



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر  
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال شانزدهم، شماره‌ی ۵۴  
تابستان ۱۳۹۵، صفحات ۱۹۴-۱۷۷

برومند صلاحی<sup>۱</sup>

## مدل سازی برخی شاخص‌های مؤثر اقلیمی ایستگاه سینوپتیک اردبیل به منظور مدیریت بحران‌های طبیعی

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۰۲

### چکیده

در این مقاله، تغییرات زمانی ۱۲ متغیر مؤثر اقلیمی ایستگاه سینوپتیک اردبیل طی سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵ با بهره‌گیری از مدل‌های خانواده‌ی آریماد مدل‌سازی شدند. بررسی نمودارهای دنباله‌ی سری هر یک از متغیرها، نوسانات بسیاری را در آن متغیرها نشان داد. به همین دلیل و برای ایستادن متغیرها برای مدل‌سازی، داده‌ها تفاضلی شدند. سپس آزمون کولموگروف اسمیرنوف برای باقی‌مانده‌های تفاضلی شده انجام شد. نتایج این آزمون برای همه متغیرها با اطمینان ۰/۹۵، فرض نرمال بودن باقی‌مانده‌های مدل را تأیید کردند. مدل‌سازی در سه مرحله و به شکل گام به گام برای برازش بهترین مدل برای هر یک از متغیرها صورت گرفت. نتایج مدل مرتبه‌ی ۲ اتورگرسیو و مدل مرکب (p, q)، به دلیل پایین بودن ضریب احتمال همگنی مورد تردید بود و به همین دلیل، مدل نهایی برازش اجرا گردید که علاوه بر اتورگرسیو و میانگین متحرک، از تفاضل هم بهره گرفته شد. نتایج حاصل برازش مدل نهایی با ضریب احتمال قابل قبولی در همه‌ی متغیرها همراه بود. در برخی از پارامترها مدل نهایی با هم شبیه بوده که نشانگر یک روند مشخص و هماهنگ در روند تغییرات این متغیرها می‌باشد. بعضی از متغیرها از جمله سرعت تندبادهای سالانه و درجه روز گرمایش، دارای روند نامشخص‌تر و با نوسان‌تری در طول دوره آماری بودند.

E-mail: bromand416@yahoo.com

۱- استادیار گروه جغرافیا و اقلیم دانشگاه محقق اردبیلی.

نتایج مدل نهایی نشان داد که متغیرهای روزهای گرد و غباری، روزهای با حداکثر درجه حرارت صفر و زیر صفر، روزهای با حداقل درجه حرارت صفر و زیر صفر، روزهای برفی یا تگرگ ریز و روزهای رگبارهای تندی از مدل (۲، ۲، ۲) برخوردار هستند و متغیرهای میانگین حداکثر درجه حرارت روزانه و بیش‌ترین بارش روزانه نیز از مدل (۳، ۴، ۲) تبعیت می‌کنند.

**کلید واژه‌ها:** ایستگاه سینوپتیک اردبیل، متغیرهای اقلیمی، مدل‌سازی، مدل آریمما.

#### مقدمه

بلاایای طبیعی در طول زندگی انسان به فراوانی رخ داده‌اند. هر ساله هزاران نفر قربانی بلاایای طبیعی می‌شوند. تنها مناطق معدودی در جهان از خطراتی که به فاجعه منجر می‌شوند، مصون هستند. متأسفانه کشورهای در حال توسعه، بیش از همه از اثر بلاهای طبیعی رنج می‌برند. اگر چه نمی‌توان از وقوع آن‌ها جلوگیری کرد ولی می‌توان آثار و عواقب فاجعه‌آمیز آن‌ها را به کمک برنامه‌ریزی‌های قبلی و آمادگی برای انجام اقدامات اضطراری کاهش داد. امروزه انسان با بهره‌گیری از فن‌آوری‌های موجود و نیز با شناخت بیشتر از محیط اطراف خود توانسته است از ابعاد روزافزون خسارات ناشی از بلاایای طبیعی و جوی مانند طوفان، سیل، یخبندان، آتش‌سوزی جنگل‌ها و خشکسالی بکاهد. این روند البته به دلایل مختلف و از جمله عدم آگاهی از زمان وقوع آن‌ها با توقف‌هایی نیز رو به رو بوده است. تغییرات شاخص‌های اقلیمی و رفتارهای خطرناک آن‌ها در هر ناحیه‌ی جغرافیایی می‌تواند منجر به وقوع برخی بحران‌های طبیعی در آن ناحیه گردد. بحران‌های محیطی همواره خسارات زیادی را بر جوامع انسانی بر جای می‌گذارند. بحران‌های طبیعی، با تغییرات و رفتارهای عناصر جوی ارتباط دارند. با مدل‌سازی و پیش‌بینی عناصر اقلیمی مؤثر در بروز بحران‌های اقلیمی، گام مهمی در مدیریت بحران‌های طبیعی برداشته خواهد شد.

امروزه در فرآیند مدل‌سازی، مدل‌های ساده‌ی رگرسیونی جای خود را به مدل‌های ترکیبی داده‌اند. در زمینه‌ی مدل‌سازی عناصر اقلیمی، پژوهشگران بسیاری به پژوهش پرداخته‌اند که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به کارهای نیکلاس و لوردی<sup>۲</sup> (۱۹۹۲: ۱۵۳) در مدل‌سازی بارندگی تابستانه‌ی استرالیای شرقی، یو و نایل<sup>۳</sup> (۱۹۹۳: ۷۷) در بررسی تغییرات بارندگی جنوب غرب استرالیا، بوتسما<sup>۴</sup> (۱۹۹۴: ۳۱۰)، در مطالعه‌ی روندهای صد ساله‌ی پارامترهای اقلیمی

2- Nicholls & Lavery

3- Yu & Neil

4- Bootsma

کانادا، موهان و ویدال<sup>۵</sup> (۱۹۹۵: ۱۱۵)، در پیش‌بینی دبی‌های ماهانه‌ی رودخانه‌ی بهاردا<sup>۶</sup> در جنوب هندوستان، کریپالانی<sup>۷</sup> و همکاران (۱۹۹۶: ۶۸۹)، در تحلیل تغییرات مکانی بارندگی بنگلادش و نپال، لیت<sup>۸</sup> (۱۹۹۶: ۱۱۶۵) در تحلیل دما و بارش کشور پرتغال، ارکولی و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۰۱: ۶۶) در مدل‌سازی روند بلندمدت بارش‌های روزانه و دما در پیزای<sup>۱۰</sup> ایتالیا، وساکول و لوانیچای<sup>۱۱</sup> (۲۰۰۵: ۱۸) در بررسی بارش‌های سالانه‌ی ایستگاه‌های هواشناسی تایلند اشاره کرد. سوموانشی<sup>۱۲</sup> و همکاران (۲۰۰۶: ۱۴۱)، کاستانیدا و گونزالس<sup>۱۳</sup> (۲۰۰۸: ۳۰۳)، اوتوک و سوهارتونو<sup>۱۴</sup> (۲۰۰۹: ۳۸۶)، نایل و مومانی<sup>۱۵</sup> (۲۰۰۹: ۵۹۹) و دوردو<sup>۱۶</sup> (۲۰۱۰: ۳۰۳) نیز در مطالعات خود از مدل‌های خانواده‌ی آریمای بهره جستند.

در ایران نیز خورشیددوست و قویدل رحیمی (۱۳۸۳: ۲۵) در بررسی نوسانات بارش استان آذربایجان شرقی، اشگر-طوسی و همکاران (۱۳۸۴: ۴۱) در تحلیل بارندگی فصلی ایستگاه‌های استان خراسان، جهانبخش و همکاران (۱۳۸۵: ۷۵) در مطالعه‌ی روند نوسانات اقلیمی ایستگاه سینوپتیک تبریز و ویسی‌پور و همکاران (۱۳۸۹: ۶۵) در پیش‌بینی و تحلیل روندهای بارش شهرستان کرمانشاه، حاجی بیگلو و همکاران (۱۳۹۲: ۴۱) در پیش‌بینی متوسط بارندگی ماهانه ایستگاه باران سنجی بابا امان بجنورد و بسیاری از محققان دیگر که در اینجا مجال طرح آن‌ها وجود ندارد از انواع مدل‌های سری آریمای استفاده کردند.

نتایج حاصل از بررسی پژوهش‌های انجام شده، نشان می‌دهد که روش‌های آماری همچون سری‌های زمانی می‌توانند در پیش‌بینی روند شاخص‌های اقلیمی در آینده کارایی بهتری داشته باشند. شهرستان اردبیل همیشه با بحران‌های طبیعی به‌ویژه بحران‌های اقلیمی مواجه بوده است که با مدل‌سازی شاخص‌های مؤثر اقلیمی منجر به بحران‌های طبیعی در این شهرستان می‌توان برخی تدابیر مدیریتی را به منظور کاهش یا حذف اثرات سوء این بلاهای طبیعی انجام داد.

5- Mohan & Vedral

6- Baharda

7- Kripalanil

8- Liet

9- Ercoli et al

10- Pisa

11- Weesakul & Lowanichchai

12- Somvanshi

13- Castaned and Gonzalez

14- Otok & Suhartono

15- Naill & Momani

16- Durdu

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش، داده‌های برخی شاخص‌های اقلیمی ایستگاه سینوپتیک اردبیل شامل میانگین حداکثر درجه حرارت روزانه، میانگین حداقل درجه حرارت روزانه، سرعت تند بادهای سالانه، بیش‌ترین بارش روزانه، درجه روز گرمایش، روزهای گرد و غباری، روزهای با حداکثر درجه حرارت صفر و زیر صفر، روزهای با حداقل درجه حرارت صفر و زیر صفر، روزهای برفی یا با تگرگ ریز، روزهای رگباری تندری و روزهای با دید افقی ۲ کیلومتر و کم‌تر در مقیاس سالانه طی دوره‌ی مطالعاتی ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵ با بهره‌گیری از مدل‌های وینترز، اتورگرسو و آریما مدل‌سازی شدند. مدل وینترز، به پیش‌بینی مقادیر در سری‌هایی که تغییرات فصلی و روند دارند، می‌پردازد. در صورتی که هر مشاهده‌ی سری زمانی، وابستگی خطی به یک یا چند مشاهده‌ی قبلی داشته باشد، مدل اتورگرسو (AR) ایجاد می‌شود. مدل اتورگرسو مرتبه‌ی ۲ به صورت زیر ساخته می‌شود (اسماعیلیان، ۱۳۸۵: ۳۰۵):

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

این رابطه، مشابه رگرسیون خطی دوگانه است با این تفاوت که در این‌جا، رگرسیون بین متغیر تابع و متغیرهای مستقل انجام نگرفته بلکه بین مشاهدات متغیر  $X$  انجام گرفته است. مدلی که یک سری زمانی را از ترکیب یک یا چند سری زمانی دیگر به دست می‌آورد، مدل آریما است. چنانچه بتوان مدل اتورگرسو مرتبه‌ی  $P$  را با مدل میانگین متحرک مرتبه‌ی  $q$  ترکیب نمود مدل ARIMA با مرتبه‌ی  $(p, q)$  ایجاد می‌شود که مدل مرکبی به شمار می‌رود (فرشادفر، ۱۳۸۱: ۳۶۴). ساختار کلی مدل به صورت زیر است (فرشادفر، ۱۳۸۱: ۳۶۴):

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 y_{t-1} + \beta_2 y_{t-2} + \dots + \beta_p y_{t-p} - \theta_1 e_{t-1} - \theta_2 e_{t-2} - \dots - \theta_q e_{t-q} + e_t$$

در این رابطه،  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$  پارامترهای مدل و  $e_t$ ، مقدار مؤلفه‌ی اشتباه تصادفی برای دوره‌ی  $t$ ام است ( $e_t = y_t - \hat{y}_t$ ). برای مدل‌سازی داده‌ها، ابتدا دنباله سری داده‌ها ترسیم شدند. نمودارهای دنباله سری‌ها تغییرات هر یک از متغیرها را طی دوره مطالعاتی با در نظر گرفتن خط میانگین نمایش می‌دهد که برای بیان بصری تغییرات متغیر در گذشته استفاده می‌گردد. با توجه به نایب بودن داده‌ها، برای اجرای مدل‌سازی، از روش تفاضلی کردن سری استفاده شد و نمودار تفاضلی هر یک از متغیرها رسم شد. برای بررسی معناداری باقی‌مانده‌ها، از آزمون کولموگروف اسمیرنوف استفاده گردید. این آزمون، نرمال بودن باقی‌مانده‌ها را پس از تفاضل‌گیری نشان می‌دهد. اگر

مقدار احتمال sig آزمون از ۰/۰۵ بزرگ‌تر باشد می‌توان با اطمینان ۰/۹۵ فرض نرمال بودن باقی‌مانده‌های مدل را تأیید نمود.

در ادامه، نمودارهای خود همبستگی نمونه (ACF) و جزئی (PACF) متغیرها رسم شدند. اگر در نمودارهای خود همبستگی نمونه، بعد از مرحله اتورگرسیون، تأخیرهایی خارج از محدوده اطمینان وجود داشتند، تعداد تأخیرها به عنوان میانگین متحرک و اگر در نمودارهای خود همبستگی جزئی، بعد از اجرای مدل مرتبه دو اتورگرسیون، تأخیرهایی خارج از محدوده اطمینان دیده شوند، تعداد تأخیرها به مرتبه دو اتورگرسیون اضافه شدند. در مرحله اجرای مدل مرکب که تلفیقی از اتورگرسیون و میانگین متحرک است تأخیرها لحاظ شدند. در صورتی که پس از مرحله اجرای مدل مرکب، تأخیرهایی در نمودارهای خود همبستگی نمونه و جزئی مشاهده شدند، تعداد تأخیرها در هر دو نمونه به عنوان تفاضل در نظر گرفته شدند و در مرحله مدل نهایی که ترکیبی از اتورگرسیون، میانگین متحرک و تفاضل می‌باشد لحاظ شدند. به علت وجود تأخیر در نمودارهای خود همبستگی نمونه و جزئی مشاهده شدند، تعداد تأخیرها در (p,q) و مدل نهایی که از ترکیب اتورگرسیون، تفاضل‌گیری و میانگین متحرک برآزش داده می‌شود، استفاده گردید. برای برخی متغیرها با توجه به عدم تأخیر در نمودارهای خود همبستگی نمونه و جزئی، تنها مدل مرتبه دو اتورگرسیون اجرا گردید. در مدل‌های مرکب و نهایی برای هر یک از متغیرها نمودارهای خود همبستگی نمونه و جزئی و همچنین نمودار دنباله سری بر اساس مدل‌های اجرا شده ترسیم گردید. این نمودارها حاصل داده‌های مدل‌سازی شده در هر مرحله برای هر متغیر می‌باشد و نشان می‌دهند که با اعمال تغییرات روی متغیر و حذف جملات غیر معنی‌دار، متغیر مورد بررسی چه روندی را در گذشته طی نموده است. در پایان نیز نمودار همگنی بین باقی‌مانده‌ها و داده‌های مدل‌سازی شده ترسیم شدند. بر اساس این نمودارها اگر پراکنش باقی‌مانده‌ها و داده‌های مدل‌سازی شده حول صفر باشند و ساختار غیر عادی در آن‌ها مشاهده نگردد همگنی واریانس‌ها در مدل تأیید شده و استقلال مانده‌ها اثبات می‌شود. در انتخاب بهترین مدل از بین مدل‌های مختلف برای پیش‌بینی سری زمانی، 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 مختلفی برای این صحت‌سنجی وجود دارد که در این پژوهش، از شاخص‌های ضریب تعیین ( $R^2$ )، میانگین قدرمطلق خطاها، میانگین قدر مطلق درصد خطاها و ریشه‌ی میانگین مربع خطا استفاده شده است (آذر و مومنی، ۱۳۸۴: ۳۲۸ و ۳۲۹):

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_t - \hat{X}_t| \quad \text{الف: میانگین قدر مطلق خطاها (MAD)}$$

ب: ریشه‌ی میانگین مجذور خطا (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_T)^2}$$

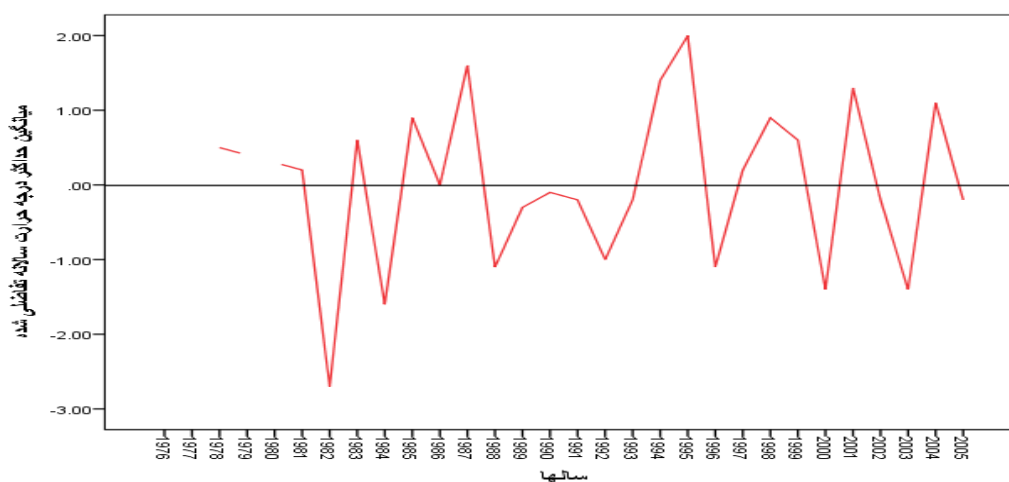
ج: میانگین قدر مطلق درصد خطاها (MAPE)

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t} \right| \times 100$$

در واقع این ضرایب نشان می‌دهند که مدل مورد استفاده تا چه اندازه خطاها و تأخیرهای حاصل از جملات غیر معنی‌دار متغیر را حذف نموده است.

### یافته‌ها و بحث

برای مدل‌سازی داده‌ها، پس از رسم دنباله‌ی سری‌ها و با در نظر گرفتن نایستایی داده‌ها، از روش تفاضلی کردن سری استفاده شد (شکل ۱).



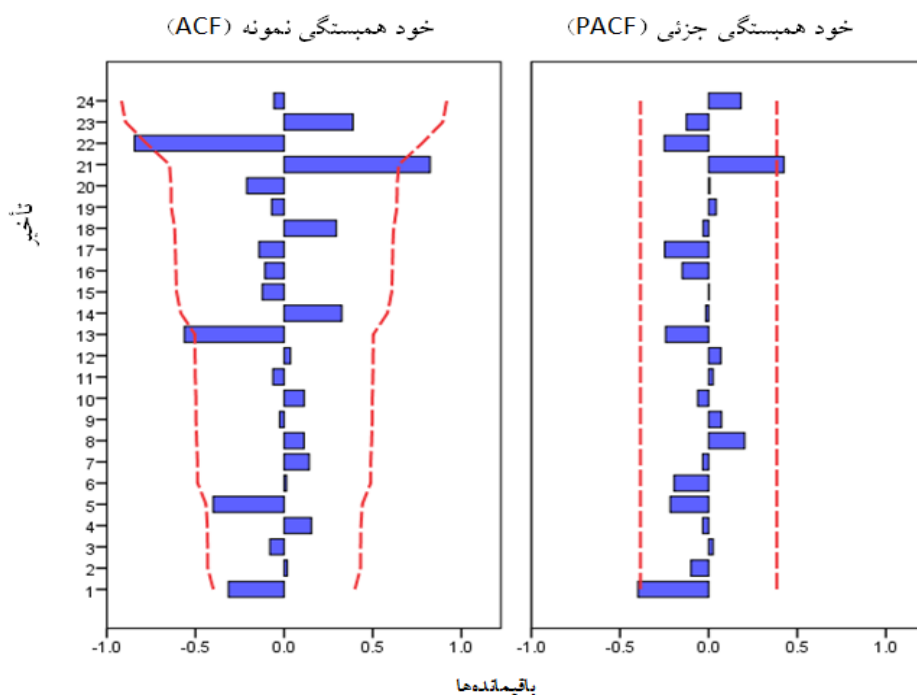
شکل ۱: دنباله‌ی سری میانگین حداکثر درجه حرارت روزانه بر اساس تفاضلی شدن متغیر

آزمون کولموگروف اسمیرنف برای بررسی معناداری باقی‌مانده‌های هر یک از متغیرهای مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به (جدول ۱) که نتایج آزمون کولموگروف اسمیرنف را نشان می‌دهد، در همه‌ی متغیرها بعد از تفاضلی شدن، مقدار احتمال مربوط به آزمون از ۰/۰۵ بزرگ‌تر بوده بنابراین با اطمینان ۰/۹۵، فرض نرمال بودن باقی‌مانده‌های مدل (خطاها) رد نمی‌شود. بنابر نتایج تفاضلی شدن و آزمون کولموگروف اسمیرنف، می‌توان در این مرحله، مدل‌سازی را انجام داد. برای انجام مدل‌سازی از یک پروسه‌ی چند مرحله‌ای برای برازش بهترین مدل برای

هر یک از متغیرها استفاده گردید که با توجه به تعدد متغیرها و محدود بودن صفحات مقاله، تنها نمودارهای یکی از متغیرها (میانگین حداکثر درجه حرارت روزانه) به عنوان نمونه به نمایش در آمده و از ارائه‌ی سایر نمودارها خودداری شده است.

فرآیند برگشت‌پذیری (خود همبستگی) که در واقع به مدل مرتبه‌ی ۲ اتورگرسیو معروف بوده و جزو مدل‌های خانواده‌ی آریمای محسوب می‌شود یک مدل  $ARIMA(2, 0, 0)$  است و تنها مقدار  $P$  را در سری‌های زمانی تخمین می‌زند. در این پژوهش برای تمامی متغیرهای مورد مطالعه این مدل اجرا گردید و نتایج در قالب (جدول ۲ و ۳) که به ترتیب ضرایب خطاها (کم‌ترین مقادیر ریشه‌ی میانگین مربع خطا، میانگین قدر مطلق درصد خطا، میانگین قدر مطلق خطا و بیش‌ترین مقدار ضریب تعیین) و ضرایب مدل را نشان می‌دهند ارائه شده است. بر اساس شاخص‌های خطا در این فرآیند، همه‌ی متغیرها از ضریب پایین‌تر از ضریب اطمینان برخوردار بوده بنابراین مدل مرتبه‌ی دو اتورگرسیو نمی‌تواند مدل مناسبی برای متغیرهای مورد مطالعه فرض شود.

شکل (۲)، نمودارهای خود همبستگی نمونه (ACF) و خود همبستگی جزئی (PACF) براساس فرآیند برگشت‌پذیری را نشان می‌دهند.



شکل ۲: خود همبستگی نمونه (ACF) و خود همبستگی جزئی (PACF) متغیر میانگین حداکثر درجه حرارت روزانه بر اساس فرآیند

برگشت‌پذیری

جدول ۱- نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف

سطح معنی داری	آماره کولموگروف-اسمیرنوف	
۰/۷۸	۰/۶۵	میانگین حداکثر درجه حرارت روزانه
۰/۳۱	۰/۹۶	میانگین حداقل درجه حرارت روزانه
۰/۴۱	۰/۸۸	سرعت تند بادهای سالانه
۰/۵۸	۰/۷۷	بیش‌ترین بارش روزانه
۰/۹۳	۰/۵۴	درجه روز گرمایش
۰/۷۱	۰/۶۹	روزهای گرد و غباری
۱	۰/۳۳	روزهای با حداکثر درجه حرارت صفر و زیر صفر
۰/۹۵	۰/۵۱	روزهای با حداقل درجه حرارت صفر و زیر صفر
۰/۹۶	۰/۴۹	روزهای برفی با تگرگ ریز
۰/۹۲	۰/۵۵	روزهای رگبارهای تندری
۰/۵۳	۰/۸۰	روزهای با دید ۲ کیلومتر و کم‌تر

جدول ۲- ضرایب خطاها براساس فرآیند برگشت‌پذیری

شاخص‌های خطا	ضریب تعیین	میانگین قدر مطلق خطاها	میانگین قدر مطلق درصد خطاها	ریشه‌ی میانگین مربع خطا
میانگین حداکثر درجه حرارت روزانه	۰/۰۸۹	۰/۷۹	۹۷/۳۶	۱/۱۱
میانگین حداقل درجه حرارت روزانه	۰/۰۲۸	۰/۶۳۱	۱۰۲/۲۴	۰/۸۶۳
سرعت تند بادهای سالانه	۰/۲۲۶	۷/۸۸	۸۹/۲۸	۱۰/۶۳
بیش‌ترین بارش روزانه	۰/۳۷۰	۹/۲۸	۱۰۶/۶۲	۱۴/۰۳
درجه روز گرمایش	۰/۰۶۴	۲۱۸/۸۷	۲۰۸/۰۳	۲۹۵/۶۶
روزهای گرد و غباری	۰/۱۴۳	۲/۰۶	۲۴۷/۴۴	۲/۷۴
روزهای با حداکثر درجه حرارت صفر و زیر صفر	۰/۲۰۹	۱۲/۷۵	۱۲۵/۸۷	۱۶/۷۹
روزهای با حداقل درجه حرارت صفر و زیر صفر	۰/۱۱۱	۱۱/۴۳	۱۰۷/۱۰	۱۴/۷۵
روزهای برفی با تگرگ ریز	۰/۲۸۶	۸/۶۲	۱۲۱/۵۸	۱۱/۳۴
روزهای رگبارهای تندری	۰/۱۵۶	۶/۱۹	۱۴۱/۷۸	۸/۱۱
روزهای با دید ۲ کیلومتر و کم‌تر	۰/۰۶۰	۱۹/۳۹	۱۳۹/۲۱	۳۱/۹۷



جدول ۳- ضرایب مدل مرتبه‌ی ۲ اتورگرسیو یا فرآیند برگشت‌پذیری

تأخیر ۲	تأخیر ۱	ثابت	ضرایب مدل
-۰/۰۸۳	-۰/۲۹۹	-۰/۰۱۵	میانگین حداکثر درجه حرارت روزانه
-۰/۰۲۶	-۰/۱۷۱	۰/۰۱۲	میانگین حداقل درجه حرارت روزانه
-۰/۳۹۸	-۰/۴۴۵	۱/۷۶۲	سرعت تند بادهای سالانه
-۰/۳۷۵	-۰/۷۱۹	-۰/۳۸۵	بیش‌ترین بارش روزانه
-۰/۱۴۶	-۰/۲۵۷	-۲/۵۲۰	درجه روز گرمایش
-۰/۱۵۵	-۰/۴۰۷	-۰/۰۶۲	روزهای گرد و غباری
-۰/۲۹۶	-۰/۵۵۹	-۰/۵۴۸	روزهای با حداکثر درجه حرارت صفر و زیر صفر
-۰/۱۴۵	-۰/۳۳۸	۰/۱۳۳	روزهای با حداقل درجه حرارت صفر و زیر صفر
-۰/۲۵۶	-۰/۵۹۵	۰/۲۱۲	روزهای برفی با تگرگ ریز
-۰/۲۴۹	-۰/۳۷۴	۰/۶۸۲	روزهای رگبارهای تندی
-۰/۱۹۲	-۰/۱۶۰	۲/۱۱۲	روزهای با دید ۲ کیلومتر و کم‌تر

جدول ۴- ضرایب خطاها بر اساس مدل ترکیبی اتورگرسیو و میانگین متحرک

شاخص‌های خطا	ضریب تعیین	میانگین قدرمطلق خطاها	میانگین قدرمطلق درصدهای خطاها	ریشه‌ی میانگین مربع خطا
میانگین حداکثر درجه حرارت روزانه	۰/۱۵۰	۰/۸۰۸	۱۲۴/۰۹	۱/۱۵
میانگین حداقل درجه حرارت روزانه	۰/۰۴۶	۰/۶۱۵	۹۸/۵۷	۰/۸۷۴
سرعت تند بادهای سالانه	۰/۴۱۶	۷/۰۳	۸۲/۲۷	۱۱/۰۴
بیشترین بارش روزانه	۰/۴۵۲	۸/۵۷	۱۲۸/۵۷	۱۴/۰۳
درجه روز گرمایش	۰/۱۲۹	۲۰۴/۵۰	۱۰۵/۳۶	۳۱۳/۷۵
روزهای گرد و غباری	۰/۲۵۸	۱/۸۵	۸۰/۶۷	۲/۶۶
روزهای با حداکثر درجه حرارت صفر و زیر صفر	۰/۲۷۴	۱۱/۹۹	۱۳۴/۹۱	۱۶/۸۳
روزهای با حداقل درجه حرارت صفر و زیر صفر	۰/۱۳۴	۱۱/۱۳	۱۱۰/۰۰	۱۵/۲۴
روزهای برفی با تگرگ ریز	۰/۳۶۷	۷/۸۰	۱۰۴/۹۳	۱۱/۱۸
روزهای رگبارهای تندی	۰/۳۰۲	۵/۷۸	۱۶۰/۸۰	۷/۷۲
روزهای با دید ۲ کیلومتر و کم‌تر	۰/۱۱۵	۱۹/۲۵	۱۹۶/۲۶	۳۲/۴۶

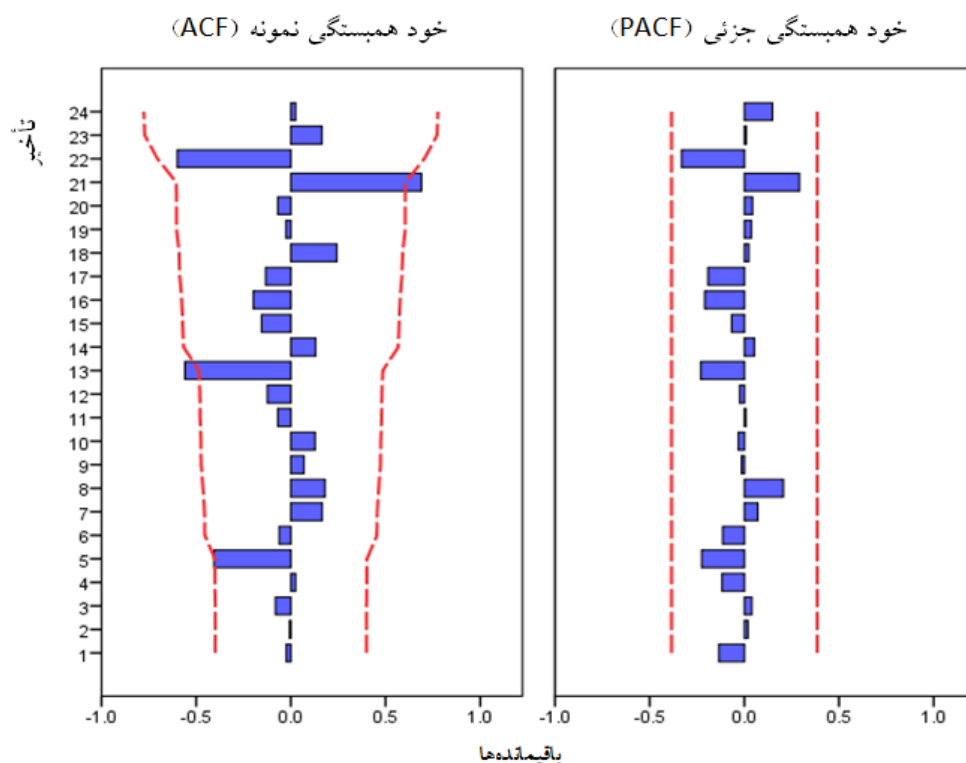
همچنین طبق (جدول ۳)، بر اساس ضرایب مدل در هر یک از متغیرها به صورت معادله‌ی پیش‌بینی بر اساس مدل‌های خانواده‌ی ARIMA به صورت زیر می‌توان مقادیر هر متغیر را برای سال‌های بعد پیش‌بینی نمود:

$$(X_t - X_{t-12}) = 0.0842 + (1 + 0.2854 B) (1 - 0.9209 B^{12}) Z_t \quad \text{رابطه (۱)}$$

جدول ۵- مدل و ضرایب مدل بر اساس مدل ترکیبی اتورگرسیو و میانگین متحرک

میانگین متحرک	اتورگرسیو	ثابت	مدل	ضرایب مدل
۰/۱۱۰ ۰/۸۹۰ -۰/۶۷۰	۰/۲۶۰ ۰/۶۶۴	۰/۰۲۵	(۲،۳)	میانگین حداکثر درجه حرارت روزانه
۰/۹۹۸	۰/۷۷۸ ۰/۱۰۴	۰/۰۱۲	(۲،۱)	میانگین حداقل درجه حرارت روزانه
-۰/۷۵۱ ۰/۰۳۱ ۰/۷۹۹ ۰/۱۱۱	-۰/۸۵۰ -۰/۲۷۱ ۰/۵۱۲ ۰/۵۱۲	۱/۹۵۲	(۴،۴)	سرعت تند بادهای سالانه
۰/۲۹۲ ۰/۷۰۵	-۰/۷۲۰ ۰/۰۵۶ ۰/۱۱۹	-۰/۱۱۹	(۲،۳)	بیش‌ترین بارش روزانه
-۰/۱۶۵ -۰/۷۹۵ ۰/۳۶۰	-۰/۳۴۳ ۰/۹۱۱ ۰/۱۷۱	-۳/۲۹	(۳،۳)	درجه روز گرمایش
۰/۰۰۱ ۰/۹۹۱	-۰/۵۴۷ ۰/۲۹۸	-۰/۰۴۰	(۲،۲)	روزهای گرد و غباری
۰/۱۴۲ ۰/۸۵۷	-۰/۶۳۶ ۰/۱۷۰	-۰/۷۴۱	(۲،۲)	روزهای با حداکثر درجه حرارت صفر و زیر صفر
-۰/۶۳۰ -۰/۲۱۳	-۰/۹۲۹ -۰/۵۱۱	۰/۲۸۴	(۲،۲)	روزهای با حداقل درجه حرارت صفر و زیر صفر
۱/۳۱۳ -۰/۳۱۳	۰/۴۷۷ ۰/۰۶۶	۰/۱۵۶	(۲،۲)	روزهای برفی با تگرگ ریز
۰/۷۴۵ ۰/۲۵۴	۰/۰۶۶ ۰/۰۲۳	۰/۵۹۲	(۲،۲)	روزهای رگبارهای تندی
-۰/۴۳۵ ۰/۴۲۷	-۰/۵۰۳ ۰/۰۷۱	۱/۷۵۹	(۲،۲)	روزهای با دید ۲ km و کم‌تر

بر اساس آنچه که گفته شد چنانچه بتوان مدل اتورگرسیو مرتبه‌ی  $P$  را با مدل میانگین متحرک مرتبه‌ی  $q$  ترکیب نمود مدل ARIMA با مرتبه‌ی  $(p, q)$  ایجاد می‌شود که مدل مرکبی به شمار می‌رود. این مدل بر روی متغیرهای مورد مطالعه انجام گرفت و نتایج این مدل در قالب (جدول ۴ و ۵) به ترتیب تحت عناوین ضرایب خطاها و نوع مدل و ضرایب مدل ارائه گردید. این جدول شامل مدل و ضرایب مدل می‌باشد که بر اساس این ضرایب و با استفاده از معادله پیش بینی مدل‌های خانواده ARIMA می‌توان مقدار متغیر را برای سال‌های آینده پیش‌بینی نمود. در صورت منفی بودن همه ضرایب، کاهش متغیر و در صورت مثبت بودن یک یا چند ضریب، افزایش مقادیر متغیر رخ خواهد داد. بر اساس (جدول ۴) که ضرایب خطاهای هر یک از متغیرها را بر اساس مدل ترکیبی اتورگرسیو و میانگین متحرک ارائه می‌دهد، خطاها نسبت به مدل مرتبه‌ی ۲ اتورگرسیو ضرایب اطمینان بیش‌تری را نشان می‌دهد اما باز هم تا رسیدن به سطح اطمینان فاصله دارد و هنوز برخی از خطاها و تاخیرها در متغیرها حذف نگردیده است. همچنین در (جدول ۵)، مدل و ضرایب مدل هر یک از متغیرها بر اساس مدل مرکب  $(p, q)$  ارائه شده است. (شکل ۳)، نمودارهای خود همبستگی نمونه (ACF) و خود همبستگی جزئی (PACF) بر اساس مدل ترکیبی اتورگرسیو و میانگین متحرک را به نمایش گذاشته‌اند.



شکل ۳: باقی‌مانده‌های خود همبستگی نمونه (ACF) و خود همبستگی جزئی (PACF) میانگین حداکثر

درجه حرارت روزانه بر اساس مدل ترکیبی اتورگرسیو و میانگین متحرک

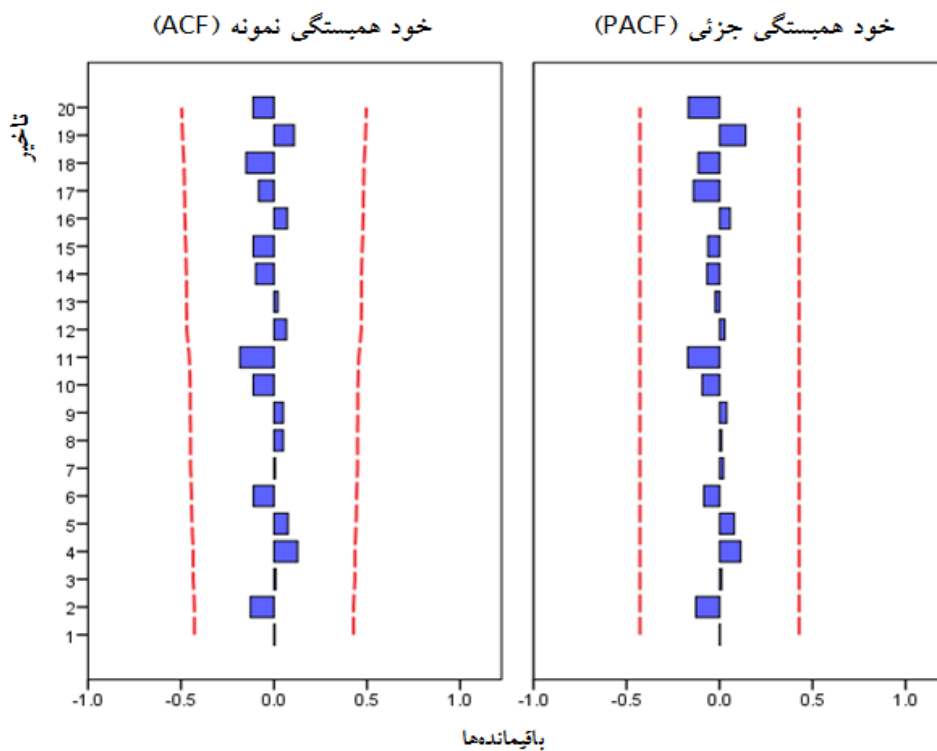
بر اساس این مدل، تغییرات کوتاه مدت و فصلی و دوره‌ای حذف شده و مدل کلی هر یک از متغیرهای مورد بررسی برازش داده شده است که ترکیبی از اتورگرسیون، میانگین متحرک و تفاضل را در بر می‌گیرد. طبق نتایج به‌دست آمده، ضرایب خطاهای مدل در این برازش نهایی قابل قبول بوده و ضرایب در (جدول ۶) ارائه گردیده است. همچنین در (جدول ۷)، مدل‌های نهایی برازش داده شده برای هر یک از متغیرها و ضرایب مدل‌ها نشان داده شده است. این مدل‌های نهایی در واقع ساختار هر یک از متغیرها طی دوره‌ی زمانی مورد مطالعه بوده که برای پیش‌بینی رفتار متغیرها در آینده مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مرحله نیز نمودارهای خود همبستگی نمونه و جزئی مدل رسم شده (شکل ۴) و در اکثر متغیرها، خطاها و تاخیرها کاملاً از بین رفته و مدل نهایی مشخص گردیده است. همچنین در این مرحله، نمودار همگنی بین باقیمانده‌ها و داده‌های مدل‌سازی شده نهایی نیز رسم گردیده است (شکل ۵) که در همه‌ی متغیرها متقارن و حول صفر بوده و ساختار غیر عادی در آن مشاهده نمی‌شود بنابراین همگنی واریانس‌ها در مدل تأیید می‌شود.

جدول ۶- ضرایب خطاها بر اساس مدل نهایی برازش داده شده برای هریک از متغیرها

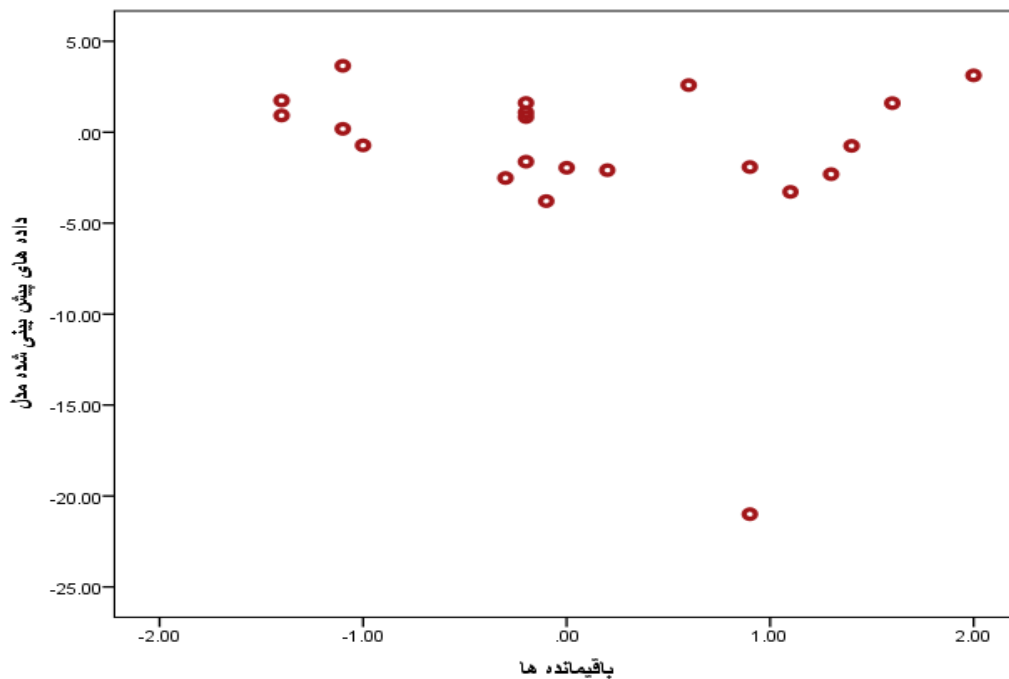
شاخص‌های خطا	ضریب تعیین	میانگین قدرمطلق خطاها	میانگین قدرمطلق درصد خطاها	ریشه‌ی میانگین مربع خطا
میانگین حداکثر درجه حرارت روزانه	۰/۷۵۴	۳/۱۱	۶۶۳/۵۵	۶/۳۴
میانگین حداقل درجه حرارت روزانه	۰/۶۷۱	۱/۵۰	۳۸۰/۸۷	۲/۴۳
سرعت تند بادهای سالانه	۰/۶۹۷	۱۳/۷۲	۱۴۹/۶۲	۲۶/۳۸
بیش‌ترین بارش روزانه	۰/۷۹۷	۴۵/۰۰	۱۴۰۴/۰۰	۱۰۰/۴۳
درجه روز گرمایش	۰/۵۶۰	۳۰۴/۶۹	۱۳۱۵/۷۶	۶۱۵/۱۳
روزهای گرد و غباری	۰/۷۱۰	۳/۱۶۹	۱۴۹/۴۹	۴/۷۵
روزهای با حداکثر درجه حرارت صفر و زیر صفر	۰/۶۷۱	۲۱/۱۳	۱۷۷/۸۳	۳۴/۳۶
روزهای با حداقل درجه حرارت صفر و زیر صفر	۰/۶۴۹	۱۷/۴۹	۳۸۰/۶۰	۲۸/۸۸
روزهای برفی با تگرگ ریز	۰/۷۵۰	۱۴/۷۴	۱۸۰/۵۴	۲۳/۲۵
روزهای رگبارهای تندی	۰/۷۴۴	۱۰/۵۱	۳۴۰/۰۴	۱۴/۲۸
روزهای با دید ۲ km و کمتر	۰/۷۴۹	۵۲/۹۳	۱۵۲۹/۴۳	۸۷/۵۵

جدول ۷- مدل و ضرایب مدل برای مدل نهایی برازش داده شده برای هر یک از متغیرها

میانگین متحرک	تفاضل	اتورگرسیو	ثابت	مدل	ضرایب مدل
۱/۲۹۹ ۰/۲۶۶ -۰/۶۴۰	۴	-۱/۳۵۰ -۰/۴۱۶	۰/۰۰۳	(۲، ۴، ۳)	میانگین حداکثر درجه حرارت روزانه
۰/۹۷۰	۳	-۰/۹۲۲ -۰/۳۳۲	-۰/۰۱۲	(۲، ۳، ۱)	میانگین حداقل درجه حرارت روزانه
۰/۸۲۵ ۰/۳۱۴ ۰/۸۱۶ -۰/۹۸۵	۲	-۰/۴۷۳ -۰/۰۷۷ ۰/۸۹۲	۰/۲۹۴	(۴، ۲، ۴)	سرعت تند بادهای سالانه
۱/۴۸۴ -۰/۵۲۷	۴	-۱/۷۰۸ -۱/۳۶۳ -۰/۴۵۴	۰/۰۸۶	(۲، ۴، ۳)	بیش‌ترین بارش روزانه
۰/۴۴۹ -۰/۳۷۹ ۰/۹۳۰	۲	-۱/۱۸۱ -۱/۳۱۷ -۰/۷۲۷	۱/۲۰۱	(۳، ۲، ۳)	درجه روز گرمایش
۰/۹۵۴ ۰/۰۳۴	۲	-۰/۹۸۵ -۰/۵۱۵	-۰/۰۱۵	(۲، ۲، ۲)	روزهای گرد و غباری
۱/۰۴۷ -۰/۰۸۴	۲	-۰/۸۰۸ -۰/۲۹۱	۰/۰۵۱	(۲، ۲، ۲)	روزهای با حداکثر درجه حرارت صفر و زیر صفر
۰/۹۸۴ -۰/۰۰۶	۲	-۱/۰۰۶ -۰/۶۱۱	۰/۱۱۲	(۲، ۲، ۲)	روزهای با حداقل درجه حرارت صفر و زیر صفر
۱/۰۶۲ -۰/۷۶	۲	-۰/۹۴۷ -۰/۴۶۵	-۰/۰۵۶	(۲، ۲، ۲)	روزهای برفی با تگرگ ریز
۰/۰۷۳ ۰/۹۲۵	۲	-۱/۴۰۹ -۰/۴۳۴	-۰/۰۰۷	(۲، ۲، ۲)	روزهای رگبارهای تندری
۰/۲۱۵ ۰/۷۸۴	۳	-۱/۴۴۰ -۰/۷۸۹	۰/۱۶۳	(۲، ۳، ۲)	روزهای با دید ۲ km و کم‌تر



شکل ۴: باقی مانده‌های خود همبستگی نمونه (ACF) و خود همبستگی جزئی (PACF) میانگین حداکثر درجه حرارت روزانه بر اساس مدل نهایی برازش داده شده



شکل ۵: همگنی بین باقی مانده‌ها و داده‌های مدل‌سازی شده‌ی نهایی برای میانگین حداکثر درجه حرارت روزانه

## نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر این مهم است که مقادیر ۱۲ متغیر مؤثر اقلیمی در ایستگاه سینوپتیک اردبیل مدل مشخصی برای بررسی شرایط آینده را دارا می‌باشند. در فرآیند برگشت‌پذیری برای همه متغیرها از یک مدل مشخص (۰، ۰، ۲) استفاده گردیده اما نتایج حاصل از ضریب خطاها، این مدل را برای هیچ یک از متغیرهای مورد مطالعه تأیید نمی‌نماید. همچنین در مدل مرکب (p, q) با وجود افزایش ضریب اطمینان خطاها، باز هم در همه‌ی مدل‌ها تاخیرهایی در نمودارهای خود همبستگی نمونه و جزئی دیده می‌شود. بر این اساس، ۶ متغیر روزهای گرد و غباری، روزهای با حداکثر درجه حرارت صفر و زیر صفر، روزهای با حداقل درجه حرارت صفر و زیر صفر، روزهای برفی یا تگرگ ریز، روزهای رگبارهای تندری و روزهای با دید ۲ کیلومتر و کم‌تر از مدل (۲، ۲) تبعیت می‌کنند و دو متغیر میانگین حداکثر درجه حرارت روزانه و بیش‌ترین بارش روزانه نیز از مدل (۲، ۳) برخوردارند. اما سه متغیر، میانگین حداقل درجه حرارت روزانه، سرعت تند بادهای سالانه و درجه روز گرمایش از مدل‌های متفاوتی نسبت به بقیه برخوردار هستند. همچنین طبق نتایج مدل نهایی برازش داده شده، ۵ متغیر روزهای گرد و غباری، روزهای با حداکثر درجه حرارت صفر و زیر صفر، روزهای با حداقل درجه حرارت صفر و زیر صفر، روزهای برفی یا تگرگ ریز و روزهای رگبارهای تندری از مدل (۲، ۲، ۲) برخوردار هستند و دو متغیر میانگین حداکثر درجه حرارت روزانه و بیشترین بارش روزانه نیز از مدل (۲، ۴، ۳) تبعیت می‌کنند. طبق نتایج هر یک از متغیرها در مدل نهایی، ضریب اطمینان خطاها افزایش یافته و با وجود همگنی بین باقی‌مانده‌ها و داده‌های مدل‌سازی شده در این مرحله می‌توان گفت که مدل‌های برازش داده شده بر اساس رفتار گذشته‌ی متغیرها می‌توانند مدل‌های مناسبی برای پیش‌بینی آینده‌ی آنان باشند. بر اساس نتایج حاصله، متغیرهای میانگین حداکثر درجه حرارت روزانه، سرعت تند بادهای سالانه، درجه روز گرمایش، روزهای با حداقل درجه حرارت صفر و زیر صفر و روزهای با دید ۲ کیلومتر کم‌تر دارای ضریب ثابت مثبت هستند. وجود ضرایب مثبت در متغیرهای مذکور می‌تواند تا حدودی مبین افزایش دما در ایستگاه باشد. متغیرهای میانگین حداقل درجه حرارت روزانه، روزهای گرد و غباری، روزهای برفی یا تگرگ ریز و روزهای رگبارهای تندری نیز دارای ضریب ثابت منفی هستند. ضرایب منفی روزهای برفی و روزهای دارای رگبارهای تندری نیز تا حدی می‌تواند معرف کاهش بارش در آن ایستگاه باشد. این یافته با نتایج کارهای جهان‌بخش و همکاران (۱۳۷۵) و ویسی‌پور و همکاران (۱۳۸۹) که به افزایش دما و کاهش بارش مناطق مورد مطالعه‌ی خود معتقدند همسویی دارد. نتایج این کار همچنین با یافته‌های بوتسما (۱۹۹۴) در بررسی فرکانس‌های متغیرهای اقلیمی تا حدی هماهنگ است. تفاوت نتایج این پژوهش با نتایج کار برخی پژوهشگران نظیر

حاجی بیگلو و همکاران (۱۳۹۲)، کریپلانی و همکاران (۱۹۹۶) و دوردو (۲۰۱۰) و دیگر پژوهشگران نیز به متفاوت بودن روش پژوهش و تفاوت طول دوره‌ی آماری مورد استفاده مرتبط است.



## منابع

- آذر، ع؛ مومنی، م (۱۳۸۴)، «آمار و کاربرد آن در مدیریت»، تهران، انتشارات سمت، ۴۳۹ ص.
- اسماعیلیان، م (۱۳۸۵)، «راهنمای جامع SPSS14»، تهران، انتشارات موسسه فرهنگی و هنری دیباگران، ۵۷۴ ص.
- اشگرطوسی، س؛ علیزاده، ا؛ شیرمحمدی، ر (۱۳۸۴)، «مدل‌سازی SARIMA بارندگی فصلی، مطالعه‌ی موردی: الگوسازی و پیش‌بینی بارندگی در استان خراسان»، *مجله‌ی تحقیقات منابع آب*، شماره ۳، صص ۵۳-۴۱.
- جهان‌بخش اصل، س؛ ساری صراف، ب؛ فاخری فرد، ا؛ میرموسوی، ح (۱۳۸۵)، «کاربرد مدل‌های تابع انتقال خطی در بررسی نوسانات پارامترهای اقلیمی، مطالعه‌ی موردی: ایستگاه تبریز»، *مجله‌ی دانشگاه اصفهان*، شماره ۱، صص ۷۵-۹۲.
- حاجی بیگلر، م؛ قزل سوفلو، ع؛ علی‌میرزائی، ح (۱۳۹۲)، «بررسی و پیش‌بینی متوسط بارندگی ماهانه با به کارگیری تکنیک SARIMA مطالعه موردی: ایستگاه باران‌سنجی بابا امان بجنورد»، *علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی)*، شماره ۳۶، صص ۵۴-۴۱.
- خورشیددوست، ع؛ قویدل رحیمی، ی (۱۳۸۳)، «مطالعه نوسانات بارش، پیش‌بینی و تعیین فصول مرطوب و خشک زمستانه‌ی استان آذربایجان شرقی»، *تحقیقات جغرافیایی*، شماره ۱۳، صص ۴۸-۲۵.
- فرشادفر، ع (۱۳۸۱)، «اصول و روش‌های آماری»، کرمانشاه، انتشارات طاق بسان، ۷۳۳ ص.
- ویسی‌پور، ح؛ معصوم‌پور سماکوش، ج؛ صحنه، ب؛ یوسفی، ی (۱۳۸۹)، «تحلیل پیش‌بینی روند بارش و دما با استفاده از مدل‌های سری زمانی (ARIMA) (نمونه موردی: شهرستان کرمانشاه)»، *فصلنامه جغرافیا*، شماره ۱۲، صص ۸۰-۶۵.
- Bootsma, A., (1994), "Long-term (100 yr) Climatic trends For Agriculture at selected locations in Canada", *Climatic Change*, 26: 65- 88.
- Castaneda, M., Gonzalez, M., (2008), "Statistical analysis of the precipitation trend in the Patagonia region in southern south America", *Atmosfera*, 21: 303-317.
- Durdu, O. F., (2010), "Application of linear stochastic models for drought forecasting in the Büyük Menderes river basin, western Turkey", *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 24: 1145-1162.
- Ercoli, L., Bonari, E., Moonen, A. C., (2001), "Long-term Change in Rain Fall and Temperature in pisa Italy", *Agricoltura Mediterranea: International Journal of Agricultural Science*, 131: 66- 76.

- Kripalani, R. H., Inamdar, S., Sontakke, N. A., (1996), "Rainfall variability over Bangladesh and Nepal: comparison and connections with features over India", *International Journal of Climatology*, 16: 689- 703.
- Leits, S. M., Peixoto, J. P., (1996), "The autoregressive model of climatological time series: AN Application to the Longest Time Series in Portugal", *International Journal of Climatology*, 16: 1165-1173.
- Mohan, S., vedual, S., (1995),"Multiplicative seasonal Arima model for longterm forecasting of inflows", *Water Resources Management*, 9: 115-126.
- Naill, P. E., Momani, M., (2009), "Time series analysis model for rain fall data in Jordan: case study for using time series analysis", *American Journal of Enveronmental sciences*, 5: 599-604.
- Nicholls, N., Lavery, B. L., (1992),"Australian rain fall trend during the twentieth century", *International Journal of Climatology*, 12: 153-163.
- Otok, B. W., Suhartono, S., (2009), "Development of rainfall forecasting model in Indonesia by using ASTAR, Transfer Function, and ARIMA Methods", *European Journal of Scientific Research*, 3:386-395.
- Somvanshi, V.K., Pandey, O. P., Agrawal, P. K., Kalanker, N. V., Prakash, M. R., Chand, R. (2006), "Modeling and prediction of rainfall using artificial neural network and ARIMA techniques", *J. Ind. Geophys*, 2: 141-151.
- Weesakul, U., Lowanichchai, S., (2005), "Rainfall Forecast for Agricultural Water Allocation Planning in Thailand", *Thammasat International Journal of Science and Technology*, 3: 18-27.
- Yu, B., Neil, D., (1993), "Long term Variability in regional rain fall in the South- West of Western Australia and the difference between average and high intensity rain fall", *International Journal of Climatology*, 13: 77-88.