



بررسی تغییرات زمانی روزهای یخبندان در مشهد

علیرضا شهبانفر، سهراب محمدنیا قرانی، ناصر جاودانی خلیفه

پژوهشکده اقلیم‌شناسی، سازمان هواشناسی کشور

مشهد، صندوق پستی ۹۱۷۳۵-۴۹۱

چکیده:

در این مقاله به منظور آشکارسازی تغییرات احتمالی اقلیم محلی نوسانات زمانی روزهای یخبندان مشهد طی دوره آماری ۲۰۰۰-۱۹۵۱ مورد مطالعه قرار گرفت. در بررسی‌های اولیه مشخص شد که میانگین سالانه دما و دمای حداقل مطلق طی دوره یاد شده روند صعودی دارند که این امر با روند نزولی تعداد روزهای یخبندان همخوانی مناسبی از خود نشان می‌دهد. پس از انجام آزمون همگنی بارتلت همگن بودن داده‌های مورد مطالعه اثبات شد، با هدف آشکار شدن روند در این داده‌ها از ضریب بحرانی کندال استفاده شد و معلوم شد مجموع روزهای یخبندان سالانه مشهد دارای روند نزولی است. پس از انجام آزمونهای بعدی نیز نتیجه شد که این روند تا حدودی مداوم بوده، اما در بعضی از سالها این روند بهم خورده است در نهایت معادله همبستگی تعداد روزهای یخبندان مشهد و سالهای دوره آماری بصورت رابطه $y=107/35-0/5x$ محاسبه شد که این همبستگی معنی‌دار بوده و بیانگر تغییرات ۲۹/۵- روزه در تعداد روزهای یخبندان طی دوره ۵۰ ساله مورد مطالعه می‌باشد. چنین استنباط شد که داده‌های مذکور روند خطی مداوم شدیدی از خود نشان نداده بلکه بیشتر رفتار نوسانی ابراز نموده‌اند. در نهایت نیز با استفاده از آزمون Mann-Kendall دو روند نزولی معنی‌دار در سری داده‌ها مشاهده شد که در انتهای دوره نیز مشخص شد که تعداد روزهای یخبندان در شهر مشهد یک روند صعودی معنی‌دار را پیش گرفته‌اند، اما هیچ نقطه تغییر ناگهانی معنی‌داری در طول دوره آماری مورد مطالعه، مشاهده نگردید. در مرحله بعد به منظور برازش یک مدل سری زمانی مناسب بر داده‌های مورد مطالعه از روش Box-Jenkins استفاده شد و با استفاده از منحنی‌های $P-P^A$ و اعمال عملیات تفاضل با تأخیر یکساله، داده‌ها نرمال شدند و سپس با تحلیل منحنی‌های $PACF^9$ و ACF^8 خاصیت ایستایی داده‌ها و حذف واریانس نیز بررسی و لحاظ گردید، در نهایت مدل سری زمانی $ARIMA(1,1,0)$ بطور بسیار مناسب و در حد اعتماد بالایی برازش داده شد بگونه‌ای که این مدل توانست تعداد روزهای یخبندان سال ۲۰۰۱ مشهد را با خطایی در حدود ۳/۳ درصد پیش‌بینی نماید.

واژگان کلیدی: سری زمانی، مدل $ARIMA$ ، روند، تحلیل ایستایی، تداوم

مقدمه:

شواهد نشان می‌دهند از گذشته‌های دور تاکنون شرایط اقلیمی جهان بارها دچار تغییرات و تحولات کلی گشته است علی‌الخصوص در دوران کوتاه‌تر که کوتاه‌ترین و جدیدترین دوره زمین‌شناسی است این تغییرات چشمگیرتر بوده به گونه‌ای که موجب دگرگونی کلی در سیمای کره زمین شده است.

در سالهای اخیر در محافل علمی جهان موضوع تغییر اقلیم بیشتر مورد بحث قرار گرفته است. بویژه در ارتباط با فعالیتهای مختلف انسان در سطح کره زمین که عمدتاً منجر به افزایش میزان گاز کربنیک و سایر گازهای گلخانه‌ای شده است که یکی از عمده‌ترین پیامدهای آن بالا رفتن میانگین دمای کره زمین می‌باشد. در این ارتباط چنانچه بخواهیم از دیدگاه منطقه‌ای به این موضوع پردازیم نتایج بسیار جالبی بدست خواهد آمد.

شهر مشهد که بعلت داشتن موقعیت خاص زیارتی و سیاحتی از رشد و توسعه فراوانی در ارتباط با جمعیت، فضای شهری، صنعت و غیره برخوردار است همانند سایر کلان شهرها شاهد تغییرات خاصی نظیر تغییر در الگوی بارش، ایجاد جزیره حرارتی، تغییر در روند نوسانات درجه حرارت و می‌باشد که این امر در برنامه‌ریزیهای کلان شهری بسیار مفید و حائز اهمیت است.

اولین گام در این راستا آشکارسازی و چگونگی تغییر اقلیم شهری می‌باشد که برای آن روشهای آماری مختلفی توسط دانشمندان و محققان در سراسر جهان ارائه شده است، این روشها توسط گروههای مختلف تخصصی در سازمان هواشناسی

⁸.Probability - Probabilitàty

⁹.Partial Auto Correlation Function

¹⁰.Auto Correlation Function

جهانی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته‌اند که همواره در قالب اسناد و مدارک علمی برای استفاده کاربردی سایر محققین چاپ و منتشر می‌گردد. گام بعدی در این ارتباط ارائه مدلها و راهکارهای علمی می‌باشد که قادر باشند با تقریب مناسب و در حد اعتماد قابل قبولی وضعیت عناصر اقلیمی را در آینده ارائه نمایند. در این مقاله سعی می‌شود با روشهای ساده و در عین حال معتبر، این امر تحقق یابد.

تحلیل آماری اولیه داده‌ها:

به منظور بررسی و اثبات تغییرات احتمالی روزهای یخبندان مشهد و برزاش یک مدل سری زمانی برای آن، آمار تعداد روزهای یخبندان برای دوره آماری ۲۰۰۰-۱۹۵۱ مربوط به ایستگاه سینوپتیک مشهد مورد مطالعه قرار گرفت. از آنجا که آمارهای دریافتی اصلاح شده بوده و نیاز به تصحیح نداشت، بدون اعمال هیچگونه تصحیحی از آنها استفاده شد. در گام نخست به منظور انجام یک تحلیل آماری اولیه بر روی داده‌های موجود، نمودارهای مربوط به میانگین سالانه دما، میانگین سالانه دمای حداقل مطلق و تعداد روزهای یخبندان به ترتیب در شکل‌های (۱) و (۲) و (۳) رسم شده‌اند. همانطور که در شکل (۱) ملاحظه می‌شود میانگین سالانه دما روند صعودی دارد که به منظور درک بهتر این نکته، خط روند نیز برای آن رسم شده است که با محور افقی زاویه مثبت ایجاد کرده است. در شکل (۲) نیز ملاحظه می‌شود که میانگین سالانه دمای حداقل مطلق نیز روند صعودی دارد و یک همبستگی کلی بین میانگین سالانه دما و دمای حداقل مطلق به خوبی قابل مشاهده می‌باشد. بطور کلی روزی که در آن، دما در هر لحظه از روز به زیر صفر درجه سانتیگراد رسیده باشد، روز یخبندان تلقی می‌شود و با توجه به این تعریف، در شکل (۳) ملاحظه می‌شود که بر اثر وجود روند صعودی دمای شهر مشهد تعداد روزهای یخبندان نیز روند نزولی یافته‌اند و وجود یک زاویه منفی بین خط روند و محور افقی نیز مبین این نکته می‌باشد.

تجزیه و تحلیل آمار تعداد روزهای یخبندان شهر مشهد:

در بررسی تغییرات زمانی داده‌ها و به عبارت کلی‌تر، سری‌های زمانی، یک دست بودن داده‌ها شرط اصلی به حساب می‌آید. بدین جهت با استفاده از آزمون بارتلت یکنواختی داده‌های موجود مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور سری آماری تعداد روزهای یخبندان شهر مشهد به ده دوره مساوی تقسیم شد و سپس میانگین و واریانس هر دوره محاسبه گردید و از تقسیم بالاترین واریانس بر پائین‌ترین واریانس ضریب بارتلت محاسبه شد. هرگاه ضریب بدست آمده کمتر از ضریب موجود در جدول مربوط (جدول 2 میشل - III) باشد با احتمال ۹۵ درصد داده‌ها همگن هستند یا به عبارت دیگر واریانس دوره‌های زمانی با هم برابرند [۶]. در این تحقیق ضریب محاسبه شده برابر $7/43$ و ضریب جدول $13/7$ است. بنابراین سری یکنواخت بوده و از نظر آماری قابل تجزیه و تحلیل می‌باشد.

در بررسی تغییرات زمانی داده‌های آماری هدف اصلی شناسایی وجود هر نوع ماهیت یا ویژگی خاص به غیر از حالت تصادفی بودن آنهاست. اگر داده‌های زمانی تحت کنترل فرآیند خاصی قرار نگیرند با همدیگر رابطه‌ای نداشته و مستقل از همدیگر می‌باشند که در این حالت آمار تصادفی نامیده می‌شوند. اما در بیشتر موارد سری‌های زمانی آب و هوایی روند خاصی پیدا می‌کنند که عموماً ویژگی غیر تصادفی گفته می‌شود. این ویژگی غیر تصادفی بودن به صورت ثبات مداوم آماری، تغییر دوره‌ای و فصلی، تغییر تدریجی خطی (روند)، تغییر ناگهانی و یا نوسانات زمانی ظاهر می‌شود [۳]. برای تشخیص بین تصادفی بودن یا نبودن تعداد روزهای یخبندان شهر مشهد از آزمون غیر پارامتری کندال استفاده شده و به این منظور ابتدا تعداد روزهای یخبندان شهر مشهد به صورت صعودی تنظیم شد و سپس رتبه‌های هر سال از ۱ تا ۵۰ تعیین شد (جدول ۱). سپس با استفاده از رابطه زیر ضریب کندال محاسبه شد:

$$t = \frac{4r}{N(N-1)}, P = \sum n_i$$

که در این معادله، n_i تعداد سالهای بعد از سال مورد نظر است که رتبه آنها بیشتر از آن سال می‌باشد، N تعداد کل سالهای مورد مطالعه است که در مورد تحقیق حاضر ۵۰ سال می‌باشد. ضریب کندال برای تعداد روزهای یخبندان شهر مشهد با این روش برابر $1/325$ محاسبه گردید.

همچنین ضریب بحرانی کندال برای سری مورد مطالعه برابر $0/163$ بدست آمد. اگر ضریب محاسبه شده بیشتر از ضریب بحرانی باشد سری زمانی روند مثبت و اگر کمتر از آن باشد روند منفی است و در صورت قرار گرفتن در محدوده آن، سری داده‌ها ماهیت تصادفی دارند [۵]. با توجه به مقادیر محاسبه شده، سری داده‌های مورد مطالعه، ماهیت تصادفی نداشته و روند نزولی دارند.

تا این مرحله مشخص گردید که سری داده‌ها دارای روند نزولی می‌باشد اما مشخص نیست که آیا این روند بطور مداوم ادامه دارد یا نه. برای ارزیابی میزان تداوم روند داده‌ها، ضریب خود همبستگی سری مورد مطالعه، محاسبه گردید و ضرایب همبستگی مربوط به تأخیر یک ساله برابر با $0/63$ ، دو ساله برابر با $0/54$ و سه ساله برابر با $0/42$ بدست آمد. به منظور تشخیص معنی دار بودن ضرایب حاصله، ضریب بحرانی از رابطه زیر محاسبه شد:

$$r = \frac{-1 \pm Z\sqrt{N-Z}}{N-1}$$

که در آن Z نمره استاندارد درصد احتمال یک طرفه در جدول منحنی نرمال است که با احتساب نمره $1/645$ برای احتمال 95 درصد، مقدار r بحرانی برابر با $0/22$ محاسبه شد [۲]. بنابراین سری زمانی مورد مطالعه تا اندازه‌ای روند کاهشی مداوم دارد یعنی اینکه این روند در سالهایی یا سالی به هم خورده است.

برای تشخیص نقطه چشم‌گیر این روند نزولی، توزیع فراوانی رتبه‌های سری داده‌ها براساس روش Mann-Kendall در شکل (۴) رسم شده است. در این شکل منحنی (u) توزیع افزایشی سالهای دارای رتبه کمتر از هر کدام از سالهای مورد نظر را در دوره قبل از آن نشان می‌دهد و منحنی (u') توزیع فراوانی معکوس منحنی (u) را نشان می‌دهد [۱]. طبق شکل (۴) در طول دوره آماری موجود، دو روند نزولی معنی‌دار و یک روند صعودی معنی‌دار مشاهده می‌گردد و در دو نقطه نیز تغییر ناگهانی بوجود آمده است که در حد اعتماد 95% معنی‌دار نمی‌باشد.

به منظور مشخص نمودن تغییر کل روزهای یخبندان شهر مشهد در دوره مورد مطالعه، ضریب همبستگی و معادله رگرسیون روزهای یخبندان و سالهای دوره آماری محاسبه شد و مقدار ضریب همبستگی برابر با $0/23$ و معادله رگرسیون بصورت $y = 107/35 - 0.59x$ بدست آمد و مشخص شد که سری زمانی با سالهای دوره مطالعه همبستگی معنی‌داری دارد و کل مقدار تغییرات آن $29/5 -$ روز است.

برازش یک مدل سری زمانی مناسب بر داده‌ها:

پس از تجزیه و تحلیل روند تغییرات روزهای یخبندان شهر مشهد در طول دوره آماری $2000-1951$ ، در این مرحله سعی خواهد شد با استفاده از روش Box-Jenkins یک مدل سری زمانی مناسب برای داده‌ها برآزش داده شود. بنابراین در مرحله اول بایستی داده‌ها نرمال شوند و به این منظور در شکل (۵) نمودار P-P مربوط به سری زمانی مورد مطالعه، نمایش داده شده است و همانطور که ملاحظه می‌شود، داده‌ها از توزیع مناسبی برخوردار نیستند و باید با اعمال یک روش مناسب، داده‌ها را بصورت توزیع نرمال نزدیک کرد [۴].

به منظور نرمال کردن داده‌ها، روشهای مختلفی آزمون شد و در نهایت با اعمال عملیات تفاضلی با تأخیر یکساله داده‌ها تقریباً از توزیع نرمال تبعیت کردند که شکل (۶) نیز مؤید این نکته می‌باشد. مرحله بعدی بررسی ایستایی و حذف واریانس داده‌ها می‌باشد که با توجه به نمودارهای PACF, ACF که به ترتیب در شکلهای (۷) و (۸) رسم شده‌اند سری ایجاد شده تقریباً از حالت ایستایی، برخوردار می‌باشد.

در مرحله نهایی بایستی نوع مدل سری زمانی که بهترین برازش را بر داده‌ها دارد، تعیین شود و بنابراین با توجه به نمودارهای PACF و ACF، مدل سری زمانی ARIMA (1,1,0) برای داده‌های مورد مطالعه، مناسب تشخیص داده شد و برای درک بهتر آن منحنی مقادیر مشاهده شده به همراه مقادیر برازش داده شده در شکل (۹) نمایش داده شده است.

پس از آنکه مدل ARIMA(1,1,0) برای سری زمانی برازش داده شد، معادله آن پس از تعیین ضرایب و مقادیر ثابت بصورت رابطه زیر ارائه گردید:

$$Z_t = -0/4157Z_{t-1} + 0/852$$

با استفاده از این رابطه، به منظور تعیین میزان دقت مدل بدست آمده، تعداد روزهای یخبندان مشهد در سال 2001 توسط مدل محاسبه گردید که مقدار آن برابر 60 روز است و مقدار واقعی آن 58 روز می‌باشد که این امر بیانگر وجود خطایی در حدود $3/3$ درصد در مدل ارائه شده می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری:

در تحلیل‌های اولیه ملاحظه گردید که میانگین سالانه دما و حداقل مطلق شهر مشهد دارای روند افزایشی کلی می‌باشند که این امر با روند نزولی تعداد روزهای یخبندان مشهد در طول دوره آماری $2000-1951$ همخوانی مناسبی دارد.

پس از آزمون همگنی برای سری داده‌های تعداد روزهای یخبندان شهر مشهد، روند نزولی داده‌ها نیز اثبات گردید ولی این روند تا اندازه‌ای روند کاهشی مداوم دارد و بیشتر رفتار نوسانی و موجی از خود نشان داد.

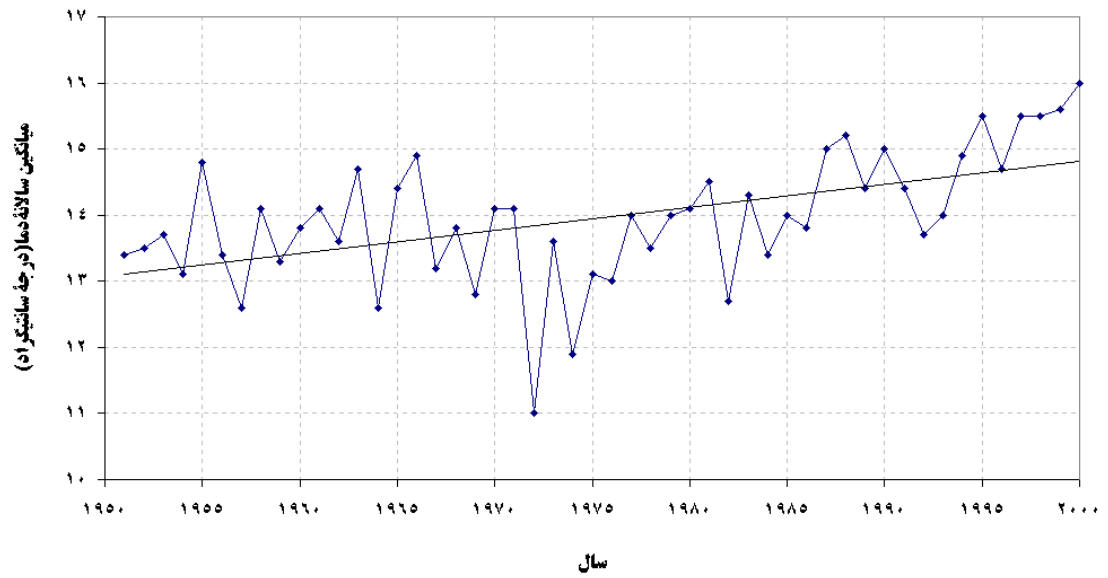
با استفاده از روش Box-Jenkins برای سری زمانی موجود پس از اعمال، عملیات تفاضلی با تأخیر یکساله بر داده‌های موجود، داده‌ها نرمال شده و با تحلیل منحنی‌های PACF, ACF پس از تحلیل ایستایی و حذف واریانس، مدل سری زمانی ARIM(1,1,0) بر داده‌های برازش داده شد که نتایج حاصل بیانگری مناسب برای این مدل بود و برای تعیین میزان دقت مدل نیز، تعداد روزهای یخبندان در اولین سال بعد از دوره آماری مورد مطالعه توسط مدل پیش‌بینی شد که به مقدار مشاهده شده تا حد زیادی نزدیک بود.

تشکر و قدردانی:

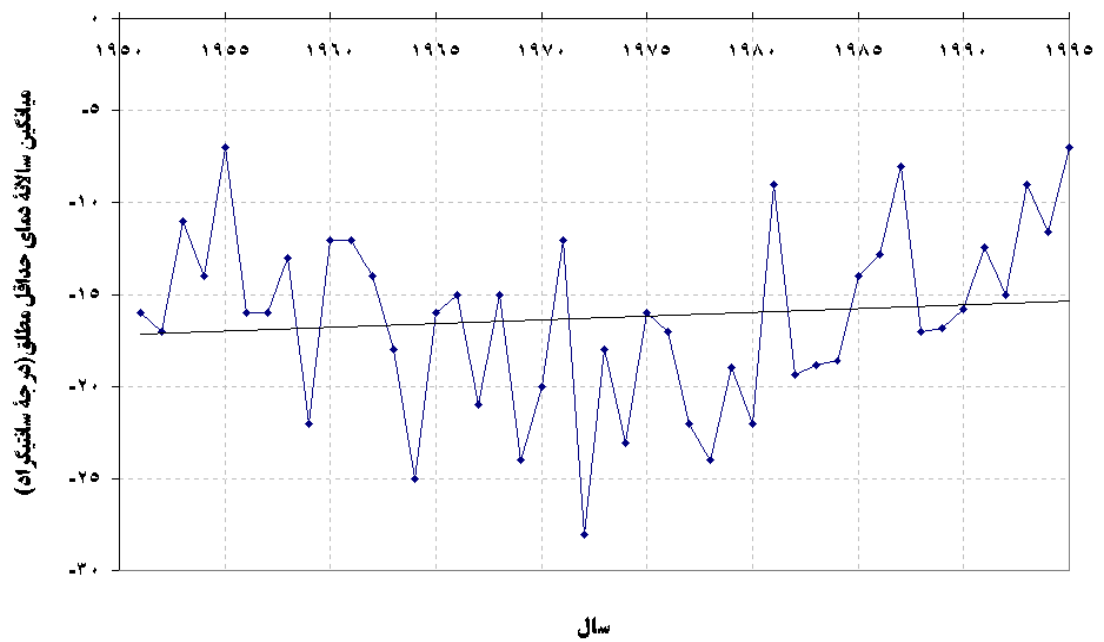
نگارندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از آقای دکتر بهلول علیجانی که در مراحل مختلف انجام این تحقیق، از ارائه هر گونه راهنمایی و مشورتی، دریغ ننموده‌اند و همچنین از آقای دکتر جواد بداق جمالی ریاست محترم پژوهشکده اقلیم‌شناسی که در جهت فراهم نمودن امکانات مورد نیاز زحمات بی‌شائبه‌ای را متحمل شدند، نهایت تشکر و قدردانی خود را اعلام نمایند.

منابع:

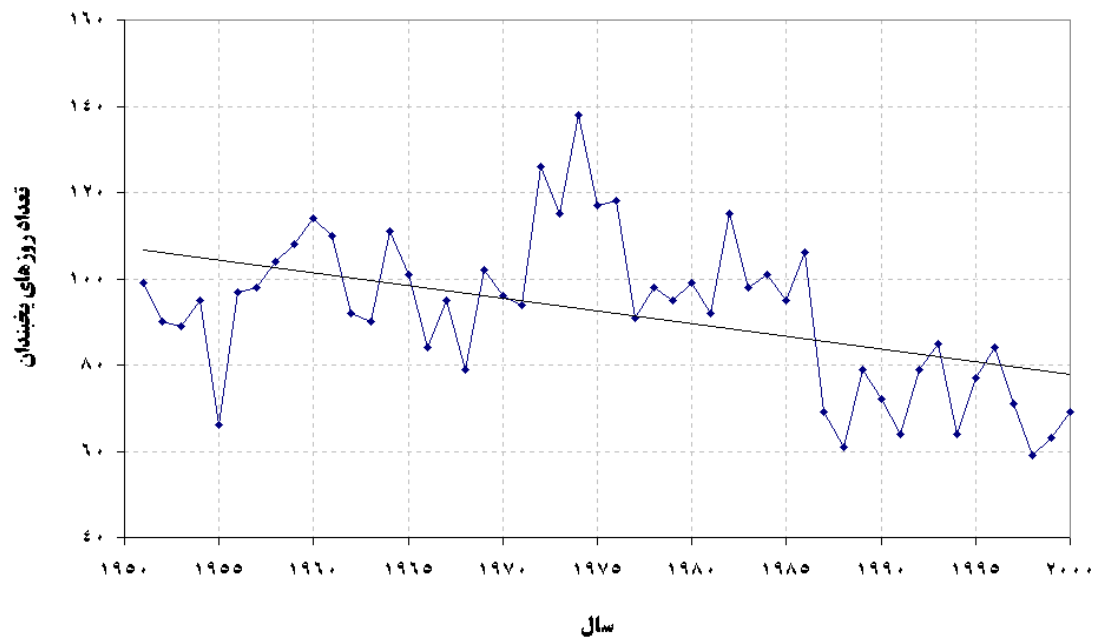
- ۱- رحیم‌زاده، ف.، رستمی‌فر، ف.، تحلیل سریهای زمانی اقلیمی، معاونت پژوهشی سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۷۶.
- ۲- شریفی، م. جزوه درسی هیدرولوژی مهندسی پیشرفته، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۰.
- ۳- علیجانی، ب. "تغییرات زمانی دمای تهران"، اولین کنفرانس تغییر اقلیم.
- ۴- قیامی، ع.، شهابفر، ع. "ارزیابی روشهای نکویی برازش توابع توزیع‌های آماری بر سری سالانه بارندگی شهر مشهد"، اولین کنفرانس ملی راهکارهای مقابله با کم آبی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۳۸۰.
- 5- Turkes, M., Sumer, U.M, Demer.I." Re- evaluation of Trends and Chanhges in Mean, Maximum and Minimum Temperature of Turkey for the Period 1929-1999" Int. J. of Climatology, 2002.
- 6- Wilk, D.S., Statistical Methods in the Atmospheric Sciences, Academic Press, New York , 1999.



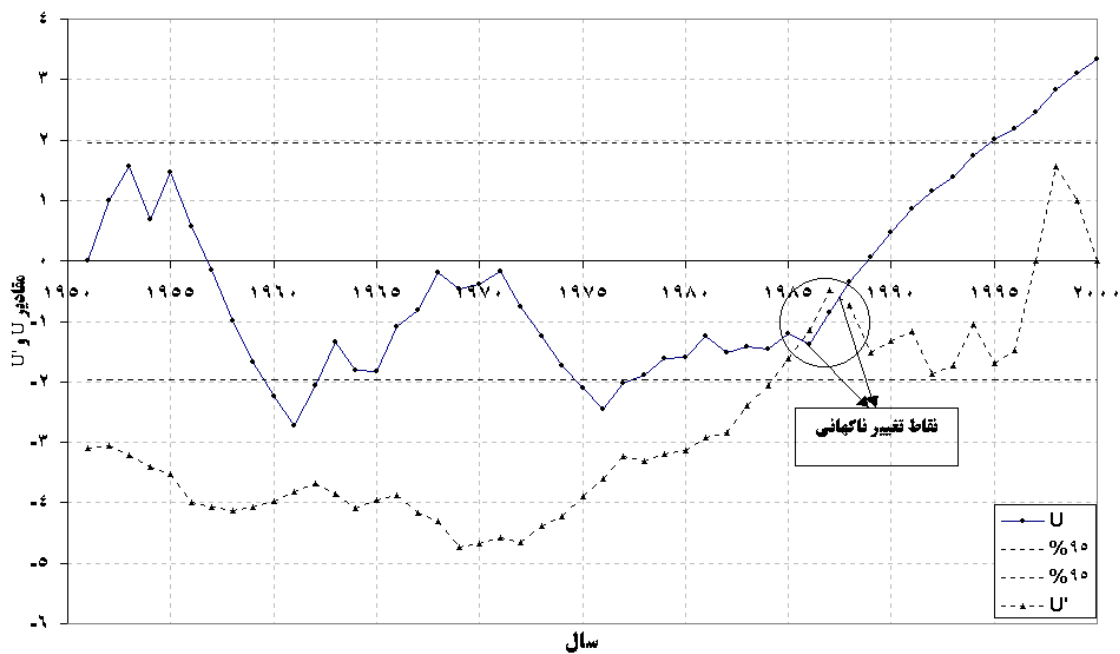
شکل (۱) نمودار تغییرات میانگین سالانه دمای شهر مشهد در طول دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۰



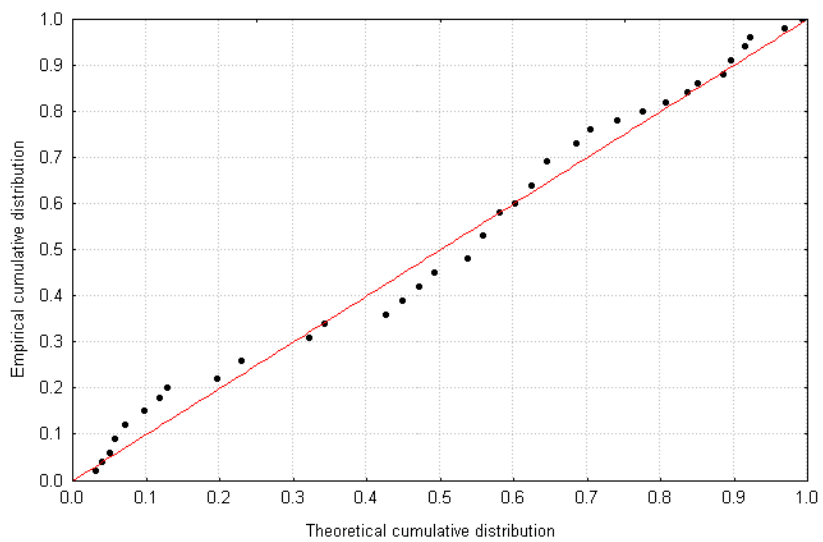
شکل (۲) نمودار تغییرات میانگین سالانه دمای حداقل مطلق شهر مشهد در طول دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۰



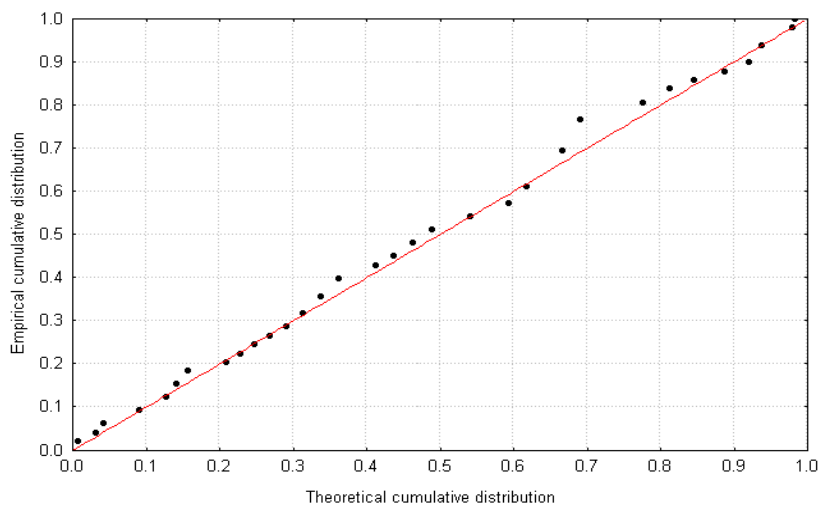
شکل (۳) نمودار تغییرات تعداد روزهای یخبندان شهر مشهد در طول دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۰



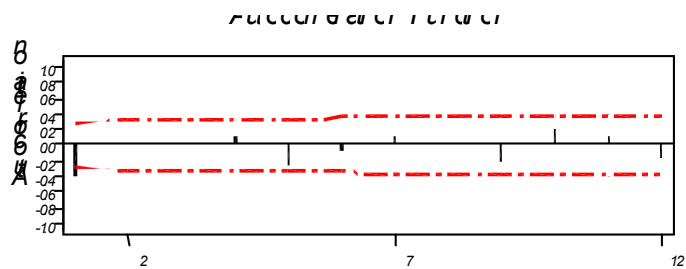
شکل (۴) نمودار U , U' و حدود اعتماد ۹۵٪ مربوط به تعداد روزهای یخبندان شهر مشهد



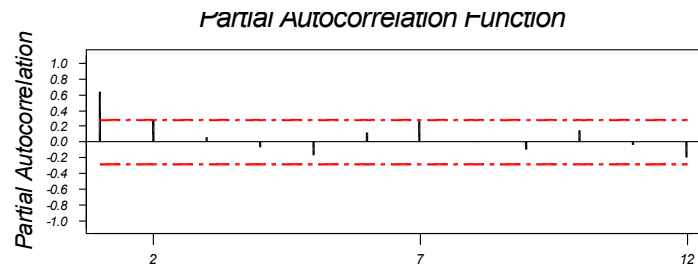
شکل (۵) منحنی P-P سری زمانی در حالت اولیه



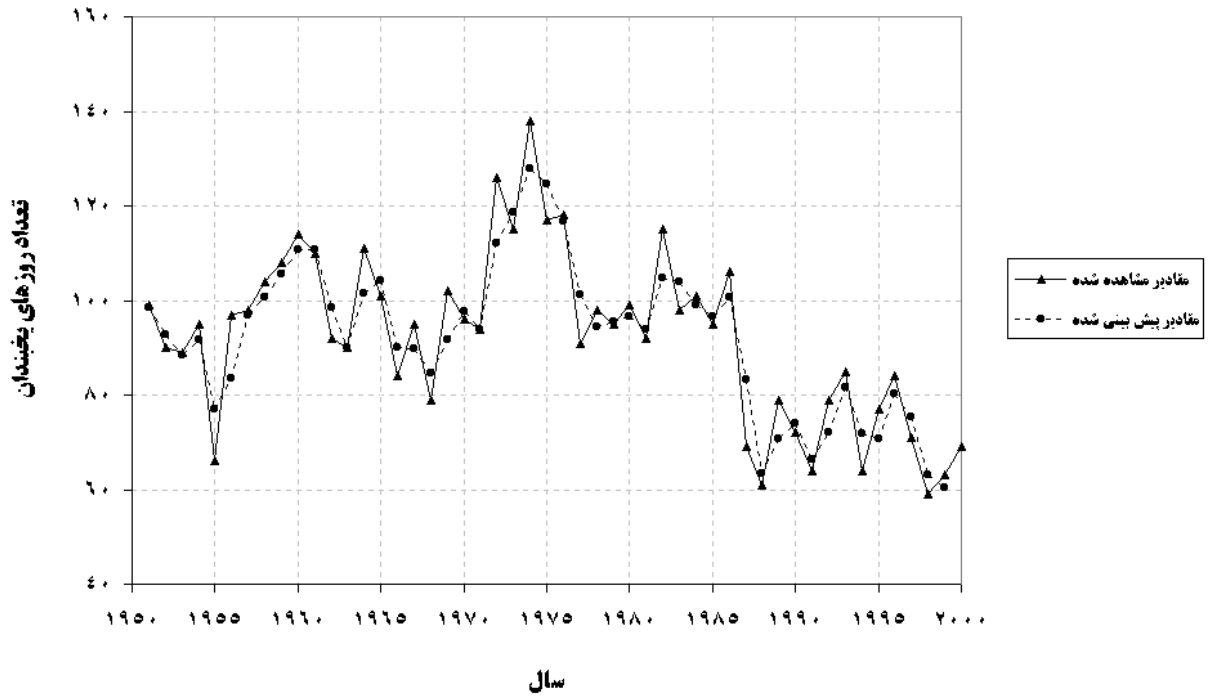
شکل (۶) منحنی P-P سری زمانی در حالت نرمال شده



شکل (۷) منحنی ACF سری زمانی



شکل (۸) منحنی PACF سری زمانی



شکل (۹) منحنی توأم مقادیر مشاهده شده و مقادیر برازش داده شده

جدول (۱): رتبه‌های سالهای دوره مورد مطالعه براساس روند صعودی

سال	۱۹۵۱	۱۹۵۳		۱۹۵۶	۱۹۵۷	۱۹۵۸	۱۹۵۹	۱۹۶۰	
رتبه	۱۶	۳۳	۲۳	۲۱	۱۸	۱۲	۱۰	۷	
سال	۱۹۶۱	۱۹۶۲	۱۹۶۳	۱۹۶۴	۱۹۶۵	۱۹۶۷	۱۹۶۹	۱۹۷۰	
رتبه	۹	۲۸	۳۲	۸	۱۴	۲۴	۳۷	۲۲	
سال	۱۹۷۱	۱۹۷۲	۱۹۷۳	۱۹۷۴	۱۹۷۵	۱۹۷۷	۱۹۷۸	۱۹۷۹	۱۹۸۰
رتبه	۲۷	۲	۵	۱	۴	۳	۱۹	۲۵	۱۷
سال	۱۹۸۱	۱۹۸۲	۱۹۸۳	۱۹۸۴	۱۹۸۵	۱۹۸۷		۱۹۸۹	۱۹۹۰
رتبه	۲۹	۶	۲۰	۱۵	۲۶	۱۱		۳۸	۴۱
سال	۱۹۹۱	۱۹۹۲	۱۹۹۳	۱۹۹۴	۱۹۹۵	۱۹۹۷		۱۹۹۹	۲۰۰۰
رتبه	۴۶	۳۹	۳۴	۴۷	۴۰	۳۶		۴۸	۴۴