آشکـــارسازی تغییر اقلیم محلی به کمک بررسی نوسانات زمـــانی روزهای یخبندان (مطالعهٔ موردی مشهد)

علیرضا شهاب‌فر
کارشناس ارشد پژوهشکده اقلیم‌شناسی، سازمان هواشناسی کشور

سهراب محمدنیا قرایی
کارشناس ارشد پژوهشکده اقلیم‌شناسی، سازمان هواشناسی کشور

محمد معتمدی
استادیار گروه جغرافیای دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیروان

چکیده

در این تحقیق 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 دورهٔ 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 در مجموع روزهای یخبندان سالانه شهر مشهد دارای روند نزولی است.

پس از انجام آزمون‌های بعدی نیز نتیجه گرفته شد که این روند تا حدودی مداوم بود چون در بعضی سال‌ها به‌هم خورده است. در نهایت معادله همبستگی تعداد روزهای یخبندان مشهد و سال‌های دورهٔ آماری به‌صورت رابطه Y=107/35-0/53X محاسبه شد که این همبستگی نیز معنی‌دار بوده و بیانگر تغییرات ۲۹/۵- روزه در تعداد روزهای یخبندان طی دوره ۵۰ ساله‌ی مورد مطالعه می‌باشد. چنین استنباط شد که داده‌های مذکور روند خطی مداوم شدیدی از خود نشان نداده، بلکه بیشتر رفتار نوسانی داشته است. در نهایت نیز با استفاده از آزمون Mann-Kendall، دو روند صعودی و دو روند نزولی معنی‌دار مشاهده شد. در انتهای دوره نیز یک نقطه تغییر دیده شد که معنی‌دار نبود و به‌طور کلی از حدود سال ۱۹۷۶ به بعد تعداد روزهای یخبندان در مشهد یک روند نزولی را پیش گرفته است.

در مرحله بعد به منظور برازش یک مدل سری زمانی مناسب بر داده‌های مورد مطالعه از روشBox-Jenkins استفاده شد و با استفاده از منحنی‌های P-P[1] و اعمال تفاضل گیری از مرتبه اول، داده‌ها نرمال شدند و سپس با تحلیل منحنی‌های ACF[2] و PACF[3] خاصیت ایستایی داده‌ها و حذف واریانس نیز بررسی و لحاظ گردید و در نهایت مدل سری زمانی ARIMA (1, 1, 0) برای سری مورد مطالعه، مناسب تشخیص داده شد و به منظور آزمون برازش از روش رگرسیون بهره‌گیری شد و در حد اعتماد ۰/۰۰۵ صحت مدل مورد تایید قرار گرفت به‌گونه‌ای که این مدل توانست تعداد روزهای یخبندان سال ۲۰۰۱ مشهد را با خطایی در حدود ۳/۳ درصد پیش‌بینی کند.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، روزهای یخبندان، نوسان، روند.

1-Probability- Probability 2-Auto Correlation Function1 3-Partial Auto Correlation Function

مقدمه

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

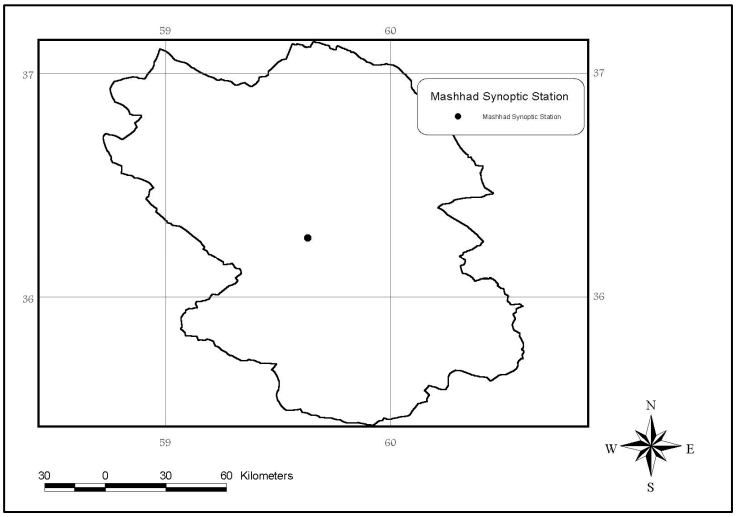
در سال‌های اخیر در محافل علمی جهان موضوع تغییر اقلیم بیشتر مورد بحث قرار گرفته است. به‌ویژه در ارتباط با فعالیت‌های مختلف انسان در سطح کره زمین که عمدتاً به افزایش میزان گاز کربنیک و سایر گازهای گلخانه‌ای منجر شده است که یکی از عمده‌ترین پیامدهای آن بالا رفتن میانگین دمای کره زمین می‌باشد. در این ارتباط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

شهر مشهد که به‌علت 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 تغییرات خاصی در آن ایجاد شده است، 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 گروه های مختلف تخصصی در سازمان هواشناسی 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 است که قادر باشند با تقریب مناسب و درحد اعتماد قابل قبولی وضعیت عناصر اقلیمی را در آینده ارائه نمایند. در این مقاله سعی می‌شود با روش‌های ساده و درعین حال معتبر، این امر تحقق یابد.

ایجاد بانک‌های اطلاعاتی اولیه

به منظور آشکار سازی روند تغییرات زمانی روزهای یخبندان شهر مشهد آمار درجهٔ حرارت از ایستگاه سینوپتیک مشهد استخراج گردید. ایستگاه سینوپتیک مشهد از لحاظ جغرافیایی در موقعیت با عرض



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه سینوپتیک مشهد بر روی نقشهٔ شهر مشهد

جغرافیایی۳۶ درجه و ۱۶دقیقه شمالی و طول جغرافیایی۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی در بخش میانـی استـان خراسان قرار گرفته است.

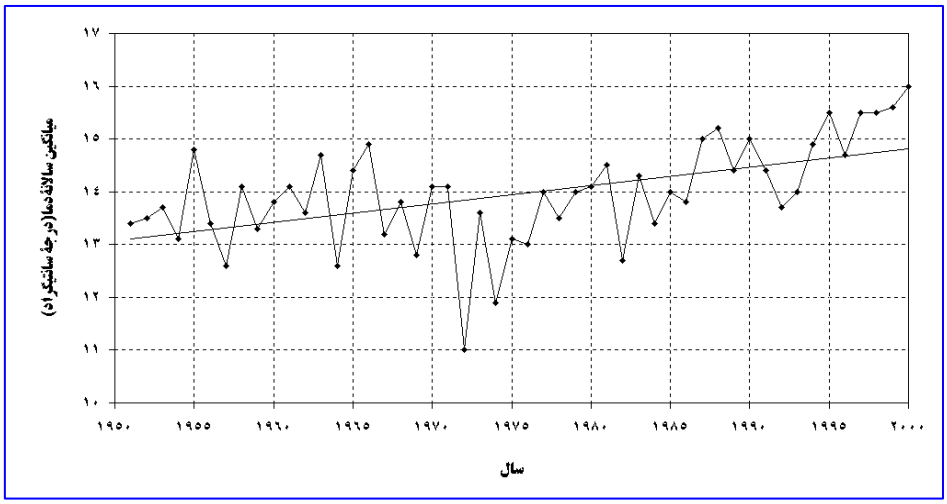
در این ایستگاه از سال ۱۹۵۰ آمار مربوط به اکثر پارامترهای اقلیمی نظیر درجهٔ حرارت، بارندگی و ... ثبت شده است که برای انجام این تحقیق از آمار مربوط به دورهٔ آماری ۲۰۰۰-۱۹۵۱ استفاده شده‌اسـت. ایـن آمار از آن جهت که توسط سازمان هواشناسی کشور جمع‌آوری و تصحیح شده است، مورد اعتماد بوده و بدون هیچگونه تغییری به‌کار گرفته شده است.

تحلیل آماری اولیه داده‌ها

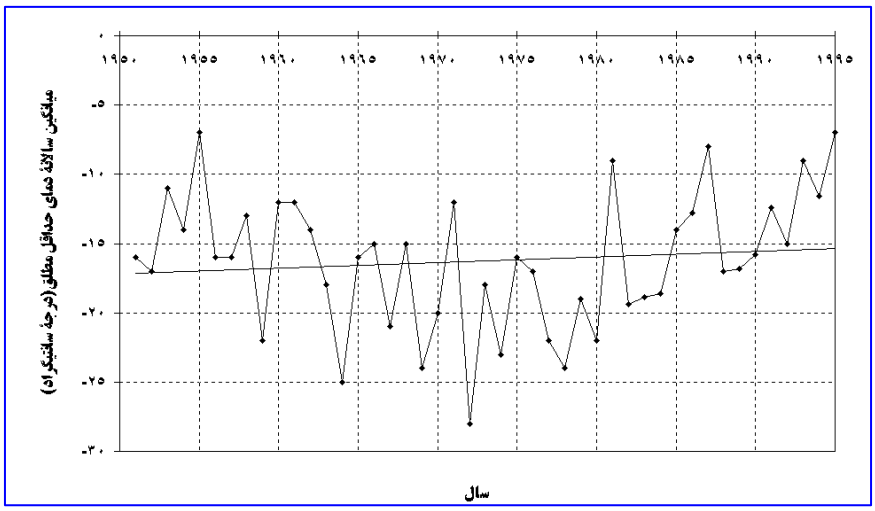
به منظور بررسی و اثبات تغییرات احتمالی روزهای یخبندان مشهد وبرزاش یک مدل سری زمانی برای آن، آمار تعداد روزهای یخبندان برای دورهٔ آماری ۲۰۰۰-۱۹۵۱ مربوط به ایستگاه سینوپتیک مشـهـد مـورد مطالعه قرار گرفت. از آنجا که آمارهای دریافتی اصلاح شده بوده و نیاز به تصحیح نـداشـت، بـدون اعـمـال هیچگونه تصحیحی از آنها استفاده شد.

در گام نخست به منظور انجام یک تحلیل آماری اولیه روی داده‌های موجود، نمودارهای مـربـوط بـه میانگین سالانهٔ دما، میانگین سالانهٔ دمای حداقل مطلق و تعداد روزهای یخبندان به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ و ۴ رسم شده‌اند.

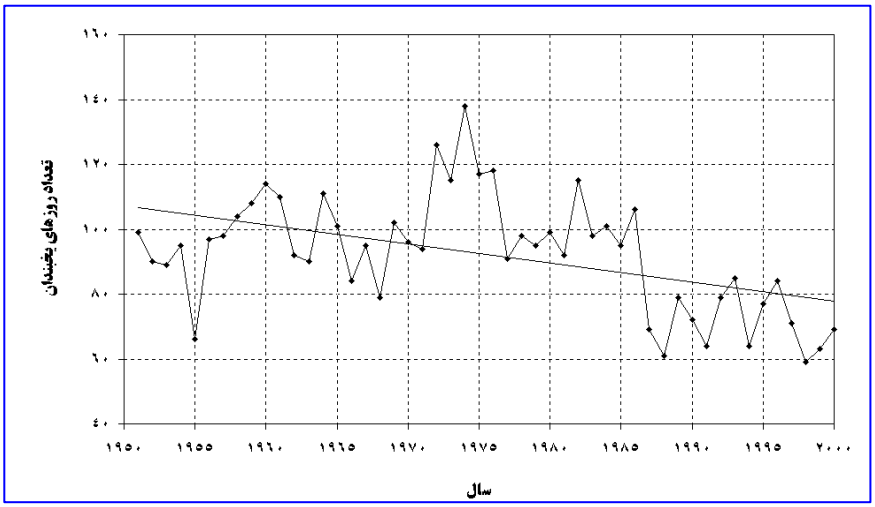
همانطور که در شکل۲ دیده می‌شود میانگین سالانهٔ دما روند صعودی دارد که به منظور درک بهتر این نکته، خط روند نیز برای آن رسم شده است که با محور افقی زاویه مثبت ایجاد کرده است. در شـکـل۳ نـیـز ملاحظه می‌شود که میانگین سالانه دمای حداقل مطلق نیز روند صعودی دارد و یک همبستگی کلـی بـیـن میانگین سالانهٔ دما و دمای حداقل مطلق به خوبی قابل مشاهده است. به‌طور کلی روزی که در آن، دما در هر لحظه از روز به زیر صفر درجهٔ سانتگراد رسیده باشد، روز یخبندان تلقی می‌شود و با توجه به این تعریـف، در شکل ۴ می‌بینیم که بر اثر وجود روند صعودی دمای شهر مشهد تعداد روزهای یخبندان نیز روند نزولی یافته‌اند و وجود یک زاویهٔ منفی بین خط روند و محور افقی نیز مبین این نکته است.



شکل ۲- نمودار تغییرات میانگین سالانه دمای شهر مشهد در طول دورهٔ آماری ۲۰۰۰-۱۹۵۱



شکل ۳- نمودار تغییرات میانگین سالانهٔ دمای حداقل مطلق شهر مشهد در طول دورهٔ آماری ۲۰۰۰-۱۹۵۱



شکل ٤- نمودار تغییرات تعداد روزهای یخبندان شهر مشهد در طول دورهٔ آماری ۲۰۰۰-۱۹۵۱

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 بررسی شد. به این منظور سری آماری تعداد روزهای یخبندان شهر مشهد به ده دورهٔ مساوی تقسیم شد و سپس میانگین و واریانس هر دوره محاسبه گردید و از تقسیم بالاترین واریانس بر پایین‌ترین واریانس ضریب بارتلت محاسبه شد. هرگاه ضریب به‌دست آمده کمتر از ضریب موجود در جدول مربوط (جدول ۲ میشل- III) باشد با احتمال ۹۵ درصد داده‌ها همگن هستند یا به عبارت دیگر واریانس دوره‌های زمانی با هم برابرند(ویلک،۱۹۹۹،ص

۲۸۵). در این تحقیق ضریب محاسبه شده برابر ۷/۴۳ و ضریب جدول ۱۳/۷ است. بنابراین سری یکـنـواخـت 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 خـاص به غیر از حالت تصادفی بودن آنهاست. اگر داده‌های زمانی تحت کنترل فرآیند خاصی قرار نگیرند با همدیگـر 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)، تـغـیـیـر ناگهانی و یا نوسانات زمانی ظاهر می‌شود (علیجانی، ۱۳۷۸،ص ۶۷).

برای تشخیص بین تصادفی بودن یا نبودن تعداد روزهای یخبندان شهر مشهد از آزمون غیر پارامتـری کندال استفاده شده و به این منظور ابتدا تعداد روزهای یخبندان شهر مشهد به صورت صعودی تنظیم شـد و سپس رتبه‌های هر سال از ۱ تا ۵۰ تعیین گردید (جدول ۱). سپس با استفاده از رابطهٔ زیر ضـریـب کـنـدال محاسبه شد:

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

که در این معادله، n_i تعداد سال‌های بعد از سال مورد نظر است که رتبهٔ 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 ۱/۳۲۵ محاسبه گردید.

همچنین ضریب بحرانی کندال برای سری مورد مطالعه برابر ۰/۱۶۳ به‌دست آمد. اگر ضریب محاسـبـه شـده بیشتر از ضریب بحرانی باشد سری زمانی روند مثبت و اگر کمتر از آن باشد روند منفی است و در صورت قرار گرفتن در محدودهٔ آن، سری داده‌ها ماهیت تصادفی دارند (تارکش و همکاران،۲۰۰۲،ص ۲۵). با توجه به مقادیر محاسبـه شـده، سری داده‌های مورد مطالعه، ماهیت تصادفی نداشته و روند نزولی دارند.

تا این مرحله مشخص شد که سری داده‌ها دارای روند نزولی است اما مشخص نیست که آیا این رونـد بـطـور مداوم ادامه دارد یا نه. برای ارزیابی میزان تداوم روند داده‌ها، ضریب خود همبستگی سری مورد مطالعه، محاسبه گردیـد و ضرایب همبستگی مربوط به تأخیر یک ساله برابر با ۰/۶۳ ، دو ساله برابر با ۰/۵۴ و سه ساله برابر با ۰/۴۲ بـه دسـت آمد. به منظور تشخیص معنی‌دار بودن ضرایب حاصله، ضریب بحرانی از رابطهٔ زیر محاسبه شد:

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

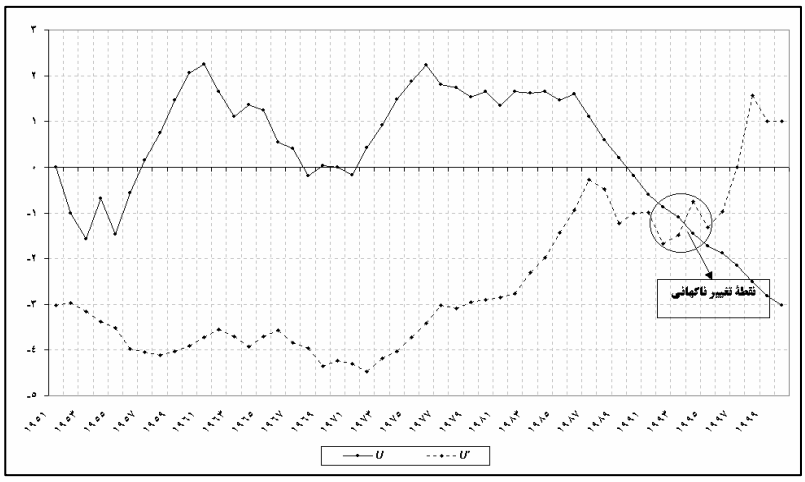
که در آن Z نمره استاندارد درصد احتمال یک طرفه در جدول منحنی نرمال است که با احتساب نمرهٔ ۱/۶۴۵ برای احتمال ۹۵ درصد، مقدار r برابر با ۰/۲۲ محاسبه شد(شریفی،۱۳۸۰،ص ۵۶). بنابراین سری زمانی مـورد مطالعه تا اندازه‌ای روند کاهشی مداوم دارد یعنی اینکه این روند در سال‌هایی یا سالی به هم خورده است.

برای تشخیص نقطهٔ چشم‌گیر این روند نزولی، توزیع فراوانی رتبه‌های سری داده‌ها براساس روش Mann-Kendall در شکل ۵ رسم شده است. در این شکل منحنـی (u) توزیع افزایشی سال‌های مورد نظر (u`) توزیع فراوانی معکوس منحنی (u) را نشان می‌دهد (رحیم‌زاده و همکـاران،۱۳۷۶،ص ۳۴) طبق شکل ۵ در طول دورهٔ آماری موجود، دو روند نزولی مـعـنـی‌دار و دو روند صعودی معنـی‌دار مشاهده می‌گردد و در یک نقطه نیز تغییر ناگهانی به‌وجود آمده است که در حد اعتماد ۹۵٪ معنی دار نیست.

جدول ۱- رتبه‌های سال‌های دوره مورد مطالعه براساس روند صعودی[1]

سال	۱۹۵۱	۱۹۵۲	۱۹۵۳	۱۹۵۴	۱۹۵۵	۱۹۵۶	۱۹۵۷	۱۹۵۸	۱۹۵۹	۱۹۶۰
رتبه	۱۶	۳۱	۳۳	۲۳	۴۵	۲۱	۱۸	۱۲	۱۰	۷
سال	۱۹۶۱	۱۹۶۲	۱۹۶۳	۱۹۶۴	۱۹۶۵	۱۹۶۶	۱۹۶۷	۱۹۶۸	۱۹۶۹	۱۹۷۰
رتبه	۹	۲۸	۳۲	۸	۱۴	۳۵	۲۴	۳۷	۱۳	۲۲
سال	۱۹۷۱	۱۹۷۲	۱۹۷۳	۱۹۷۴	۱۹۷۵	۱۹۷۶	۱۹۷۷	۱۹۷۸	۱۹۷۹	۱۹۸۰
رتبه	۲۷	۲	۵	۱	۴	۳	۳۰	۱۹	۲۵	۱۷
سال	۱۹۸۱	۱۹۸۲	۱۹۸۳	۱۹۸۴	۱۹۸۵	۱۹۸۶	۱۹۸۷	۱۹۸۸	۱۹۸۹	۱۹۹۰
رتبه	۲۹	۶	۲۰	۱۵	۲۶	۱۱	۴۳	۴۹	۳۸	۴۱
سال	۱۹۹۱	۱۹۹۲	۱۹۹۳	۱۹۹۴	۱۹۹۵	۱۹۹۶	۱۹۹۷	۱۹۹۸	۱۹۹۹	۲۰۰۰
رتبه	۴۶	۳۹	۳۴	۴۷	۴۰	۳۶	۴۲	۵۰	۴۸	۴۴

۱ - آمار نامهٔ سازمان هواشناسی کشور، سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۵۱



شکل ۵- نمودار $u`,u$ مربوط به تعداد روزهای یخبندان شهر مشهد

به منظور مشخص نمودن تغییر کل روزهای یخبندان شهر مشهد در دورهٔ مورد مطالعه، ضریب همبستگی و معادلهٔ رگرسیون روزهای یخبندان و سال‌های دورهٔ آماری محاسبه شد و مقدار ضریب همبستگی برابر با ۰/۲۳ و معادلهٔ رگرسیون به‌صورت $y= 107/35-0.59x$ به‌دست آمد و مشخص شد که سری زمانی با سال‌های دورهٔ مطالعه همبستگی معنی‌داری دارد و کل مقدار تغییرات آن ۲۹/۵- روز است.

نوسانات زمانی تعداد روزهای یخبندان مشهد

به منظور نشان دادن نوسانات زمانی تعداد روزهای یخبندان در مشهد میانگین متحرک ۹ ساله به‌کار برده شد و در این روش موج‌های بلند مدت تغییرات مشاهده می‌شود. برای مقایسه این موج‌ها با تغییرات واقعی تعداد روزهای

یخبندان منحنی تغییرات میانگین متحرک ۹ ساله به همراه تغییرات واقعی آن نشان داده شده است. همان‌طور کـه در شکل (۶) دیده می‌شود، میانگین متحرک، تغییرات چشمگیر واقعی را تا اندازه‌ای صاف نموده است و در مجموع دو موج نسبتاً بلند کامل و یک موج ناقص در انتهای دوره وجود دارد. یک فراز کامل تقریباً در نیمه اول دوره و یک فراز نـاقـص در نیمه دوم دیده می‌شود. فرود این تغییرات در اوایل دهه ۷۰ مشاهده می‌شود. هر یک از این موج‌های بلند، موج‌هـای کوتاه و کم دامنه‌ای را نیز نشان می‌دهند. در مجموع دوره دوم گرمتر از نیمه اول است. به طوری که تقریباً بیشـتـریـن روزهای یخبندان در نیمه اول با کمترین تعداد روزهای یخبندان در نیمه دوم منطبق شده است.

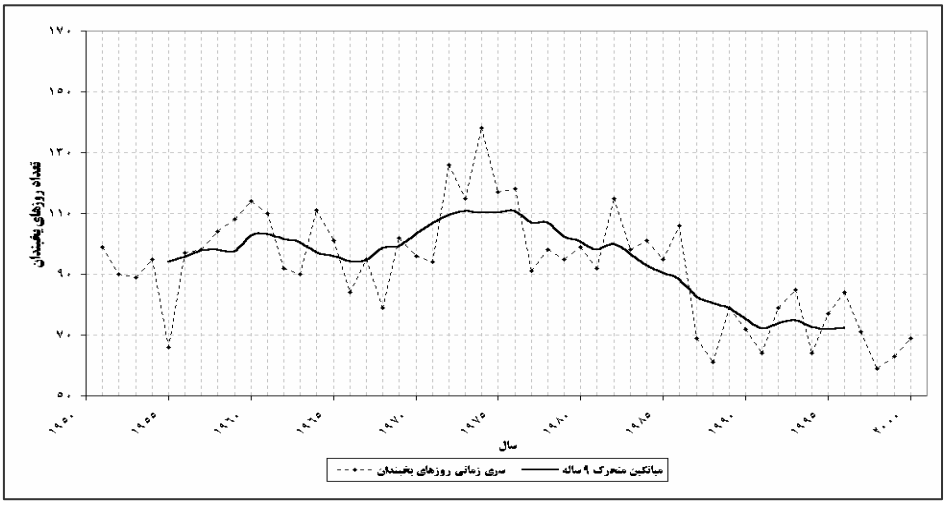
در مجموع روند عمومی کاهشی بوده و فقط یک موج کم عمق در دهه ۶۰ مشاهده می‌شود. به‌طـوری که سال ۱۹۶۰ بالای فراز و سال ۱۹۶۷ فرود را نشان می‌دهد. منحنی میانگین متحرک در دهه‌های ۷۰ و ۸۰ حالت کاهشی یکنواخت‌تری دارد.

در یال فروکش موج دوم، روند کاهش تعداد روزهای یخبندان در سال ۱۹۹۴ تغییر کرده است و شیـب تغییرات کمتر شده است. اما در مجموع تعداد روزهای یخبندان از سال ۱۹۷۴ یک روند کاهشی را پیش گرفته است.

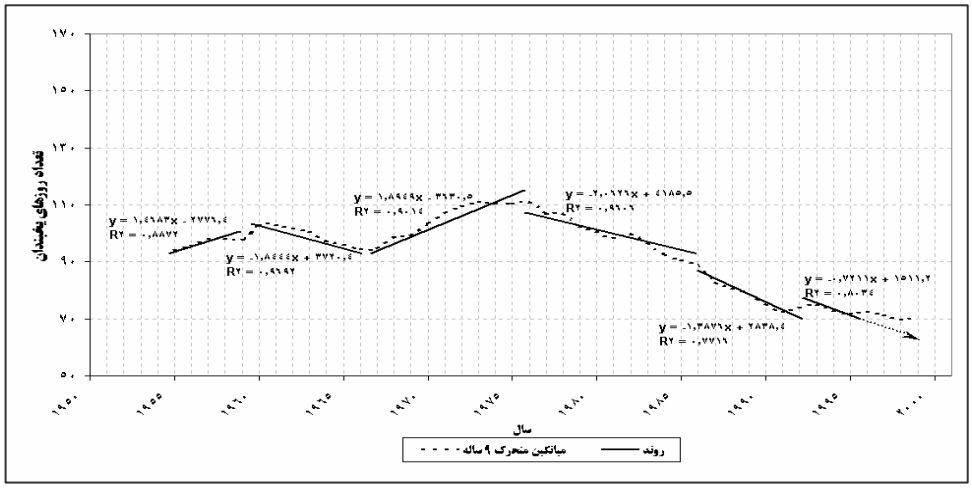
به منظور نمایش دقیق‌تر ویژگی نوسانی تعداد روزهای یخبندان مشهد با استفاده از روش رگـرسـیـون ماهیت روند داده‌ها استخراج شد و در نتیجه ویژگی نوسانی به وضوح معلوم گشت. روندهای استخراج شده بـر اساس میانگین متحرک ۹ ساله تهیه شده و در شکل ۷ نمایش داده شده است. همانطور که در شکـل۷ نـیـز ملاحظه می‌شود تمامی روندها از ۱۹۷۴ به بعد شیب منفی دارند که این شیب در سال ۱۹۸۶ و ۱۹۹۴ تغـیـیـر کرده و به سمت مقادیر تعداد روزهای یخبندان کمتر در حال حرکت می‌باشد.

برازش یک مدل سری زمانی مناسب بر داده‌ها:

پس از تجزیه و تحلیل روند تغییرات روزهای یخبندان شهر مشهد در طول دورهٔ آماری ۲۰۰۰–۱۹۵۱، در ایـن مرحله سعی خواهد شد با استفاده از روش Box-Jenkins یک مدل سری زمانی مناسب برای داده‌ها برازش داده شـود. بنابراین در مرحله اول بایستی داده‌ها نرمال شوند و به این منظور در شکل ۸ نمودار P-P مربوط به سری زمانی مـورد



شکل ٦- منحنی توام میانگین متحرک ۹ ساله و سری زمانی واقعی تعداد روزهای یخبندان مشهد



شکل ۷- منحنی توام میانگین متحرک ۹ ساله و روند تعداد روزهای یخبندان در مشهد

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 به‌صورت توزیع نرمال نزدیک کرد (قیامی و شهاب‌فر،۱۳۸۰،ص ۲۴۷).

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 ۹ نیز مؤید این نکته است. مرحلهٔ بعدی بررسی ایستایی و حذف واریانس داده‌ها می‌باشد که با توجه به نمودارهای PACF, ACF که به ترتیب در شکل‌های۱۰ و ۱۱ رسم شده‌اند سری ایجاد شده تقریباً از حالت ایستایی، برخوردار است.

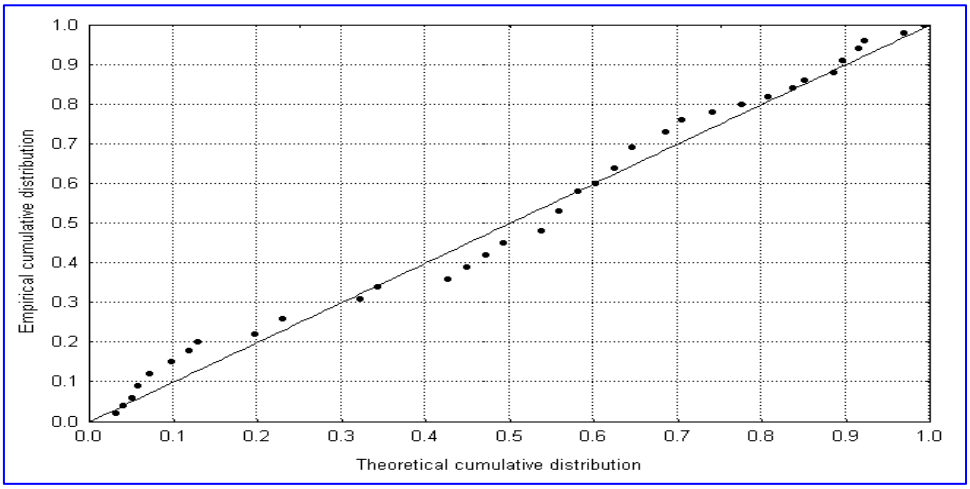
در مرحله نهایی بایستی نوع مدل سری زمانی که بهترین برازش را بر داده‌ها دارد، تعیین شود. بنابراین با توجه به نمودارهای PACF و ACF ، مدل سری زمانی (۱،۱،۰) ARIMA برای داده‌های مورد مطالعه، مناسب تشخیص داده شد و برای درک بهتر آن منحنی مقادیر مشاهده شده به همراه مقادیر برازش داده شده در شکل ۱۲ نمایش داده شده است.

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

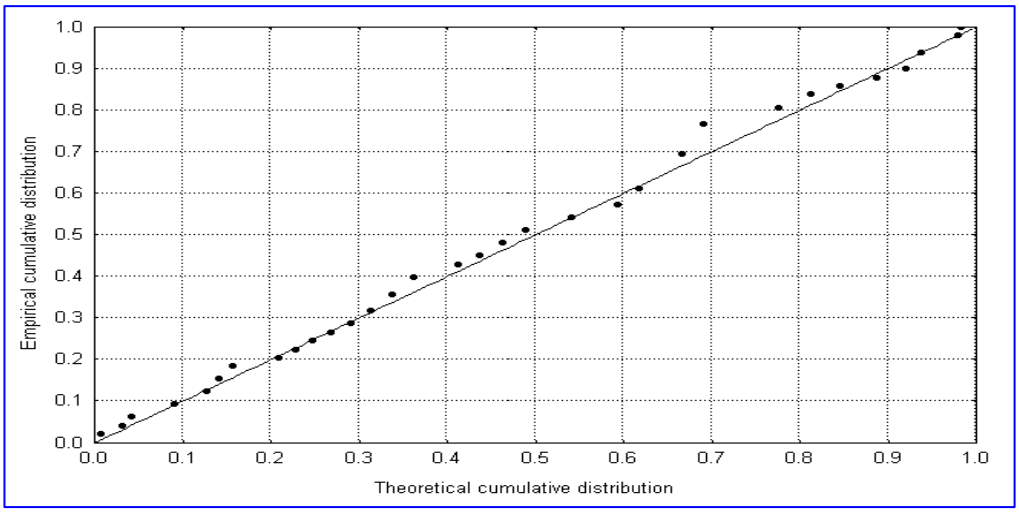
$$Z_t = -0/4157 \quad Z_{t-1} + 0/852$$

به منظور آزمون برازش مدل سری زمانی از روش رگرسیون بهره‌گیری شد. در شکل (۱۳) مقادیر تعداد روزهای یخبندان مشاهده شده و محاسبه شده در مقابل یکدیگر رسم شده‌اند و بهترین خطی که شامل تمامی نقاط بوده و یا اینکه کمترین فاصله را داشته باشد، رسم شده است که معادله این خط رگرسیون به صورت $Y=0/988X$ و $R^2=0/86$ می‌باشد، بنابراین نتیجه‌گیری شد که مدل سری زمانی ارائه شده در حد اعتماد مورد قبولی بر داده‌ها برازش دارد.

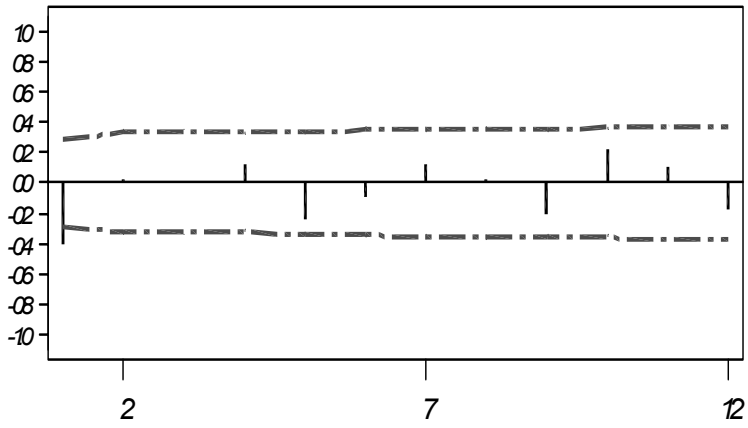
با استفاده از این رابطه، به منظور تعیین میزان دقت مدل به‌دست آمده، تعداد روزهای یخبندان مشهد در سال ۲۰۰۱ توسط مدل محاسبه گردید که مقدار آن برابر ۶۰ روز است و مقدار واقعی آن ۵۸ روز می‌باشد که این امر بیانگر وجود خطایی در حدود ۳/۳ درصد در مدل ارائه شده است.



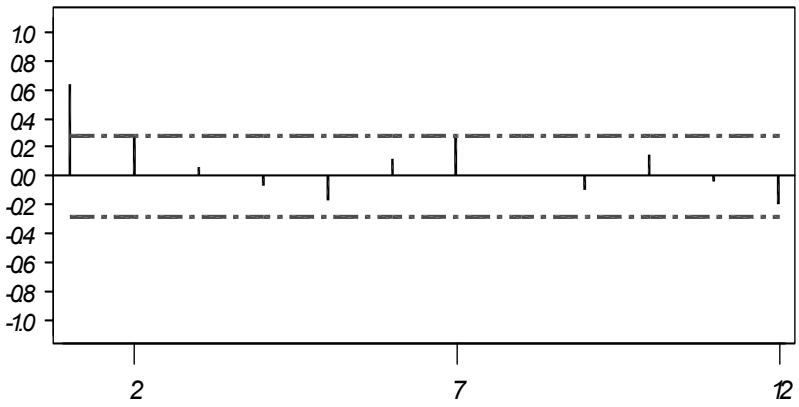
شکل ۸- منحنی P-P سری زمانی در حالت اولیه



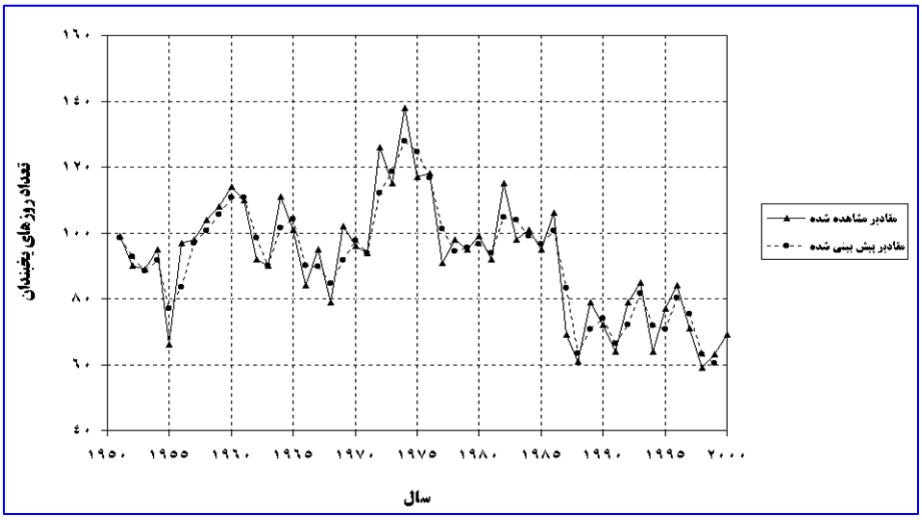
شکل ۹- منحنی P-P سری زمانی در حالت نرمال شده



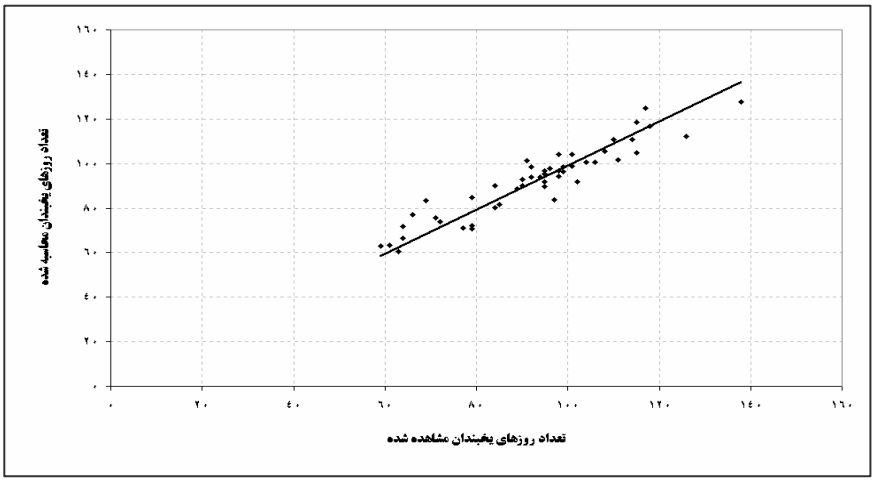
شکل ۱۰- منحنی ACF سری زمانی



شکل ۱۱- منحنی PACF سری زمانی



شکل ۱۲- منحنی توأم مقادیر مشاهده شده و مقادیر برازش داده شده



شکل ۱۳- خط رگرسیون رسم شده برای تعداد روزهای یخبندان مشاهده شده و محاسبه شده توسط مدل

نتایج

مطالعه حاضر نشان می‌دهد که روند کل تعداد روزهای یخبندان سالانه مشهد در حال کاهش است که این امر مبین افزایش دمای مشهد بوده و از نشانه‌های آن گرمای نسبی زیادی است که در سال‌هـای اخیـر شاهد آن بوده‌ایم.

با توجه به نمودار روزهای یخبندان مجموعاً دو موج بلند کامل و یک موج ناقص در انتهای دوره وجود دارد، به‌طوری‌که نمودار نشان می‌دهد دوره اول سردتر از دوره دوم می‌باشد که نقطه اوج آن سال ۱۹۷۴ است. در رابطه با سال‌هایی که مجموع روزهای یخبندان آن بالاتر از میانگین می‌باشد می‌توان علل خاصی را بـرای آن بر شمرد از جمله عوامل اقلیمی بزرگ مقیاس مانند تغییر در الگوی بادهای سیاره‌ای و از عـوامـل مـهـم منطقه‌ای ورود توده هواهای سرد و پرفشار قطبی قاره‌ای (dp) که در فصل سرد از طریق شمال و شمال‌شـرق کشور بخصوص مرزهای شمالی خراسان وارد استان می‌شود و در سال‌هایی که این سـیـسـتـم قـوی بـوده زبانه‌های آن حتی از مرزهای داخل استان نیز فراتر رفته به‌طوری‌که تا جنوب و جنوب غرب کشور نیز گسترش یافته است. در برخی شرایط خاص در فاصله دورتری از کشور آنتی سیکلون‌ها به‌صورت مانع عمل نموده کـه اثرات آن تا حدودی در وضعیت جوی کشور و استان تاثیر داشته است. البته شرایط مانع در مقیاس‌های محلـی نیز اتفاق می‌افتد در این حالت ممکن است آنتی سیکلون به مدت چند روز بر روی محل مستقر شده و حرکت سیکلون‌ها را بسمت شمال و جنوب منطقه منحرف نماید که از عوارض آن استقرار توده هوای سرد، افـزایـش روزهای یخبندان و فقدان بارندگی در منطقه است. اما در مجموع دوره دوم گرمتر از دوره اول می‌باشد کـه از دلایل آن به جز کاهش ورود سیستم های پرفشار به منطقه، می‌توان به توسعه گسترده شهر مشهد، افـزایـش بی‌رویه جمعیت شهرنشین، احداث ساختمان‌های مسکونی و تجاری متراکم، گسترش تاسـیـسـات حـرارت‌زا، افزایش وسایط نقلیه موتوری و نهایتاً ایجاد جزیره حرارتی اشاره کرد که نتیجه آن افزایش گازهای گلخانـه‌ای، افزایش دمای شهر و کاهش روزهای یخبندان می‌باشد. از سوی دیگر علیرغم روند کاهش روزهای یخبندان در طی دوره مطالعه میزان همبستگی روزهای یخبندان چندان زیاد نیست، بنابراین روند خطی ویژگی غالب تعداد روزهای یخبندان مشهد نمی‌باشد و در طی دوره مطالعه نوسان‌های کوتاه مدت مشاهده می‌شود و به عـبـارت دیگر ویژگی عمده تعداد روزهای یخبندان مشهد ماهیت نوسانی بودن آن است.

تقدیر و تشکر

نگارندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از جناب آقای دکتر علیجانی که در انجام این تحقیق نهایـت همکاری را داشتند تقدیر و تشکر نمایند. همچنین از جناب آقای دکتر بداق‌جمالی ریاست محترم پژوهشـکـده اقلیم‌شناسی که امکانات لازم برای انجام این تحقیق را فراهم نمودند تقدیر و تشکر 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، دانشکدهٔ مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۰.

۳– علیجانی، ب. "تغییرات زمانی دمای تهران"، اولین کنفرانس تغییر اقلیم، ۱۳۷۸.

۴– قیامی، ع.، شهابفر، ع. "ارزیابی روش‌های نکویی برازش توابع توزیع‌های آماری بر سری سالانهٔ 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 Changes 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.