‌بینی Forecast	واقعی Actual	پیش‌بینی Forecast	واقعی Actual	پیش‌بینی Forecast	واقعی Actual	پیش‌بینی Forecast	واقعی Actual	پیش‌بینی Forecast	واقعی Actual
Jan	30.85	38.7	31.93	22.9	35.17	26.7	31.91	14.4	30.67	27.6
Feb	30.43	26.2	28.68	38.4	29.58	11.4	26.43	22	28.23	33
Mar	44.38	31.4	45.29	66.3	40.91	27.6	42.68	16.6	42.63	49.3
Apr	43.06	59	47.24	96.5	44.58	23.3	40.68	48.6	46.06	63.4
May	51.83	37.9	53.23	33.5	45.14	43.1	48.66	41	49.57	48.1
Jun	24.67	10	23.29	35	24.56	11.5	23.45	37.1	24.54	30.3
Jul	15.65	10	17.39	13.2	15.39	11.1	17.09	10.2	16.4	10
Aug	14.84	10	15.02	16.1	14.85	12.6	14.59	11.7	14.44	29.9
Sep	18.09	13	18.62	10	17.65	48.1	18.49	46.6	21.04	11.2
Oct	35.09	45.2	34.65	14.8	38.81	79.8	40.35	15.2	33.09	28.9
Nov	41.69	31.8	36.6	22.2	42.42	14.1	34.15	60.8	37.85	10.5
Dec	32.08	19.3	30.39	60.5	30.15	25.8	34.43	24.9	28.41	10.2

وینترز (Winters)										
	پیش‌بینی Forecast	واقعی Actual	پیش‌بینی Forecast	واقعی Actual	پیش‌بینی Forecast	واقعی Actual	پیش‌بینی Forecast	واقعی Actual	پیش‌بینی Forecast	واقعی Actual
Jan	37.86	38.7	44.12	22.9	50.38	26.7	56.64	14.4	62.90	27.6
Feb	30.31	26.2	35.26	38.4	40.20	11.4	45.14	22	50.09	33
Mar	55.71	31.4	64.68	66.3	73.64	27.6	82.61	16.6	91.57	49.3
Apr	56.46	59	65.42	96.5	74.38	23.3	83.35	48.6	92.31	63.4
May	54.50	37.9	63.03	33.5	71.57	43.1	80.11	41	88.65	48.1
Jun	23.72	10	27.38	35	31.05	11.5	34.72	37.1	38.39	30.3
Jul	24.49	10	28.22	13.2	31.96	11.1	35.70	10.2	39.44	10
Aug	17.58	10	20.23	16.1	22.88	12.6	25.53	11.7	28.18	29.9
Sep	22.17	13	25.47	10	28.77	48.1	32.07	46.6	35.37	11.2
Oct	50.48	45.2	57.91	14.8	65.34	79.8	72.76	15.2	80.19	28.9
Nov	54.97	31.8	62.96	22.2	70.95	14.1	78.94	60.8	86.92	10.5
Dec	40.91	19.3	46.78	60.5	52.66	25.8	58.53	24.9	64.40	10.2

اتورگرسیو (Autoregressiv)										
	پیش‌بینی Forecast	واقعی Actual	پیش‌بینی Forecast	واقعی Actual	پیش‌بینی Forecast	واقعی Actual	پیش‌بینی Forecast	واقعی Actual	پیش‌بینی Forecast	واقعی Actual
Jan	33.18	38.7	34.03	22.9	43.43	26.7	35.51	14.4	35.31	27.6
Feb	36.94	26.2	33.33	38.4	34.20	11.4	31.39	22	34.40	33
Mar	33.75	31.4	36.53	66.3	30.38	27.6	32.79	16.6	35.30	49.3
Apr	34.60	59	42.56	96.5	33.74	23.3	31.23	48.6	38.69	63.4
May	40.57	37.9	49.12	33.5	32.42	43.1	38.19	41	41.57	48.1
Jun	35.42	10	34.42	35	36.61	11.5	36.13	37.1	37.75	30.3
Jul	28.72	10	34.42	13.2	29.06	11.1	34.90	10.2	33.35	10
Aug	28.39	10	29.12	16.1	28.64	12.6	28.43	11.7	28.39	29.9
Sep	28.05	13	29.45	10	28.65	48.1	28.44	46.6	32.59	11.2
Oct	28.40	45.2	27.72	14.8	36.41	79.8	36.07	15.2	27.99	28.9
Nov	35.42	31.8	28.48	22.2	43.31	14.1	28.57	60.8	31.70	10.5
Dec	32.03	19.3	29.84	60.5	27.99	25.8	38.64	24.9	27.17	10.2



شکل ۱۴- نمودار مقایسه‌ای مقادیر پیش‌بینی و مشاهدات بارش ایستگاه اردبیل
Figure 14- Comparison of the observed and predicted rainfall in Ardabil station



شکل ۱۳- مقادیر پیش‌بینی شده‌ی بارش ایستگاه اردبیل با حدود اطمینان ۹۵ درصد
Figure 13- predicted values of rainfall in Ardabil station with 95% confidence

جدول ۵- مقادیر پیش‌بینی شده‌ی بارش (میلی‌متر) در ایستگاه اردبیل بر اساس مدل SARIMA(1,1,1)(2,0,1)₁₂
Table 5- The predicted values of precipitation (mm) for Ardabil station based on SARIMA(1,1,1)(2,0,1)₁₂

میانگین ۳۴ ساله 34 Year Annual	2015	2014	2013	2012	2011	
24.45	20.22	20.42	20.61	20.78	18.08	Jan
21.84	17.65	17.83	18.01	18.18	18.16	Feb
37.45	30.86	31.14	31.41	31.69	32.05	Mar
40.20	33.87	34.17	34.47	43.78	53.3	Apr
43.94	35.91	36.23	36.55	36.87	37.26	May
20.02	13.61	13.75	13.9	14.06	14.29	Jun
6.59	5.23	5.32	5.41	5.5	5.54	Jul
5.38	4.96	5.05	5.14	5.23	5.45	Aug
8.48	8.31	8.42	8.53	8.64	8.68	Sep
32.10	23.6	23.82	24.05	24.27	24.47	Oct
36.66	25.06	25.29	25.52	25.75	25.57	Nov
25.03	19.85	20.04	20.24	20.43	20.31	Dec

بر اساس این جدول مشاهده می‌شود که مقدار ضریب همبستگی داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده در حد متوسط بوده و بین ۶۳ تا ۶۸ درصد است. در مقایسه سال‌ها، مدل معرفی شده، مقادیر بارش-های ماهانه سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ را بهتر از سال ۲۰۱۳ پیش‌بینی کرده است. از طرفی، نزدیکی زیادی بین مقادیر پیش‌بینی شده وجود دارد و این می‌تواند تا حدی مربوط به بهره‌گیری مدل مذکور از میانگین سری زمانی مورد استفاده در پیش‌بینی‌ها باشد. همانگونه که گفته شد بر اساس مقادیر جدول ۴، مدل‌های وینترز و اتورگرسو توانایی پیش‌بینی کمتری نسبت به مدل آریمای در پیش‌بینی بارش-های ماهانه سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ داشتند. کم بودن مقادیر پیش‌بینی شده برای سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ نسبت به میانگین ۳۴ ساله نیز می‌تواند به دلیل ماهیت تصادفی بودن داده‌های بارش ماهانه و بهره‌گیری مدل از متوسط سری زمانی در پیش‌بینی‌ها باشد. این رویه در مقایسه داده‌های پیش‌بینی شده و مشاهده شده در سال‌های

۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ نیز تا حدودی مشهود است. اشکال شماره ۱۵، ۱۶ و ۱۷ نیز مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی را برای سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ ایستگاه مورد مطالعه نشان می‌دهد. بر اساس این اشکال، مشاهده می‌شود که برآزش داده‌های واقعی با داده‌های پیش‌بینی شده در حد نسبتاً قابل قبولی است. تفاوت‌های مشاهده شده بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده می‌تواند با تأثیرپذیری بارش‌های ایستگاه مورد مطالعه از عوامل متعدد محلی و دینامیکی حاکم بر منطقه و مستقل بودن داده‌های بارش این ایستگاه از داده‌های گذشته ایستگاه در ارتباط باشد و همین مسأله ایجاب می‌نماید تا متخصصین منابع آب و اقلیم‌شناسی، برای توجیه و پیش‌بینی بهتر این پدیده، علاوه بر مدل‌های آماری، به مدل‌های گردش عمومی جو تحت سناریوهای مختلف آب و هوایی اهتمام بیشتری داشته باشند.

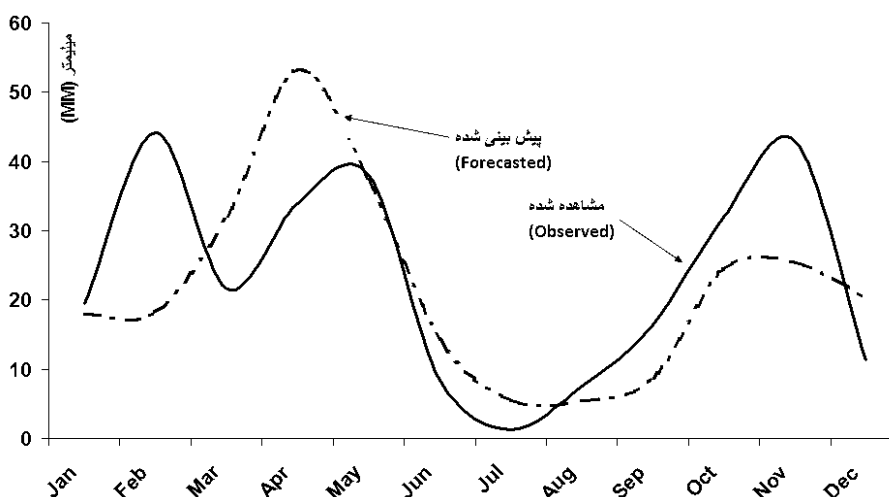
جدول ۶- مقادیر خطاهای محاسباتی پیش بینی ها

Table 6- Computational errors of forecasts

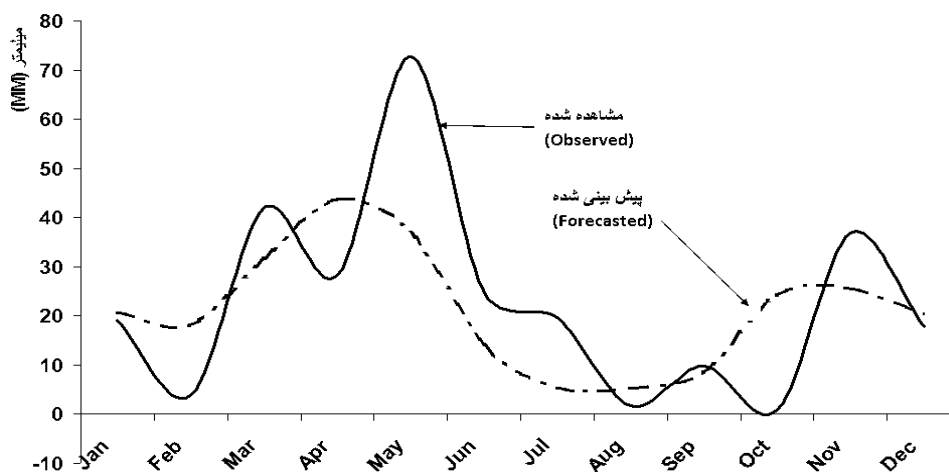
2013	2012	2011	
0.68	0.63	0.63	ضریب همبستگی R
0.46	0.40	0.40	ضریب تعیین R^2
9.76	12.02	9.25	میانگین قدر مطلق انحرافات MAD
123.13	273.3	142.6	میانگین مجذور خطاها MSE
11.09	15.40	11.94	جذر میانگین مجذور خطاها RMSE
221.04	319.02	65.60	میانگین قدر مطلق درصد خطاها MAPE

با توجه به جدول مذکور، نزدیکی زیادی بین مقادیر پیش بینی شده‌ی ماهانه وجود دارد. نزدیک بودن مقادیر پیش بینی شده برای سال‌های آتی به یکدیگر، کاربرد مدل آریمای برای پیش بینی‌های بلندمدت را با شبهه مواجه می‌کند لذا جهت انجام پیش بینی درازمدت، بهنگام کردن سری ضروری به نظر می‌رسد (۲۱).

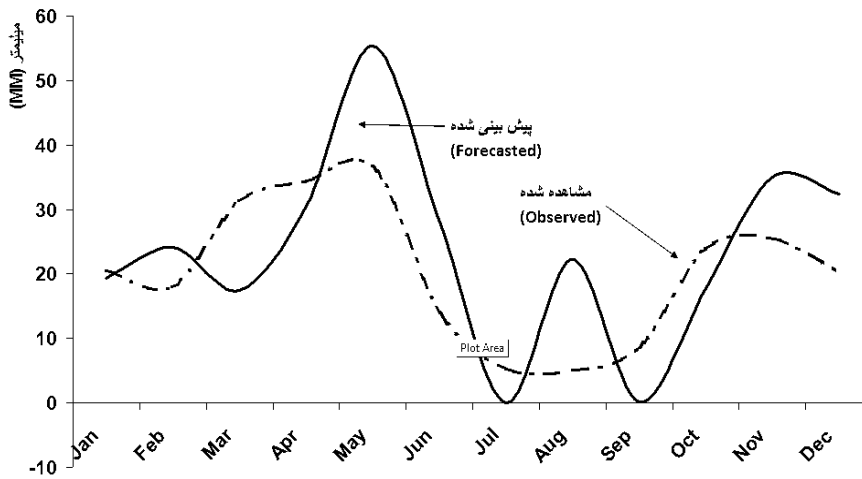
برای این منظور و نیز برای بررسی وجود یا عدم وجود تغییرات معنادار میانگین بارش ایستگاه سینوپتیک اردبیل، بارش این ایستگاه به دو دوره‌ی ۱۹۷۷ تا ۱۹۹۳ و ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۰ تقسیم و برای آزمون اختلاف بارش دو دوره‌ی فوق، از آماره‌ی t استفاده گردید که نتایج آن در جدول ۷ ارائه شده است.



شکل ۱۵- مقایسه مقادیر بارش مشاهده شده و پیش بینی شده در سال ۲۰۱۱ ایستگاه اردبیل
Figure 15- Comparison of the observed and predicted rainfall in 2011 in Ardabil station



شکل ۱۶- مقایسه مقادیر بارش مشاهده شده و پیش بینی شده در سال ۲۰۱۲ ایستگاه اردبیل
Figure 16- Comparison of the observed and predicted rainfall in 2012 in Ardabil station



شکل ۱۷- مقایسه مقادیر بارش مشاهده شده و پیش‌بینی شده در سال ۲۰۱۳ ایستگاه اردبیل
Figure 17- Comparison of the observed and predicted rainfall in 2013 in Ardabil station

جدول ۷- نتایج آزمون t برای آزمون اختلاف بارش در دو دوره‌ی ۱۹۷۷ تا ۱۹۹۳ و ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۰ ایستگاه اردبیل
Table 7- The results of t-test to test for the difference in precipitation in the period 1977 to 1993 and 1994 to 2010 in Ardabil station

آزمون لون برای برابری واریانس‌ها Levene's Test for Equality of Variances				آزمون t برای برابری میانگین‌ها t-test for Equality of Means				فاصله اطمینان ۹۵ درصد اختلافها 95% Confidence Interval of the Difference	
آماره فیشر (F)	سطح معنی‌داری (sig)	آماره‌ی t	درجه آزادی (DF)	سطح معنی داری (sig)	اختلاف میانگین Mean Difference	خطای استاندارد اختلاف Std. Error Difference			
فرض برابری واریانس‌ها Equal variances assumed	2.004	0.158	1.755	406	0.080	4.124	2.3497	-0.4946	8.7436
فرض نابرابری واریانس‌ها Equal variances not assumed			1.755	397.98	0.080	4.124	2.3497	-0.4949	8.7439

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی اتورگرسیو مرتبه‌ی ۲، وینترز و آریما، بارش‌های ماهانه‌ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل به عنوان نماینده‌ی شهرستان اردبیل برای یک دوره‌ی ۳۱ ساله (۲۰۰۷-۱۹۷۷) مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. از مزایای این پژوهش نسبت به کارهای دیگران می‌توان گفت که در اغلب پژوهش‌های انجام شده در خصوص مدل‌سازی و پیش‌بینی رفتار عناصر اقلیمی بارش و دما، از یک یا نهایتاً دو مدل بهره گرفته شده است ولی در این پژوهش، برای مدل‌سازی و پیش‌بینی مقادیر ماهانه‌ی عنصر بارش، از سه مدل مذکور استفاده شده است که این کار، امکان مقایسه‌ی نتایج حاصل از مدل‌های منتخب و گزینش مدل بهینه را فراهم می‌آورد. نتایج حاصل از تحلیل و مدل‌سازی مجموع بارش ایستگاه اردبیل با استفاده از سه مدل آریما، اتورگرسیو و وینترز

بر اساس محاسبات انجام گرفته، مقادیر میانگین و انحراف معیار بارش‌های ماهانه‌ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل در دوره‌ی آماری سال‌های ۱۹۷۷ تا ۱۹۹۳ به ترتیب برابر با ۲۶/۱۱ و ۲۵/۳۵ و در دوره‌ی آماری سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۰ به ترتیب برابر با ۲۱/۹۹ و ۲۱/۹۸ می‌باشد. نتایج آزمون t نشان داد که فرض برابری واریانس‌های دو دوره رد نمی‌شود. بر مبنای آماره‌ی t جدول (۱/۷۵۵) و سطح معنی‌داری مربوطه (۰/۰۸۰)، دلیلی برای رد فرض صفر (برابری میانگین بارش‌های دو دوره) وجود ندارد لذا اختلاف شهودی مقادیر متوسط بارش ایستگاه سینوپتیک اردبیل در دو دوره‌ی فوق، از نظر آماری و در سطح خطای ۵ درصد، معنی‌دار نیست بنابراین در سطح اطمینان ۹۵ درصد، میانگین بارش دوره‌ی دوم ایستگاه سینوپتیک اردبیل را می‌توان با میانگین بارش دوره‌ی اول آن ایستگاه تقریباً برابر فرض نمود.

سال‌های آتی هستند همسویی دارد. در عین حال، نتیجه‌ی این پژوهش با نتایج پژوهش ارسطو (۲) در وجود کاهش بطنی در بارش-های ماهانه‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه‌ی خود همخوانی دارد ولی در معرفی یک مدل مشخص آریما به عنوان مدلی مناسب برای پیش‌بینی مقادیر بارش‌های تمامی ماه‌های سال انطباق ندارد. نتیجه‌ی این پژوهش همچنین در آشکارسازی عدم وجود روند مشخص در آماره-های بارش‌های ماهانه و سالانه با نتیجه‌ی پژوهش اسدی و حیدری (۳) منطبق است. مدل به دست آمده در این پژوهش از نظر انتخاب مدل آریمای فصلی به عنوان مدل مناسب برای پیش‌بینی مقادیر بارش‌های ماهانه با نتایج پژوهش‌های حاجی بیگلو و همکاران (۱۰)، زاهدی و همکاران (۲۵)، کاشیک و سینگ (۱۳) و عبدالعزیز و همکاران (۱) همسویی دارد. با وجود عدم مشاهده روند در داده‌ها، به استناد به تفاوت هرچند اندک بارش‌های دو دوره، امکان رخداد بیلان منفی آبی در این شهرستان وجود دارد و ضروریست از هم اکنون، تمهیدات و برنامه‌ریزی‌های لازم برای تأمین آب مورد نیاز منطقه در نظر گرفته شود. در مقایسه‌ی مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی مشاهده شد که برآزش داده‌های واقعی با داده‌های پیش‌بینی شده در حد مطلوبی است لکن تفاوت‌های مشاهده شده با تأثیرپذیری بارش‌های ایستگاه مورد مطالعه از عوامل محلی و دینامیکی حاکم بر منطقه در ارتباط است از همین رو پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی، از سایر مدل‌های آماری، توابع انتقال، منطق فازی و نیز ریزگردان‌های آماری - دینامیکی که حاوی داده‌های لایه‌بندی شده‌ی مدل‌های گردش عمومی جو تحت سناریوهای واقع‌بینانه‌ی مختلف آب و هوایی هستند استفاده شود.

نشان داد که از بین سه مدل فوق، مدل آریما با داشتن پایین‌ترین MAPE و بالاترین R^2 ، بهتر از دو مدل دیگر می‌باشد. به منظور انتخاب مدل مناسب از میان مدل‌های مختلف، مقادیر RMSE, AIC و MAD الگوهای مختلف محاسبه گردید و نهایتاً الگوی $SARIMA(1,1,1)(2,0,1)_{12}$ با داشتن کمترین مقدار RMSE, AIC و MAD، به عنوان الگوی مناسب جهت پیش‌بینی بارش ماهانه‌ی ایستگاه اردبیل انتخاب شد. بررسی وجود یا عدم وجود تغییرات معنادار میانگین بارش ایستگاه اردبیل در دو دوره‌ی زمانی ۱۹۷۷ تا ۱۹۹۳ و ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۰ نشان داد که اختلاف متوسط بارش ایستگاه اردبیل در دو دوره از نظر آماری، در سطح خطای ۵ درصد معنی‌دار نیست. مقایسه‌ی میانگین بارش‌های ماهانه‌ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل در دوره‌ی آماری سال‌های ۲۰۱۰ - ۱۹۹۴ نسبت به دوره‌ی آماری سال‌های ۱۹۹۳ - ۱۹۷۷ نشان می‌دهد که میزان بارندگی در سال‌های اخیر، نسبت به گذشته‌ی نه چندان دور، تا حدودی کاهش داشته است. با عنایت به کم بودن میانگین بارش‌های ماهانه‌ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل در دوره‌ی آماری سال‌های ۲۰۱۰ - ۱۹۹۴ نسبت به دوره‌ی آماری سال‌های ۱۹۹۳ - ۱۹۷۷ (۲۱/۹۸) در مقابل (۲۶/۱۱ میلیمتر)، علیرغم معنی‌دار نبودن اختلاف متوسط بارش ایستگاه اردبیل در دو دوره آماری در سطح خطای ۵ درصد، کاهش بارش این ایستگاه در سال‌های آینده دور از انتظار نخواهد بود. نتایج این پژوهش با نتایج کارهای روشنی (۲۰)، ساری صراف و جامعی (۲۱)، تیرگر فاخری (۲۴) فیروزی و همکاران (۸)، سوهارتونو و همکاران (۲۳) و سریدهار و همکاران (۲۲) که معتقد به وجود کاهش اندک در مقادیر بارش‌های ماهانه‌ی مناطق مورد مطالعه‌ی خویش در

منابع

- 1- Abdul-Aziz A.R., Anokye M., Kwame A., Munyai A, L. 2013. Modeling and forecasting rainfall pattern in Ghana as a seasonal ARIMA process: the case of Ashanti region. *International Journal of Humanities and Social Science*, 3: 224-233.
- 2- Arastu B. 2000. Evaluate and prediction the climatic drought using time series analysis, case study (selected stations in Semnan province). P. 1-10. The first national conference examining ways of coping with water scarcity and droughts. Kerman University, Kerman. (In Persian)
- 3- Asadi A., Heydari A. 2011. Analysis of changes in temperature and precipitation series of Shiraz during the period 1951-2005. *Journal of Geography and Environmental Planning*, 41: 137-152. (In Persian with English abstract)
- 4- Azar A., Momeni M. 2005. *Statistics and Its Application in Management*. Samt Press.
- 5- Babazadeh H., Shams-nia S.A., Boustani F., Nourouzi-Aghdam E., Khodadady-Dehkordy D. 2012. The study of drought, wet climate and predict rainfall and temperature parameters of Shiraz region using stochastic methods, *Journal of Geography and Planning* (Department of Environmental Sciences and Architecture). 41: 23-47. (In Persian with English abstract)
- 6- Esmaeilian M. 2006. *Comprehensive Guide to SPSS 14*. Cultural and Artistic Institute of Dibagaran, Second Edition, Tehran.
- 7- Farshadfar E. 2002. *Principles and statistical methods*, Tagheboostan Press, First Edition, Kermanshah.
- 8- Firuzi F., Negaresh H., Khosravi M. 2012. Modeling, forecasting and trend of precipitation in selected stations in the Fars province. *Journal of Regional Planning*, 7: 77-91.
- 9- Gong Sh., Gao Y., Shi H., Zhao G. 2013. A practical MGA-ARIMA model for forecasting real-time dynamic rain-induced attenuation. *Radio Science*, 48: 208-225.

- 10- Haji-Baiglu M., Ghezel-Sufllu A., Alimirzaei H. 2013. Evaluate and predict the average monthly precipitation using SARIMA technique (case study: meteorological stations of Bojnoord Baba Aman). *Science and Irrigation Engineering (Journal of Agriculture)*, 3: 41-54. (In Persian with English abstract)
- 11- Han P., Wang P., Tian M., Zhang Sh., Liu J., Zhu D. 2013. Application of the ARIMA models in drought forecasting using the standardized precipitation index, *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 392: 352-358.
- 12- Jahanbakhsh-Asl S., Sary-Sarraf B., Fakheri-Fard A., Mir-Mousavi S. 2006. Linear transfer function model parameters used in the study of climate parameters, case study: Tabriz Station. *Journal of Isfahan University*, 20: 75-92. (In Persian with English abstract)
- 13- Kaushik I., Singh S.M. 2008. Seasonal ARIMA model for forecasting of monthly rainfall and temperature. *Journal of Environmental Research and Development*, 2: 506-514.
- 14- Khorshiddust A., Ghavidel-Rahimi Y. 2004. Study of precipitation fluctuation, predict and determine the wet and dry seasons of winter in Azarbayjan-Sharghy province. *Journal of Geographical Research*, 19: 25-36. (In Persian with English abstract)
- 15- Mahalakshmi N., Umarani P.R., Samuel Selvaraj R. 2014. Forecasting the Tamil Nadu rainfall using hybrid ARIMA-ANN model. *International Journal of Recent Scientific Research*, 5: 566-569.
- 16- Mahsin M.d., Yesmin Y., Begum M. 2012. Modeling rainfall in Dhaka division of bangladesh using time series analysis. *Journal of Mathematical Modeling and Application*, 5: 67-73.
- 17- Meher J., Jha R. 2013. Time-series analysis of monthly rainfall data for the Mahanadi River Basin, India. *Sciences in Cold and Arid Regions*, 5: 0073-0084.
- 18- Narayanan P., Basistha A., Sarkar S., Kamna S. 2013. Trend analysis and ARIMA modelling of pre-monsoon rainfall data for western India. *Comptes Rendus Geoscience*, 345:22-27.
- 19- Radmanesh F., Akhundali A., Gholabi M. 2011. Investigation and forecast of meteorological drought in Abadan station using time series. *The First National Conference on Meteorology and Water Management Agriculture, Tehran, Tehran University, Department of Irrigation Engineering.* (In Persian)
- 20- Roushani R. 2011. Analyze and predict of changes in the Nissan rainfall of Tabriz using Man-Kendall statistics and ARIMA model. *National Conference on Climate Change and its Impact on Agriculture and the Environment.* (In Persian)
- 21- Sary-Sarraf B., Jameei J. 2003. Analysis and assessment of drought in the West of Iran, *Journal of Geographical Research*, 71: 151-173. (In Persian with English abstract)
- 22- Sridhar M., Padma Raj K., Srinivasa Rao, Ch., Venkata Ratnam D. 2013. Prediction and analysis of rain attenuation using ARIMA model at low latitude tropical station. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 2: 3071-3076.
- 23- Suhartono S., Faulina R., Lusia D.A., Otok B.W. 2012. Ensemble method based on ANFIS-ARIMA for rainfall prediction. *Statistics in Science, Business, and Engineering (ICSSBE)*, 2012 International Conference, Langkawi.
- 24- Tirgar-Fakheri F. 2012. Analysis and forecasting of the annual rainfall of Kermanshah synoptic station using the Mann-Kendall and ARIMA models. *The First National Conference on Strategies for Achieving Sustainable Development, Tehran.* (In Persian)
- 25- Zahedi M., Sary-Sarraf B., Jameei J. 2003. Modeling of rainfall in Urmia and Tabriz stations. *Journal of Geography and Regional Development*, 7: 1-16. (In Persian with English abstract)
- 26- Zakaria S., Al-Ansari N., Knutsson S., Al-Badrany T. 2012. ARIMA models for weekly rainfall in the semi-arid Sinjar District at Iraq. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 2: 25-55.

Forecasting and Analysis of Monthly Rainfalls in Ardabil Province by Arima, Autoregressive, and Winters Models

B. Salahi^{1*} - R. Maleki Meresht²

Received: 08-04-2014

Accepted: 03-05-2015

Introduction: Rainfall has the highest variability at time and place scale. Rainfall fluctuation in different geographical areas reveals the necessity of investigating this climate element and suitable models to forecast the rate of precipitation for regional planning. Ardabil province has always faced rainfall fluctuations and shortage of water supply. Precipitation is one of the most important features of the environment. The amount of precipitation over time and in different places is subject to large fluctuations which may be periodical. Studies show that, due to the certain complexities of rainfall, the models which used to predict future values will also need greater accuracy and less error. Among the forecasting models, Arima has more applications and it has replaced with other models.

Materials and Methods: In this research, through order 2 Autoregressive, Winters, and Arima models, monthly rainfalls of Ardabil synoptic station (representing Ardabil province) for a 31-year period (1977-2007) were investigated. To assess the presence or absence of significant changes in mean precipitation of Ardabil synoptic station, rainfall of this station was divided into two periods: 1977-1993 and 1994-2010. T-test was used to statistically examine the difference between the two periods. After adjusting the data, descriptive statistics were applied. In order to model the total monthly precipitation of Ardabil synoptic station, Winters, Autoregressive, and Arima models were used. Among different models, the best options were chosen to predict the time series including the mean absolute deviation (MAD), the mean squared errors (MSE), root mean square errors (RMSE) and mean absolute percentage errors (MAPE). In order to select the best model among the available options under investigation, the predicted value of the deviation of the actual value was utilized for the months of 2006-2010.

Results and Discussion: Statistical characteristics of the total monthly precipitation in Ardabil synoptic station indicates that in May, the highest and in August, the lowest monthly total rainfall accounted in this station. Standard deviation of rainfall reached to the lowest level in August and its peak in November. Coefficients of skewness and kurtosis of total rainfall in all seasons, indicates a lack of compliance with normal distribution. From the view of the range of total monthly rainfall, October and August have highest and the lowest tolerance in these parameters, respectively. The results showed that the percentage of the mean absolute error for Arima, Winters and Autoregressive models was 61.82, 148.39 and 81.54 respectively and its R square came to be 88.28, 61.07 and 85.12 respectively. The comparison of the parameters is an indication of the fact that Arima has the highest R square and the lowest mean absolute error of 88.28 and 61.82 respectively than Winters and Autoregressive models. The presence or absence of significant changes in mean precipitation during 1977-1993 and 2010-1994 in Ardabil synoptic station shows that the difference of rainfall is not significant at the 5% error level from statistical point of view. The comparison between the monthly mean rainfall of Ardabil synoptic station in 1994-2010 and 1977-1993 indicates that rainfall has somewhat decreased in the former in recent years. Considering the low average monthly rainfall of Ardabil synoptic station in 1994-2010 compared to 1977-1993 (21.98 versus 26.11 mm), although no statistically significant difference was found in the average rainfall, low rainfall in this station would not be unexpected in the coming years. The comparison of predicted and actual values from 2011 to 2013 in Ardabil synoptic station showed that fitting real data with expected data was relatively acceptable. The observed differences between the actual and predicted values can be related to the influence of rainfalls and many local and dynamical factors of this area. Therefore, it is necessary for climatologists to better explain and predict phenomena besides statistical models and pay more attention to general circulation models (GCM) under different climate conditions.

Conclusion: Results of rainfall investigation by order 2 Autoregressive, Winters, and Arima models showed a descending trend in monthly rainfalls in the coming years across the study location. The results of modeling and analysis of monthly rainfalls in Ardabil synoptic station showed that among these models, Arima was better than the other two because it enjoyed the lowest MAPE and the highest R². AIC, RMSE and MAD scales of

1, 2- Associate Professor and M.Sc Graduated of Climatology, Department of Physical Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Respectively

(* - Corresponding Author Email: bromand416@yahoo.com)

different patterns were calculated and finally, SARIMA(1,1,1)(2,0,1)₁₂ pattern having the lowest AIC, RMSE and MAD was selected as the most appropriate pattern for monthly rainfall forecasting in Ardabil synoptic station.

Keywords: Descriptive statistics, Modeling, Rainfall fluctuations, Statistical tests, Validation