

بررسی روند تغییرات حدی دمای شهر مشهد در مقیاس‌های مختلف

شیده شمس^{۱*} - محمد موسوی بایگی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۱۳

چکیده

مشهد دومین شهر پرجمعیت ایران بوده، که از لحاظ زیارتی، اقتصادی و کشاورزی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. با توجه به اهمیت شناخت تغییر عناصر اقلیمی و اثرات آن در سیاست‌گذاری‌های آینده، در این مطالعه به بررسی تغییرات دماهای حداکثر و حداقل سالانه، فصلی، ماهانه و روزانه‌ی شهر مشهد به کمک آزمون‌های SNHT, Pettitt, Buishand, Von-Neumann و کندال-تاو پرداخته شد. نتایج بدست آمده از این مطالعه حاکی از افزایش دمای مشهد بود، مقایسه‌ی نتایج نشان داد که در طی ۶۰ سال گذشته (۱۹۵۱-۲۰۱۰) روند افزایشی دمای حداقل سالانه ۲ برابر دمای حداکثر می‌باشد (۰/۶۲ در برابر ۰/۳۱). نتایج آزمون‌های فصلی نیز نشان دهنده‌ی افزایش دما در کلیه‌ی فصول سال می‌باشد، در این میان تنها روند افزایشی دمای حداکثر فصل زمستان در سطح ۹۵٪ معنی‌دار نگردید. همچنین دمای حداقل فصل پاییز با شیب افزایشی ۰/۰۷۴ بیشترین نرخ افزایش دما را نشان می‌دهد. همانند اختلاف میان سری داده‌های سالانه در کلیه‌ی فصول روند افزایشی دمای حداقل بیشتر از حداکثر بدست آمده است، مقایسه‌ی میان روندهای ماهانه دمای حداکثر و حداقل نیز نتایج مشابهی را نشان می‌دهد. همچنین نشان داده شد که روند افزایشی دمای حداقل تقریباً از سال ۱۹۸۵ بیشتر شده است، در حالی که در دمای حداکثر این نقطه‌ی تغییر نزدیک به سال ۱۹۹۵ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: روند تغییرات دما، دمای حداکثر، دمای حداقل

مقدمه

با توجه به آن که گرمایش جهانی هوا تأثیر بسیار زیادی بر حیات بشر در کره زمین دارد، بخش بزرگی از تحقیقات اقلیم‌شناسی در سراسر دنیا به بررسی روند دما در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی، تغییرات گذشته و پیش‌بینی دمای سال‌های آتی اختصاص داده شده است (۸، ۹ و ۱۳). بر اساس گزارش آکادمی ملی آیالات متحده آمریکا (۱۴) در قرن گذشته دمای جهانی سطح زمین دارای افزایش ۰/۴ تا ۰/۸ درجه سانتی‌گرادی بوده است. تغییرات دمایی از اواخر قرن بیستم (یک چهارم آخر) با سرعتی بیش از قبل افزایش یافته است (۱۸). نکته شایان توجه و نگران‌کننده آن است که روند افزایش دما در اواخر قرن بیستم در عرض‌های میانی نیم‌کره‌ی شمالی (که کشور ایران در آن واقع شده) از سایر نقاط جهان بیش‌تر بوده است (۱۶). بررسی‌های انجام شده در پهنه‌های گوناگون حاکی از افزایش دما در دهه‌های اخیر می‌باشد. به طور نمونه یافته‌های محققان نشان

دهنده‌ی افزایش دمای سالانه‌ی ۴۶ ایستگاه ژاپن در محدوده ۰/۴۷ تا ۳/۶۹ درجه سانتی‌گرادی در طی سال‌های ۱۹۰۰ تا ۱۹۹۶ بود (۱۹). همچنین در مناطق مختلف ایتالیا افزایش ۰/۴ درجه سانتی‌گرادی در فصل زمستان نشان داده شده است (۱۲).

نوریان (۵) افزایش ۰/۴۵ درجه سانتی‌گرادی دما در ایستگاه‌های هواشناسی زمینی و دریایی ایران را نسبت به سده‌ی گذشته نشان داد. مسعودیان (۴) با بررسی آمار ۵۰ ساله (۲۰۰۰-۱۹۵۱) دمای شبانه، روزانه و شبانه روزی ایران، یک روند افزایشی با آهنگ تقریبی ۰/۳ و ۱ و ۲ درجه سانتی‌گراد در هر صد سال را ارائه نمود. شیرغلامی و قهرمان (۲) نشان دادند در دوره زمانی ۱۹۶۸ الی ۱۹۹۸ از میان ۳۴ ایستگاه سینوپتیک منتخب ایران ۴۴، ۱۵ و ۴۱ درصد از ایستگاه‌ها به ترتیب دارای روندی مثبت و منفی و بدون روند هستند که البته توزیع جغرافیایی آن‌ها از الگوی خاصی تبعیت نمی‌کند.

محمدی و همکاران (۳) با استفاده از مدل ترکیبی MAGICC SCENGEN روند افزایشی دما را برای دهه‌های آینده پیش‌بینی نمودند. بررسی آن‌ها نشان داد که افزایش دما از سال ۲۰۲۵ مقدار بیشتری را خواهد داشت. آن‌ها همچنین نشان دادند که افزایش دما در نواحی جنوبی و مرکزی ایران، از روند افزایشی دما در نواحی شمالی بیشتر است. نتایج حاصل از بررسی خوش‌اخلاق و همکاران (۱) نیز

۱ و ۲ - دانشجوی دکتری و استاد هواشناسی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(Email: sh.shideh@gmail.com)

* - نویسنده مسئول:

3- National Academy

روزهای قبل و بعد از آن مقایسه گردید، تا از صحت این آمار نیز اطلاع حاصل شود. در صورتی که صحت این داده‌ها مورد تأیید قرار نگیرد، داده حذف گردیده و مجدداً شبیه سازی می‌گردد.

در این مرحله تفاوت میان دمای روزانه با متوسط دمای همان روز از سال در طی دوره‌ی آماری محاسبه گردید. همچنین برای هر روز از سال، با توجه به دوره‌ی آماری موجود انحراف از معیار بدست آمد. در صورتی که اختلاف دمای روزانه از میانگین، بیشتر از ۴ برابر انحراف معیار دما در همان روز گردد، داده‌ی همان روز از سری آماری داده‌ها حذف گردیده و به بازسازی آن اقدام شد (spatial coherency).

آزمون‌های همگنی

به منظور بررسی انحراف‌های احتمالی در سری داده‌ها ۴ تست Petite's (۱۱)، Standard normal homogeneity test (SNHT) (۱۵)، test von Neumann's ratio test و (۷) Buishand's test (۱۷) مورد استفاده قرار گرفت.

فرضیه‌ی تمامی این تست‌ها به صورت زیر است:

فرض H_0 : داده‌ها همگن می‌باشند.

فرض H_a : تاریخی وجود دارد که از آن تاریخ تغییری در داده‌ها مشاهده می‌شود، به این تاریخ نقطه‌ی تغییر اطلاق می‌شود.

در صورتی که p-value مشاهده شده کمتر از سطح معنی‌داری $\alpha = 0.05$ باشد، فرض H_0 رد شده و H_a مورد قبول واقع می‌شود.

سه آزمون اول این امکان را می‌دهد تا بتوان نقطه‌ی تغییر را تعیین نمود. تست چهارم (VNRT)، درصد عدم تصادفی بودن داده‌ها را بیان می‌کند، که می‌تواند نشانه‌ای از وجود روندی معنی‌دار در سری زمانی موجود باشد. همچنین بایستی خاطر نشان نمود که روش SNHT، به تقاطع تغییر در ابتدای دوره‌ی آماری حساسیت بیشتری دارد، در حالی که دو روش Buishand و Pettitt در میانه‌ی سری زمانی، از دقت بالاتری برخوردار می‌باشند.

در این مطالعه پس از تعیین نقاط تغییر توسط آزمون‌های مختلف، نقاط تغییر بدست آمده با یکدیگر مقایسه گردید. سپس سالی به عنوان نقطه‌ی تغییر در نظر گرفته شد که حداقل دو آزمون آن را به عنوان نقطه‌ی تغییر تشخیص داده بودند. در صورتی که هر سه آزمون هر کدام نقاط تغییر متفاوتی را ارائه دهند سری آماری با توجه نقاط تغییر بدست آمده در سه نوبت شکسته شده و سری‌های بدست آمده مجدداً توسط آزمون‌های همگنی مورد مطالعه قرار گرفتند. بنابراین بدین صورت می‌توان تشخیص داد که آیا در سری آماری دو نقطه‌ی تغییر وجود دارد و یا خیر.

آزمون کندال - تاو

پس از بررسی همگنی داده‌ها و تشخیص نقطه‌ی تغییر، روند

حاکمی از وجود روند افزایشی دمای حداقل در ۲۰ ایستگاه سینوپتیکی کشور می‌باشد. آن‌ها نشان دادند که نوسانات و تغییرات در مناطق ایران دارای اختلافات زیادی می‌باشد، به طوری که ایستگاه‌های شمال-غرب و نواحی کوهستانی منفرد کشور تغییرات شدید مکانی و زمانی داشته در حالی که تغییرات در ایستگاه‌های مرکزی و جنوبی ملایم‌تر بوده است. ورشاپیان و همکاران (۶) نیز، با بررسی دماهای حدی (حداکثر و حداقل)، هشت ایستگاه سینوپتیک در ایران نشان دادند که اغلب ایستگاه‌ها روند افزایشی معنی‌داری خصوصاً در دمای حداقل دارند.

مواد و روش‌ها

از آن جایی که در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های خرد و کلان، شناخت اقلیم و چگونگی رفتار آن امری ضروری می‌باشد، در تحقیق حاضر تغییرات دمای حداکثر و حداقل روزانه‌ی ایستگاه سینوپتیک مشهد (دومین شهر پرجمعیت ایران) را مورد بررسی قرار داده است. بدین منظور آمار روزانه‌ی ۶۰ ساله‌ی ایستگاه سینوپتیک مشهد از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ از سازمان هواشناسی شهرستان مشهد اخذ گردید. شهر مشهد در عرض جغرافیایی ۳۶° ۱۶' شمالی و طول جغرافیایی: ۵۹° ۳۸' شرقی با ارتفاع ۹۹۹/۲ متر از سطح دریا در شمال شرق کشور ایران واقع شده است.

آزمون کیفیت داده‌ها

پیش از شروع بررسی در ابتدا کیفیت و صحت داده‌ها به کمک ۵ روش مورد بررسی قرار گرفت (۱۰). نخستین آزمون، چک کردن داده‌های بیشینه و کمینه برای سری‌های دمای حداکثر و حداقل بود. در این پژوهش بررسی گردید که داده‌های دمایی از حد معینی تجاوز نموده باشند و یا از مرز مشخصی کمتر نباشند (gross errors). این محدوده برای دمای حداکثر و حداقل به ترتیب بازه‌های ۴۰ تا ۵°C- و ۲۵ تا ۲۰°C- انتخاب شده و مورد بررسی قرار گرفت. دماهایی که در محدوده‌ی انتخابی قرار نداشتند تک تک با سایر آمارهای دمایی همان روز و روزهای بعد مورد مطالعه قرار گرفتند تا از صحت آن‌ها اطمینان حاصل شود.

سپس توالی داده‌ها مد نظر قرار گرفت. به نحوی که در مواردی که برای بیشتر از ۴ روز متوالی دمای یکسان ثبت شده بود، آمار این روزها حذف گردیده و سپس این مقادیر با روش‌های آماری شبیه‌سازی شدند. علاوه بر آن بررسی گردید که در طی ۵۰ سال آماری موجود همواره دمای حداکثر از دمای حداقل بیشتر باشد. در گام بعدی اختلاف دمای هر روز با روز بعد از محاسبه شده و روزهایی که اختلاف دمایی بیش از ۸ درجه سانتی‌گراد بود مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های این روزهای با دمای حداکثر، حداقل و دمای خشک

تغییرات دما توسط آزمون کندال-تاو مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی معنی‌داری روند تغییرات دما در ابتدا کل دوره‌ی آماری مورد بررسی قرار گرفت، سپس با توجه به نقطه‌ی تغییر بدست آمده، سری داده‌ها به دو سری دیگر تقسیم شده و روند دما در آن سری‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفت. بدین گونه توانایی تشخیص وابستگی تغییرات معنی‌دار به دما فراهم گردید. همچنین به منظور محاسبه‌ی شیب تغییرات از برآوردگر سن استفاده شد.

در این مطالعه‌ی سری آماری داده‌های دمای حداکثر و حداقل در مقیاس‌های زمانی سالانه، فصلی و ماهانه توسط آزمون‌های همگنی و نیز روندیابی کندال-تاو مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین سری روزانه همین پارامترها نیز توسط آزمون کندال-تاو بررسی شده و شیب تغییرات و معنی‌داری این تغییرات در روزهای مختلف سال تعیین گردید.

نتایج

آزمون کیفیت داده‌ها

در بررسی دماهای حداکثر، خارج از محدوده‌ی مجاز (40°C ، -5°C)، مشخص گردید که در مجموع ۳۱ روز از طی دوره‌ی آماری دمای بالاتر از 40°C درجه سانتی‌گراد را نشان داده‌اند. پراکنش این روزها از ۱۳ جون تا ۹ سپتامبر می‌باشد. همچنین در این سری آماری ۴۰ روز با دمای حداکثر پایین‌تر از 5°C ثبت شده است، که از این تعداد به ترتیب ۸، ۲۶ و ۶ روز مربوط به ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه می‌باشند. علاوه بر آن مقایسه‌ی دمای حداکثر در این روزها با دمای حداقل و دمای خشک در همان روز و پارامترهای مشابه در روزهای نزدیک به روز مورد نظر نیز همگی صحت داده‌ها را تأیید نمود.

از میان ۳۱ روز ثبت شده برای دماهای بالاتر از 40°C درجه‌ی سانتی‌گراد تنها ۴ روز آن در سال‌های ۱۹۸۳ و ۱۹۸۸ رخ داده بود و مابقی ۲۷ روز در سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۰ پراکنده شده بود، که از این میان ۱۶ روز با درجه حرارت بالاتر از 40°C درجه‌ی سانتی‌گراد، از سال ۲۰۰۱ به بعد رخ داده بود. علاوه بر آن از ۴۰ داده‌ی ثبت شده برای دماهای پایین‌تر از 5°C درجه‌ی سانتی‌گراد نیز ۲۸ مورد آن (۷۰ درصد) در طی سال‌های ۱۹۶۳ تا ۱۹۸۶ رخ داده و مابقی این روزها برای سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۸، ثبت شده است. با یک دید اجمالی از این آمار می‌توان مشاهده نمود که دمای حداکثر در طی دو دهه‌ی گذشته روندی افزایشی داشته است.

بررسی داده‌های دمای حداقل نشان داد که در طی ۵۰ سال آماری مورد بررسی (۱۸۲۶۲ روز)، تنها برای ۱۷ روز دمای حداقل بالاتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد ثبت شده بود. از میان این داده‌ها ۱۴ روز آن در ماه جولای و ۳ روز باقی مانده در ماه آگوست (تیر و مرداد) می‌باشند. تعداد روزهای ثبت شده که دمای آن کمتر از حد مورد نظر

بود به ۳۲ روز می‌رسید. این روزها بین ۲۸ دسامبر تا ۱۵ فوریه در سال‌های مختلف در نوسان می‌باشند. مشاهده‌ی آمار این روزها نشان می‌دهد که ۱۳ روز از این ۳۲ روز در سال ۱۹۷۲ رخ داده است که گویای برودت آن سال می‌باشد. علاوه بر آن مشخص می‌گردد که ۳۱ روز از این سری داده در طی سال‌های ۱۹۶۴ الی ۱۹۷۸ رخ داده است و تنها یک روز از سردترین روزهای ثبت شده در سال ۲۰۰۸ به وقوع پیوسته است. همچنین بررسی‌ها نشان داد که در میان بالاترین دماهای حداقل ثبت شده (۱۷ مورد)، ۱۵ مورد آن در سال ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۸ حادث شده است، که این مقایسه نیز می‌تواند به طور بسیار کلی حاکی از بالا رفتن دمای حداقل در طی دوره‌ی آماری مورد بررسی باشد، که با نتایج بدست آمده از آمار دماهای حداکثر همخوانی دارد.

بررسی دمای حداکثر روزانه نشان داد که به طور کلی ۵۱ دسته از روزها (۲۲۴ روز) در ۴ روز متوالی و یا بیشتر دارای آمار یکسان بودند. علاوه بر آن دمای حداقل نیز نشان داد که در ۴۵ دسته (۱۹۰ روز) از داده‌های روزهای متوالی دماهای یکسان ثبت شده است. آمار این روزها از سری داده‌ها حذف گردیده و سپس بازسازی شدند.

بررسی دمای روزهایی که اختلاف میان آن دو روز بیشتر از 8°C بود، با داده‌های دمای حداکثر، حداقل و خشک همان روز و روزهای قبل و بعد از آن حاکی از صحت اکثر این داده‌ها بود. با توجه به آمار مشخص می‌شود که برای دمای حداکثر ۵/۹ درصد و برای دمای حداقل ۶/۷ درصد از این روزها (۲۴ روز از ۴۰۱ روز و ۱۰ روز ۱۴۸ روز) احتمالاً از صحت کافی برخوردار نمی‌باشند. لذا از سری آماری موجود حذف گردیده و به بازسازی آن اقدام شد.

بررسی spatial coherency نشان داد در سری زمانی داده‌های حداکثر و حداقل به ترتیب ۳ و ۶ روز (۰/۱۶ و ۰/۰۳ درصد از کل داده‌ها) از صحت کافی برخوردار نمی‌باشند، لذا این اعداد از مجموعه‌ی داده‌ها حذف گردیدند.

آزمون‌های همگنی و روندیابی

به منظور یافتن وجود روند معنی‌دار در سری زمانی داده‌های دمای حداکثر و حداقل و تعیین نقطه‌ی تغییر این پارامترها آزمون‌های SNHT، Pettitt، Buishabd و von Neumann مورد استفاده قرار گرفت. p-value محاسبه شده در آنالیزهای زیر به کمک روش شبیه سازی ۱۰۰۰۰ تایی مونت کارلو بدست آمده است. در این مطالعه آزمون کندال-تاو در ابتدا برای سری زمانی سال‌های ۱۹۵۱-۲۰۱۰ استفاده گردیده و سپس با توجه به نقطه‌های تغییر بدست آمده برای فصول مختلف دو سری زمانی از یکدیگر تفکیک شده و سری‌های زمانی بدست آمده مجدداً توسط آزمون کندال-تاو مورد بررسی قرار گرفتند. لازم به ذکر است که شیب تغییرات بدست آمده در این

بررسی توسط برآوردگر سن تخمین زده شد.

دمای حداکثر

در این مرحله از بررسی سری‌های زمانی دمای ماهانه، فصلی و سالانه را با کمک داده‌های روزانه بدست آورده و آزمون‌های همگنی و روندیابی روی آن‌ها بررسی شد. در ماه‌های ژانویه، فوریه، می، نوامبر و دسامبر نقطه‌ی تغییر معنی‌داری در سری زمانی داده‌ها وجود ندارد. در سایر ماه‌ها حداقل سه آزمون از ۴ آزمون، وجود نقطه‌ی تغییر معنی‌دار را نشان داده‌اند (جدول ۱).

برآوردگر سن، شیب تغییرات دمای حداکثر ماه ژانویه را ۰/۰۱۶ درجه‌ی سانتی‌گراد در سال برآورد کرد، با این حال آزمون کندال-تاو این افزایش را در سطح ۹۵٪ معنی‌دار تشخیص نداد. متوسط دمای حداکثر ماه فوریه نیز با شیب ۰/۰۰۳ درجه‌ی سانتی‌گراد در سال در حال افزایش است، با این حال روند افزایشی دما در این بازه‌ی زمانی معنی‌دار نشد (جدول ۲).

سال ۱۹۹۹ به عنوان نقطه‌ی تغییر سری دمای حداکثر ماه مارس معرفی شد (جدول ۱). آزمون کندال-تاو نشان داد که دمای حداکثر ماه مارس از سال ۱۹۵۱ تا سال ۲۰۱۰ با شیب معنی‌دار ۰/۰۵۵ درجه‌ی سانتی‌گراد در هر سال در حال افزایش می‌باشد. در حالی که شکسته شدن این دوره‌ی زمانی به سال‌های ۱۹۹۹-۱۹۵۱ و ۱۹۹۹-۲۰۱۰ روند معنی‌داری را نشان نداد.

متوسط دمای حداکثر زمستانه: آزمون‌های همگنی مورد

استفاده در سری داده‌های دمای حداکثر زمستانه نقطه‌ی تغییر معنی‌داری را نشان ندادند. همچنین آزمون کندال-تاو نیز در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ روند افزایشی دما را نشان داد، با این حال، در سطح آماری مورد بررسی (۹۵٪) معنی‌دار نگردید.

در کل نتایج حاصله از بررسی آماری دماهای ماهانه در فصل زمستان با نتایج حاصله از آزمون‌های همگنی و کندال-تاو برای فصل زمستانه هماهنگی دارد.

آزمون‌های همگنی نشان دهنده‌ی وجود نقطه‌ی تغییر معنی‌دار در سری داده‌های دمای حداکثر ماه آوریل می‌باشد (سال ۱۹۷۶). آزمون روندیابی کندال-تاو نشان داد که دمای حداکثر ماه آوریل از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ روند افزایشی معنی‌داری داشته است، که برآوردگر سن شیب تغییرات دما را ۰/۰۵۷ درجه‌ی سانتی‌گراد در هر سال تخمین زد. با شکسته شدن بازه‌ی آماری به سال‌های ۱۹۷۶-۱۹۵۱ و ۲۰۱۰-۱۹۷۶ نیز این روند افزایشی مشاهده شد، با این حال این روند در سطح آماری ۹۵٪ معنی‌دار نمی‌باشد.

آزمون همگنی متوسط دمای حداکثر در ماه می، نقطه‌ی تغییر معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۱)، بنابراین آزمون کندال-تاو تنها برای سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ بررسی شد. نتایج حاصله نشان می‌دهد

که دمای حداکثر در ماه می نیز دارای روندی افزایشی با شیب ۰/۰۲۷ می‌باشد، که این روند افزایشی در سطح ۹۵٪ معنی‌دار نمی‌باشد.

آزمون Von-Neumann وجود نقطه‌ی تغییر در سری زمانی دمای حداکثر ماه جون را تأیید نمود. با این حال سه آزمون SNHT، Pettitt و Buishand به ترتیب سال‌های ۱۹۵۷، ۱۹۷۲ و ۱۹۸۲ را به عنوان نقطه‌ی تغییر نشان دادند. با توجه به حساسیت آزمون SNHT در سال‌های اولیه دوره‌ی آماری انتخاب سال ۱۹۵۷ توسط این آزمون به عنوان نقطه‌ی تغییر دور از ذهن نمی‌باشد. آزمون کندال-تاو نشان داد که دمای حداکثر ماه جون در دوره‌ی ۱۹۵۱-۲۰۱۰، روندی افزایشی و معنی‌دار با شیب ۰/۰۰۴ درجه‌ی سانتی‌گراد در هر سال دارد. شکسته شدن این دوره‌ی زمانی به سال‌های ۱۹۵۷-۱۹۵۱ و ۱۹۵۷-۲۰۱۰، نشان داد که دما در سال‌های ۱۹۵۱ تا ۱۹۵۷ روندی کاهشی دارد، که با توجه به کوتاه بودن طول دوره‌ی آماری این روند معنی‌دار تشخیص داده نشد. اما افزایش ۰/۰۲۹ درجه‌ی سانتی‌گراد دمای حداکثر در ماه جون در فاصله‌ی سال‌های ۱۹۵۷ تا ۲۰۱۰ در سطح آماری مورد بررسی معنی‌دار شد. همچنین شکستن سری آماری به سال‌های ۱۹۷۲-۱۹۵۱ و ۲۰۱۰-۱۹۷۲ نشان داد که دما در سال‌های ۱۹۵۱ تا ۱۹۷۲ با شیب افزایشی ۰/۰۸۷ درجه‌ی سانتی‌گراد در هر سال افزایش یافته است، که این افزایش در سطح آماری ۹۵٪ معنی‌دار بود. با این حال روند افزایشی دما در سال‌های ۱۹۷۲ تا ۲۰۱۰ با توجه به آزمون کندال-تاو معنی‌دار نشد. علاوه بر آن نتایج نشان داد که دما در سال‌های ۱۹۸۲-۱۹۵۱ و ۲۰۱۰-۱۹۸۲ نیز روندی افزایشی دارد، که این روند افزایشی نیز معنی‌دار نمی‌باشد.

متوسط دمای حداکثر بهاره: نقطه‌ی تغییر سری زمانی

دمای حداکثر بهاره، سال ۱۹۶۹ تعیین شد. متوسط دمای حداکثر بهاره از سال ۱۹۵۱-۲۰۱۰ با شیب ۰/۰۳۹ روند افزایشی معنی‌داری داشت که با شکسته شدن دوره‌ی آماری این روند معنی‌دار نمی‌باشد. بنابراین می‌توان این گونه بیان کرد که تغییرات دمای حداکثر بهاره در طی دوره‌ی آماری طولانی مدت در حال افزایش می‌باشد.

آزمون همگنی دمای حداکثر در ماه جولای سال ۱۹۷۴ را به عنوان نقطه‌ی تغییر معرفی نمود (جدول ۱). آزمون کندال-تاو نشان داد که دمای حداکثر ماه جولای از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ با شیب متوسط ۰/۰۲۳ درجه‌ی سانتی‌گراد در سال افزایش یافته است، که شیب بدست آمده در سطح آماری ۹۵٪ معنی‌دار می‌باشد. در حالی که روند دما در طی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۱۹۷۴ کاهشی بوده و در بازه‌ی ۲۰۱۰-۱۹۷۴ دما با شیب بسیار کم ۰/۰۰۸ درجه در سال افزایش داشته است. ذکر این نکته ضروری است که روندهای بدست آمده از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشند (جدول ۲).

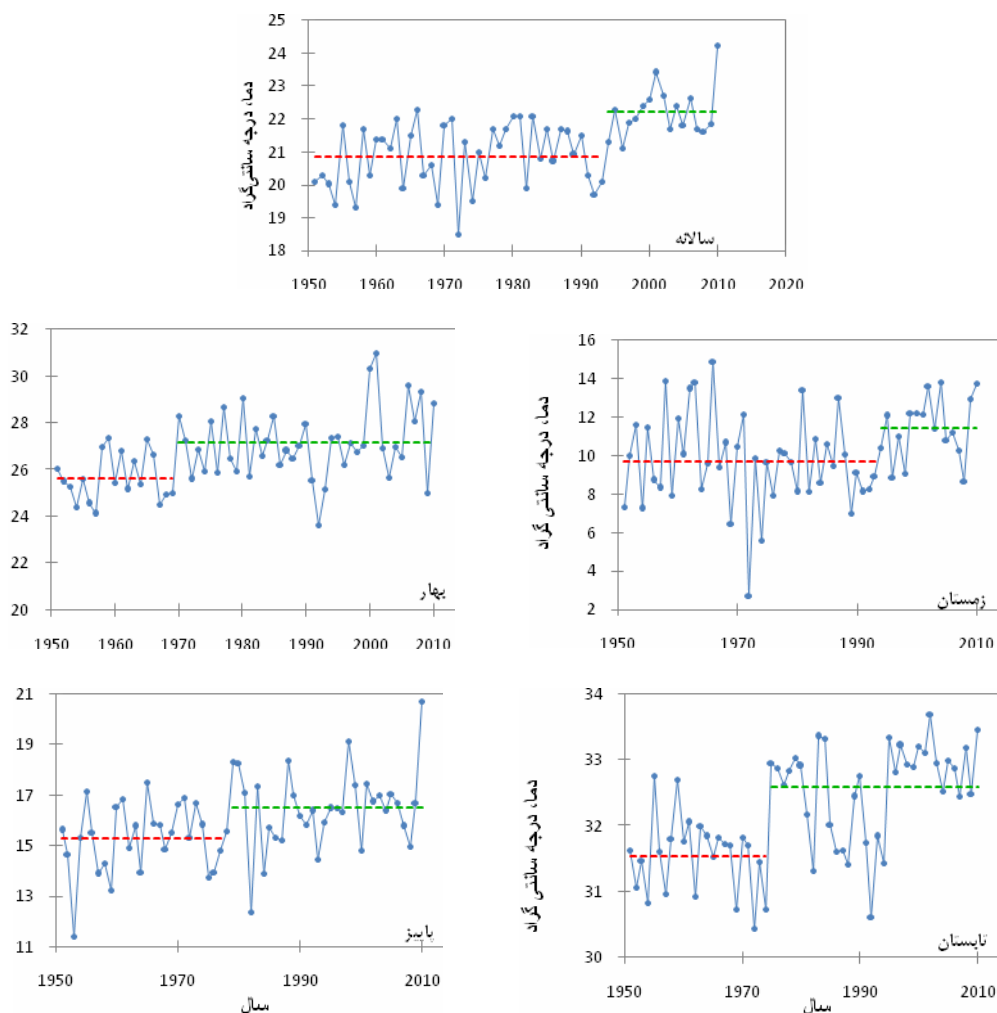
مطالعه‌ی دمای حداکثر ماه آگوست حاکی از وجود نقطه‌ی تغییر در سال ۱۹۹۳ می‌باشد (جدول ۱). آزمون کندال-تاو نشان داد که از

دمای حداکثر فصل تابستان سال ۱۹۷۴ تعیین گردید (جدول ۱). روند تغییرات بررسی شده توسط آزمون کندال-تاو، شیب افزایشی ۰/۰۲۷ درجه‌ی سانتی‌گراد در سال را برای دوره‌ی زمانی ۱۹۵۱-۲۰۱۰ نشان می‌دهد. شکستن سری آماری به بازه‌های زمانی ۱۹۷۴-۱۹۵۱ و ۲۰۱۰-۱۹۷۴ نشان داد که تغییرات دمای حداکثر تابستانه در سال‌های ۱۹۷۴-۱۹۵۱ دارای روندی کاهشی می‌باشد، که این روند کاهشی در سطح آماری مورد بررسی معنی‌دار نمی‌باشد. از سال ۱۹۷۴ تا سال ۲۰۱۰ تغییرات دما روندی افزایشی داشته است که در سطح ۹۵٪ معنی‌دار نگردیده است، با این حال شیب افزایشی ۰/۰۱۶ بدست آمده در سطح ۹۰٪ معنی‌دار می‌باشد. به طور خلاصه می‌توان گفت متوسط دمای حداکثر تابستانه مشهد از سال ۱۹۵۱ تا کنون افزایش یافته است و این افزایش خصوصاً از سال ۱۹۷۴ تا کنون به وقوع پیوسته است.

سال ۱۹۵۱ تا سال ۲۰۱۰ دما با نرخ ۰/۰۳۶ درجه‌ی سانتی‌گراد در سال افزایش یافته است که این افزایش معنی‌دار می‌باشد. در داده‌های سال‌های ۱۹۵۱-۱۹۹۳ نیز روندی افزایشی مشاهده شد، با این حال این روند در سطح آماری ۹۵٪ معنی‌دار نشد. همچنین کاهش ۰/۲ درصدی دمای حداکثر از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۰ نیز معنی‌دار نشد.

نتایج حاصل از آزمون‌های همگنی سال ۱۹۷۵ را به عنوان نقطه‌ی تغییر دمای حداکثر ماه سپتامبر معرفی نمود (جدول ۱). روند دما در سال‌های ۱۹۵۱-۲۰۱۰ روندی افزایشی و معنی‌دار بوده که برآوردگر سن میزان شیب تغییرات را ۰/۰۲۶ درجه‌ی سانتی‌گراد در هر سال تخمین زد. تغییرات دما در زیر دوره‌های ماه سپتامبر نیز همانند جولای می‌باشد. به این صورت که از سال ۱۹۵۱ تا ۱۹۷۵ روند کاهشی و از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۰، روند افزایشی دما مشاهده شده است؛ با این حال هیچ یک از این دو روند معنی‌دار نگردید.

متوسط دمای حداکثر تابستانه: نقطه‌ی تغییر سری زمانی



شکل ۱- تعیین نقطه‌ی تغییر دمای حداکثر سالانه و فصلی

این شیب نیز معنی دار می باشد. با این حال شیب افزایشی دما در طی سال های ۱۹۵۱-۱۹۹۶ معنی دار بدست نیامد (جدول ۲).
متوسط دمای حداکثر پاییزه: آزمون های همگنی سال ۱۹۷۸ را به عنوان نقطه‌ی تغییر دمای حداکثر پاییزه نشان دادند که این نقطه‌ی تغییر در سطح آماری ۹۵٪ معنی دار می باشد (جدول ۱).

سال ۱۹۹۶ نقطه‌ی تغییر سری داده‌های متوسط دمای حداکثر ماه اکتبر می باشد (جدول ۱). آزمون روندیابی نشان داد دما در سال های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ با شیب صعودی ۰/۰۳۶ درجه‌ی سانتی‌گراد در سال افزایش یافته است، که این افزایش در سطح آماری ۹۵٪ معنی دار بدست آمد. همچنین شیب افزایشی ۰/۰۶۸ درجه‌ی سانتی‌گراد نیز برای دوره‌ی آماری ۲۰۱۰-۱۹۹۶ تخمین زده شد، که

جدول ۱- نتایج حاصل از آزمون های همگنی بر متوسط دمای حداکثر

von Neumann	Pettitt	Buishand	SNHT		
-	۱۹۹۳	۱۹۶۸	۲۰۰۹	نقطه‌ی تغییر	ژانویه
۰/۴۵۴	۰/۵۶۷	۰/۷۷۳	۰/۸۶۲	p-value	
-	۱۹۹۸	۱۹۹۸	۱۹۹۸	نقطه‌ی تغییر	فوریه
۰/۹۸۸	۰/۲۷۱	۰/۲۳۰	۰/۲۰۹	p-value	
-	۱۹۹۹	۱۹۹۹	۱۹۹۹	نقطه‌ی تغییر	مارس
۰/۱۳۳	۰/۰۲۹	۰/۰۲۶	۰/۰۰۵	p-value	
-	۱۹۹۳	۱۹۹۳	۱۹۹۸	نقطه‌ی تغییر	زمستان
۰/۵۶۹	۰/۰۳۹	۰/۰۸۱	۰/۰۸۹	p-value	
-	۱۹۷۶	۱۹۷۶	۱۹۶۹	نقطه‌ی تغییر	آوریل
۰/۰۹۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	p-value	
-	۱۹۹۳	۱۹۹۸	۱۹۹۹	نقطه‌ی تغییر	می
۰/۰۶۴	۰/۲۱۲	۰/۰۹۴	۰/۰۸۹	p-value	
-	۱۹۸۲	۱۹۷۲	۱۹۵۷	نقطه‌ی تغییر	جون
۰/۰۶۰	۰/۰۱۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۲	p-value	
-	۱۹۶۹	۱۹۶۹	۱۹۶۹	نقطه‌ی تغییر	بهار
۰/۰۲۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸	p-value	
-	۱۹۷۴	۱۹۷۴	۱۹۷۴	نقطه‌ی تغییر	جولای
۰/۰۱۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	p-value	
-	۱۹۹۳	۱۹۹۳	۱۹۹۳	نقطه‌ی تغییر	آگوست
۰/۰۳۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	<۰/۰۰۰۱	p-value	
-	۱۹۷۵	۱۹۷۵	۱۹۷۴	نقطه‌ی تغییر	سپتامبر
۰/۰۸۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۱۲	p-value	
-	۱۹۷۴	۱۹۷۴	۱۹۷۴	نقطه‌ی تغییر	تابستان
<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	p-value	
-	۱۹۹۶	۱۹۹۶	۱۹۹۶	نقطه‌ی تغییر	اکتبر
۰/۰۵۶	۰/۰۲۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۴	p-value	
-	۱۹۷۸	۱۹۷۸	۱۹۶۲	نقطه‌ی تغییر	نوامبر
۰/۴۱۱	۰/۰۷۵	۰/۰۷۴	۰/۰۸۱	p-value	
-	۱۹۷۷	۱۹۸۶	۲۰۰۹	نقطه‌ی تغییر	دسامبر
۰/۰۹۸	۰/۴۹۷	۰/۲۷۰	۰/۳۶۵	p-value	
-	۱۹۷۸	۱۹۷۸	۲۰۰۹	نقطه‌ی تغییر	پاییز
۰/۰۲۵	۰/۰۱۳	۰/۰۱۲	۰/۰۵۳	p-value	
-	۱۹۹۴	۱۹۹۳	۱۹۹۴	نقطه‌ی تغییر	سالانه
۰/۰۰۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	p-value	

جدول ۲- نتایج حاصل از آزمون من-کندال بر متوسط دمای حداکثر ماهانه

Sen's Slope	p-value	Kendall's tau	متوسط دوره	دوره‌ی آماری	
۰/۰۱۶	۰/۵۸۸	۰/۰۴۹	۷/۱۱	۲۰۱۰-۱۹۵۱	ژانویه
۰/۰۳	۰/۳۷۵	۰/۰۷۹	۹/۳۰	۲۰۱۰-۱۹۵۱	فوریه
۰/۰۵۵	۰/۰۱۳	۰/۲۲۲	۱۴/۱۸	۲۰۱۰-۱۹۵۱	
۰/۰۰۴	۰/۸۹۰	۰/۰۱۴	۱۳/۵۶	۱۹۹۹-۱۹۵۱	مارس
۰/۲۵۱	۰/۳۱۱	۰/۲۴۲	۱۶/۶۳	۲۰۱۰-۱۹۹۹	
۰/۰۳۳	۰/۰۶۳	۰/۱۶۵	۱۰/۲۰	۲۰۱۰-۱۹۵۱	زمستان
۰/۰۵۷	۰/۰۰۲	۰/۲۷۹	۲۰/۹۰	۲۰۱۰-۱۹۵۱	
۰/۰۴۸	۰/۴۰۲	۰/۱۲۰	۱۹/۶۹	۱۹۷۶-۱۹۵۱	آوریل
۰/۰۰۷	۰/۸۶۶	۰/۰۲۲	۲۱/۷۵	۲۰۱۰-۱۹۷۶	
۰/۰۲۷	۰/۰۷۰	۰/۱۶۱	۲۶/۷۶	۲۰۱۰-۱۹۵۱	می
۰/۰۴	۰/۰۰۰	۰/۳۲۸	۳۴/۳۲	۲۰۱۰-۱۹۵۱	
-۰/۱۶۷	۰/۶۴۹	-۰/۱۹۵	۳۰/۵۰	۱۹۵۷-۱۹۵۱	
۰/۰۲۹	۰/۰۱۶	۰/۲۲۶	۳۲/۵۳	۲۰۱۰-۱۹۵۷	
۰/۰۸۷	۰/۰۳۰	۰/۳۲۹	۳۱/۷۵	۱۹۷۲-۱۹۵۱	جون
۰/۰۴۱	۰/۰۷۷	۰/۱۹۸	۳۲/۷۳	۲۰۱۰-۱۹۷۲	
۰/۰۴۴	۰/۰۷۷	۰/۲۲۲	۳۵/۳۶	۱۹۸۲-۱۹۵۱	
۰/۰۵۴	۰/۱۲۱	۰/۲۰۷	۳۵/۴۸	۲۰۱۰-۱۹۸۲	
۰/۰۳۹	۰/۰۰۱	۰/۳۰۵	۲۶/۶۷	۲۰۱۰-۱۹۵۱	
-۰/۰۰۷	۰/۸۹۰	-۰/۰۲۹	۲۵/۶۵	۱۹۶۹-۱۹۵۱	بهار
۰/۰۲۸	۰/۲۲۷	۰/۱۳۱	۲۷/۰۹	۲۰۱۰-۱۹۶۹	
۰/۰۲۳	۰/۰۰۴	۰/۲۲۵	۳۴/۴۳	۲۰۱۰-۱۹۵۱	
-۰/۰۴۱	۰/۱۵۰	-۰/۲۱۵	۳۳/۷۸	۱۹۷۴-۱۹۵۱	جولای
۰/۰۰۸	۰/۶۷۶	۰/۰۵۰	۳۴/۸۳	۲۰۱۰-۱۹۷۴	
۰/۰۳۶	۰/۰۰۰	۰/۳۲۲	۳۳/۱۲	۲۰۱۰-۱۹۵۱	
۰/۰۰۶	۰/۶۳۰	۰/۰۵۲	۳۲/۶۶	۱۹۹۳-۱۹۵۱	آگوست
-۰/۰۰۲	۰/۹۴۱	-۰/۰۲۰	۳۴/۱۳	۲۰۱۰-۱۹۹۳	
۰/۰۲۶	۰/۰۰۲	۰/۲۸۱	۲۸/۹۵	۲۰۱۰-۱۹۵۱	
-۰/۰۱۵	۰/۷۲۶	-۰/۰۵۴	۲۸/۳۶	۱۹۷۵-۱۹۵۱	سپتامبر
۰/۰۰۶	۰/۶۵۶	۰/۰۵۴	۲۹/۳۶	۲۰۱۰-۱۹۷۵	
۰/۰۲۷	<۰/۰۰۰۱	۰/۳۷۱	۳۲/۱۷	۲۰۱۰-۱۹۵۱	
-۰/۰۱۴	۰/۳۹۰	-۰/۱۵۹	۳۱/۵۴	۱۹۷۴-۱۹۵۱	تابستان
۰/۰۱۶	۰/۰۹۷	۰/۱۹۲	۳۲/۵۳	۲۰۱۰-۱۹۷۴	
۰/۰۳۶	۰/۰۱۳	۰/۲۲۱	۲۲/۵۲	۲۰۱۰-۱۹۵۱	
۰/۰۴۹	۰/۳۴۳	۰/۱۴۰	۲۲/۰۷	۱۹۹۶-۱۹۵۱	اکتبر
۰/۰۶۸	۰/۰۱۸	۰/۲۷۶	۲۲/۸۴	۲۰۱۰-۱۹۹۶	
۰/۰۴۵	۰/۰۴۰	۰/۱۸۳	۱۵/۴۹	۲۰۱۰-۱۹۵۱	نوامبر
۰/۰۲۲	۰/۳۱۴	۰/۰۹۰	۹/۷۶	۲۰۱۰-۱۹۵۱	دسامبر
۰/۰۳۲	۰/۰۰۲	۰/۳۷۱	۱۵/۹۲	۲۰۱۰-۱۹۵۱	
۰/۰۱۲	۰/۵۹۷	۰/۰۷۴	۱۵/۲۸	۱۹۷۸-۱۹۵۱	پاییز
۰/۰۲۶	۰/۳۸۰	۰/۱۱۰	۱۶/۴۶	۲۰۱۰-۱۹۷۸	
۰/۰۳۱	<۰/۰۰۰۱	۰/۳۶۶	۲۱/۳۴	۲۰۱۰-۱۹۵۱	
۰/۰۱۱	۰/۳۴۱	۰/۱۰۲	۲۰/۸۷	۱۹۹۴-۱۹۵۱	سالانه
۰/۰۳۹	۰/۴۱	۰/۱۵۵	۲۲/۱۲	۲۰۱۰-۱۹۹۴	

در فصل زمستان نشان دهنده وجود نقطه‌ی تغییر در سری داده‌های مورد بررسی می‌باشد (۱۹۸۶). آزمون کندال-تاو نشان داد که دمای حداقل زمستانه از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ با شیب $0/049$ درجه‌ی سانتی‌گراد در سال در حال افزایش است. شکستن سری زمانی به سال‌های ۱۹۵۱ تا ۱۹۸۶ و ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ نشان داد دمای حداقل زمستانه در سال‌های ۱۹۸۶-۱۹۵۱ با شیب $0/053$ درجه‌ی سانتی‌گراد در سال کاهش یافته است. همچنین از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ روند دمای حداقل تغییر کرده و روندی افزایشی با شدت $0/138$ درجه‌ی سانتی‌گراد در سال را دارد (شکل ۲).

مقایسه‌ی نتایج حاصله ماهانه و فصلی زمستان، هماهنگی داشته و می‌توان با مقایسه‌ی نتایج، به این نکته دست یافت که عامل اصلی تغییرات دمایی فصل زمستان وابسته به تغییرات دما در ماه مارس می‌باشد.

مطالعه‌ی تغییرات دما در ماه آوریل نشان می‌دهد که نقطه‌ی تغییر دمای حداقل سال ۱۹۸۷ می‌باشد. آزمون کندال-تاو نشان داد که دما در طی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ با شیب $0/044$ درجه‌ی سانتی‌گراد در سال در افزایش می‌یابد، که این افزایش در سطح آماری ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. با این حال شیب‌های $0/009$ و $0/091$ متعلق به دوره‌های ۱۹۸۷-۱۹۵۱ و ۲۰۱۰-۱۹۸۷ معنی‌دار نمی‌باشد. این امر نشان دهنده‌ی این است که دما در طی این سال‌ها به طور پیوسته در حال افزایش بوده است.

نتایج آزمون‌های همگنی تست شده بر دمای حداقل ماه می وجود یک نقطه‌ی تغییر را در این سری داده‌ها تأیید می‌کند. با این حال سه آزمون SNHT، Buishand و Pettitt، به ترتیب سال‌های ۱۹۹۳، ۱۹۸۶ و ۱۹۸۵ را به عنوان نقطه‌ی تغییر نشان می‌دهند (جدول ۳). فاصله‌ی زمانی به نسبت بالای سال ۱۹۹۳ تا سال‌های ۱۹۸۵ و ۱۹۸۶ را می‌توان به حساسیت آزمون SNHT به سال‌های ابتدایی و یا انتهای بازه‌ی آماری نسبت داد. به منظور بررسی روند تغییرات دما در این ماه در ابتدا داده‌های دمای حداقل در کل دوره‌ی آماری به آزمون کندال-تاو مورد بررسی قرار گرفت. برآوردگر سن شیب تغییرات دما در طی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ را $0/051$ درجه‌ی سانتی‌گراد در سال برآورد کرده است، که با توجه آزمون کندال-تاو این شیب افزایشی معنی‌دار می‌باشد. تغییرات دما از سال ۱۹۵۱ تا ۱۹۸۵ با شیب $0/017$ روندی کاهشی نشان می‌دهد، با این حال این روند نزولی معنی‌دار نمی‌باشد. در سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰ دما با شیب قابل توجه $0/135$ درجه‌ی سانتی‌گراد در سال افزایش می‌یابد که این شیب در سطح آماری ۹۵٪ معنی‌دار می‌باشد. مشابه با حالت قبل شکستن سال‌های آماری به دوره‌های ۱۹۸۶-۱۹۵۱ و ۲۰۱۰-۱۹۸۶، نشان می‌دهد که روند دما در دوره‌ی اول شیبی کاهشی داشته که معنی‌دار نمی‌باشد. همچنین در بازه‌ی دوم دمای حداقل با شیب

بررسی روند تغییرات دمای حداکثر نشان داد دما از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ با نرخ $0/032$ درجه‌ی سانتی‌گراد در سال در حال افزایش می‌باشد، این افزایش در سطح آماری ۹۵٪ معنی‌دار بدست آمد. همچنین تغییرات دما در دو سری زمانی دیگر نیز افزایشی بدست آمده است؛ با این حال، این افزایش دما معنی‌دار نمی‌باشد.

نتایج حاصله از آزمون همگنی دمای حداقل ماه جون، سال ۱۹۸۶ را به عنوان نقطه‌ی تغییر در این سری زمانی نشان داد (جدول ۳). بررسی روند دما در دوره‌ی آماری ۱۹۵۱-۲۰۱۰ نیز حاکی از افزایش معنی‌دار دما در طی ۶۰ سال مورد بررسی بود، که برآوردگر سن، شیب افزایشی دما را $0/076$ درجه‌ی سانتی‌گراد در هر سال تخمین زد. همچنین دما در طی سال‌های ۱۹۸۶-۱۹۵۱ با شیب بسیار کم $0/012$ درجه کاهش یافته است، که این کاهش در سطح آماری مورد بررسی معنی‌دار نبود، در حالی که افزایش دما در طی سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۸۶ که با شیب $0/081$ درجه‌ی سانتی‌گراد در هر سال رخ داده است، در سطح ۹۵٪ معنی‌دار گردید.

دمای حداقل

آزمون‌های همگنی و نیز آزمون کندال-تاو بر متوسط دمای حداقل ماهانه نیز مطالعه گردید، خلاصه‌ی نتایج حاصل از این بررسی‌ها در جداول ۳ و ۴ آورده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود آزمون Von-Neumann، برای تمامی ماه‌های سال به استثنای ماه‌های ژانویه و فوریه وجود یک نقطه‌ی تغییر معنی‌دار را نشان می‌دهد. علاوه بر آن آزمون SNHT نیز برای این دو سری آماری نقطه‌ی تغییر معنی‌داری را تشخیص نداد. در حالی که دو آزمون Buishand و Pettitt هر کدام یک سال را به عنوان نقطه‌ی تغییر تعیین نمودند (جدول ۳). لذا در این بررسی برای سری دمای حداقل در ماه‌های ژانویه و فوریه نقطه‌ی تغییر در نظر گرفته نشد. نتایج آزمون روندیابی حاکی از وجود روند افزایشی و معنی‌دار دمای ژانویه در سال‌های ۱۹۵۱-۲۰۱۰ می‌باشد، که برآوردگر سن شیب این تغییرات را $0/048$ تخمین زد. در حالی که شیب افزایشی $0/043$ درجه‌ی سانتی‌گراد در هر سال برای حداقل دمای ماه فوریه در سطح آماری ۹۵٪ معنی‌دار نشد (جدول ۴).

نقطه‌ی تغییر محاسبه شده‌ی دمای ماه مارس، در سال ۱۹۸۶ تعیین شد (جدول ۳). دمای حداقل در طی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰، با شیب $0/041$ درجه‌ی سانتی‌گراد در سال افزایش معنی‌داری یافته است. در سال‌های ۱۹۵۱ تا ۱۹۸۶ دمای حداقل ماه مارس روندی کاهشی دارد، با این حال این کاهش معنی‌دار نمی‌باشد. در حالی که افزایش دما از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ با شیب چشمگیر $0/166$ درجه‌ی سانتی‌گراد در هر سال، در سطح آماری ۹۵٪ معنی‌دار می‌باشد.

متوسط دمای حداقل زمستانه: مطالعه‌ی رفتار دمای حداقل

که سری‌های زمانی سال‌های ۱۹۵۱-۱۹۸۶، ۱۹۸۵-۱۹۵۱، ۱۹۹۳ و ۲۰۱۰-۱۹۹۳، همگن می‌باشند. همچنین در دوره‌های آماری سال‌های ۱۹۸۵-۲۰۱۰ و ۱۹۸۶-۲۰۱۰ سال ۱۹۹۹ به عنوان نقطه‌ی تغییر شناخته شده است. بنابراین می‌توان این گونه به این نتیجه رسید که احتمالاً دمای حداقل در ماه می دارای دو نقطه‌ی تغییر می‌باشد، نقطه‌ی تغییر اول در نیمه دهه‌ی ۸۰ و نقطه‌ی تغییر دوم در نیمه‌ی دوم دهه‌ی ۹۰ واقع شده است.

معنی‌دار ۰/۱۲۱ درجه در هر سال افزایش یافته است. تغییرات دما در سال‌های ۱۹۵۱-۱۹۹۳ شبیهی تقریباً برابر با صفر داشته که معنی‌دار نمی‌باشد، با این حال دما از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۰، روندی افزایشی و معنی‌دار را نشان می‌دهد.

علاوه بر روندیابی دما در زیر دوره‌های مورد نظر، همگنی زیر دوره‌های تعیین شده نیز توسط ۴ آزمون SNHT، Buishand و Pettitt نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد

جدول ۳- نتایج حاصل از آزمون‌های همگنی بر متوسط دمای حداقل ماهانه

von Neumann	Pettitt	Buishand	SNHT		
-	۱۹۸۶	۱۹۸۵	۱۹۸۶	نقطه‌ی تغییر	ژانویه
۰/۱۹۵	۰/۰۰۳	۰/۰۱۰	۰/۰۷۸	p-value	
-	۱۹۹۸	۱۹۸۹	۱۹۹۸	نقطه‌ی تغییر	فوریه
۰/۴۰۹	۰/۰۲۳	۰/۰۲۰	۰/۰۶۸	p-value	
-	۱۹۸۶	۱۹۸۶	۲۰۰۰	نقطه‌ی تغییر	مارس
۰/۰۲۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	<۰/۰۰۰۱	p-value	
-	۱۹۸۶	۱۹۸۶	۱۹۸۶	نقطه‌ی تغییر	زمستان
۰/۰۱۰	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۲	p-value	
-	۱۹۸۷	۱۹۸۷	۱۹۹۶	نقطه‌ی تغییر	آوریل
۰/۰۱۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	p-value	
-	۱۹۸۵	۱۹۸۶	۱۹۹۳	نقطه‌ی تغییر	می
<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	p-value	
-	۱۹۸۶	۱۹۸۶	۱۹۸۶	نقطه‌ی تغییر	جون
<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	p-value	
-	۱۹۸۶	۱۹۸۶	۱۹۸۶	نقطه‌ی تغییر	بهار
<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	p-value	
-	۱۹۸۵	۱۹۸۵	۱۹۸۶	نقطه‌ی تغییر	جولای
<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	p-value	
-	۱۹۸۶	۱۹۸۶	۱۹۸۶	نقطه‌ی تغییر	اگوست
<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	p-value	
-	۱۹۸۵	۱۹۸۵	۱۹۸۵	نقطه‌ی تغییر	سپتامبر
<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	p-value	
-	۱۹۸۵	۱۹۸۵	۱۹۸۶	نقطه‌ی تغییر	تابستان
<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	p-value	
-	۱۹۸۵	۱۹۸۵	۱۹۹۵	نقطه‌ی تغییر	اکتبر
۰/۰۰۲	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	p-value	
-	۱۹۸۲	۱۹۸۲	۱۹۸۲	نقطه‌ی تغییر	نوامبر
۰/۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	p-value	
-	۱۹۸۴	۱۹۸۴	۱۹۸۴	نقطه‌ی تغییر	دسامبر
۰/۰۰۰	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	p-value	
-	۱۹۸۵	۱۹۸۵	۱۹۸۵	نقطه‌ی تغییر	پاییز
<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	p-value	
-	۱۹۸۶	۱۹۸۶	۱۹۸۶	نقطه‌ی تغییر	سالانه
<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	p-value	

نبوده اما در سطح آماری ۹۰٪ معنی دار می باشد، شیب این تغییر ۰/۰۳۷ درجه‌ی سانتی‌گراد در سال می باشد. همچنین تغییرات دما از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ روندی افزایشی و معنی دار نشان داده و برآوردگر سن شیب تغییرات را ۰/۰۶۵ تخمین زده است. با توجه به نتایج حاصله مشخص می شود که با وجود یک دوره‌ی کاهش دما از سال ۱۹۵۱ تا ۱۹۸۶ به طور کلی دما افزایش داشته است.

آزمون‌های همگنی مورد استفاده در این بررسی، سال ۱۹۸۵ را به عنوان نقطه‌ی تغییر دمای حداقل ماه سپتامبر در ایستگاه مشهد تعیین نمودند (جدول ۳). روند تغییرات دما در این ماه نیز از الگویی شبیه به تغییرات دما در ماه‌های جولای و آگوست تبعیت می کند. بدین صورت که دما در کل دوره‌ی آماری (۲۰۱۰-۱۹۵۱)، روندی افزایشی و معنی دار با شیب ۰/۰۶۷ دارد. همچنین از ابتدای دوره تا نقطه‌ی تغییر (۱۹۸۵-۱۹۵۱)، این روند کاهش یافته بوده (۰/۰۶۹-) و از نقطه‌ی تغییر تا سال ۲۰۱۰ شیب تغییرات دما افزایشی شده است (۰/۰۶۹)، که شیب این تغییرات همگی در سطح آماری ۹۵٪ معنی دار می باشد. بنابراین مشاهده می شود که دما به طور کلی در طی ۶۰ سال گذشته افزایش یافته است (جدول ۴).

متوسط دمای حداقل تابستانه: بررسی دمای حداقل

تابستانه نیز حاکی از وجود یک نقطه‌ی تغییر در سری زمانی داده‌ها می باشد (سال ۱۹۸۵). نتایج بدست آمده از آزمون کندال-تاو حاکی از روند افزایشی و معنی دار دمای حداقل با شیب ۰/۰۶۷ درجه‌ی سانتی‌گراد در سال در بازه‌ی ۱۹۵۱-۲۰۱۰ می باشد. بر خلاف آن در طی سال‌های ۱۹۵۱ الی ۱۹۸۵ دما با شیب ۰/۰۵۶ درجه‌ی سانتی‌گراد در سال کاهش یافته است، که این کاهش نیز در سطح ۹۵٪ معنی دار می باشد. مجدداً در سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰ تغییرات دما شیب صعودی داشته و با نرخ ۰/۰۶۷ درجه در سال افزایش می یابد. همانند سایر فصول دیگر در این فصل نیز دمای حداقل از ابتدای دوره تا نقطه‌ی تغییر روندی نزولی داشته و از آن تاریخ تا سال ۲۰۱۰ روند افزایشی معنی داری را نشان می دهد، به نحوی که تغییرات دما در طول دوره‌ی آماری، افزایشی و معنی دار می باشد (سطح ۹۵٪). مقایسه‌ی تغییرات دمای حداقل ماه‌های فصل تابستان، با نتایج حاصله از بررسی دمای تابستانه حاکی از هماهنگی میان آن‌ها می باشد، و بنابراین می توان به خوبی بیان کرد که افزایش دما در فصل تابستان به علت افزایش دما در سه ماه جولای، آگوست و سپتامبر می باشد، و تمامی ماه‌ها اثر یکسانی را بر تغییر دمای فصلی داشته‌اند.

بررسی همگنی دمای حداقل در ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر حاکی از وجود نقطه‌ی تغییر معنی دار در این سری‌های زمانی می باشد، که این نقطه‌ی تغییر به ترتیب سال‌های ۱۹۸۵، ۱۹۸۲ و ۱۹۸۴ شناسایی شد (جدول ۳). آزمون کندال-تاو حاکی از افزایش معنی دار

متوسط دمای حداقل بهاره: آزمون‌های همگنی سال ۱۹۸۶ را

به عنوان نقطه‌ی تغییر تشخیص داده شد (جدول ۳). تست کندال-تاو انجام شده نشان دهنده‌ی روند افزایشی و معنی دار دمای حداقل بهاره در سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ می باشد، که نشان می دهد دما با شدت ۰/۰۵۴ درجه‌ی سانتی‌گراد در سال در طی این مدت افزایش یافته است. با این حال آزمون کندال-تاو کاهش دما در طی سال‌های ۱۹۸۶-۱۹۵۱ را معنی دار نشان نداد. همچنین شیب سن بدست آمده در این مرحله بسیار کم و قابل اغماض است (۰/۰۰۶-، جدول ۴). روند تغییرات دما از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ افزایشی و معنی دار بوده و شیب بدست آمده نشان می دهد که دمای حداقل بهاره در این سال‌ها با نرخ ۰/۰۶۷ درجه‌ی سانتی‌گراد در سال افزایش یافته است (شکل ۴).

مقایسه‌ی نتایج حاصله از بررسی‌های ماهانه و فصلی (در فصل بهار) حاکی از هماهنگی میان نتایج بدست آمده می باشد. لذا با توجه به مقایسه‌ی تغییرات دمای حداقل در ماه‌های آوریل، می و جون و نیز دمای حداقل فصلی می توان نتیجه گرفت که نقطه‌ی تغییر این سری داده‌ها حوالی سال ۱۹۸۶ رخ داده است، که از این سال به بعد در دمای حداقل روند افزایشی چشمگیری مشاهده شده، که می توان روند افزایشی در کل دوره‌ی آماری را به روند افزایشی در طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ نسبت داد.

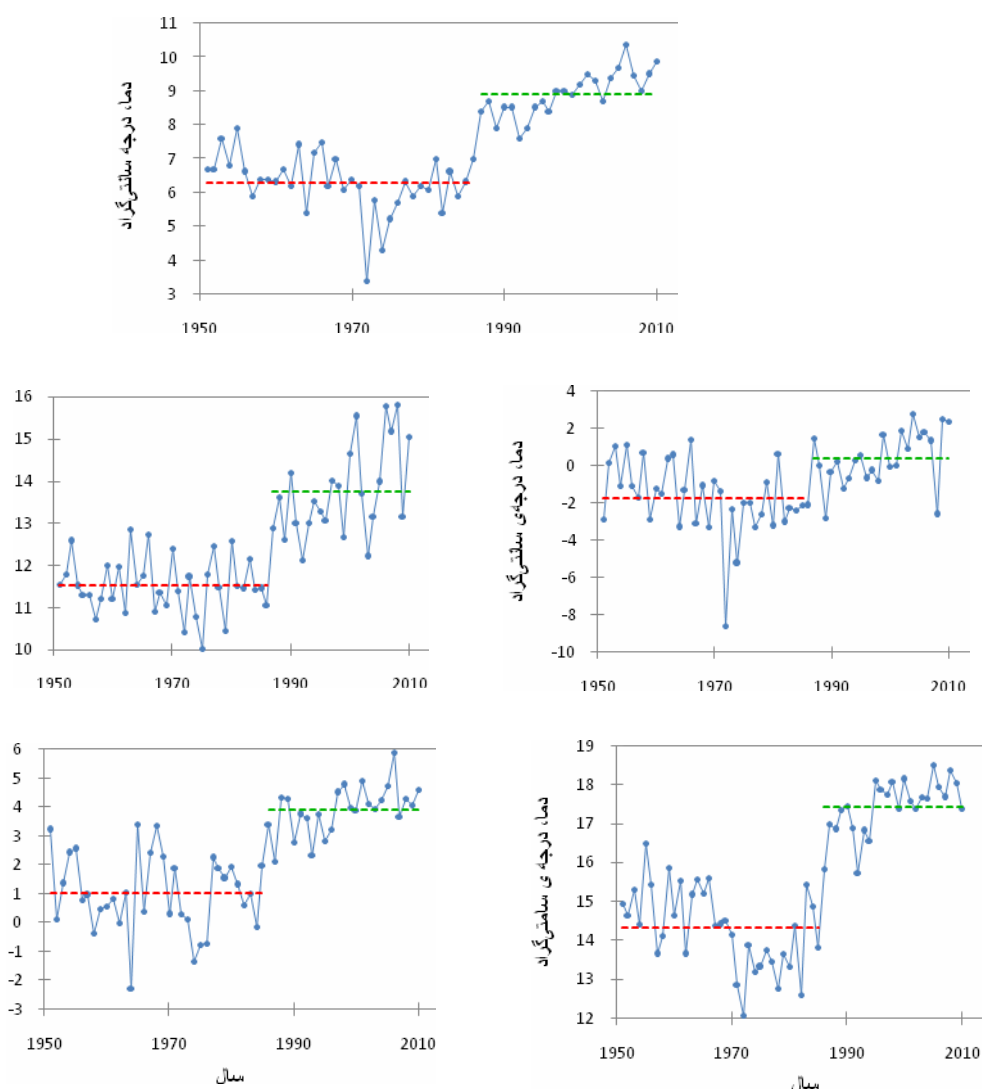
مطالعه‌ی آماری دمای حداقل در ماه جولای نشان دهنده‌ی نقطه‌ی تغییر معنی دار در این سری زمانی بود (۱۹۸۵) (جدول ۳). متوسط دمای ماه جولای در طی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ $18/73^{\circ}\text{C}$ درجه‌ی سانتی‌گراد می باشد، که آزمون کندال-تاو تغییرات دما در طی این مدت را در سطح آماری ۹۵٪، با شیب افزایشی ۰/۰۶۷ درجه‌ی سانتی‌گراد در سال معنی دار نشان داد. بر خلاف آن دمای در طی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۱۹۸۵، روندی کاهش دارد، این روند در سطح آماری ۹۵٪ معنی دار نشد، با این حال با توجه به $p\text{-value}$ محاسبه شده (۰/۰۸۴)، روند کاهش دما در سطح ۹۰٪ معنی دار می باشد. بررسی دما در سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰، حاکی از روند افزایشی و معنی دار دما در طی این سال‌ها می باشد، که برآوردگر سن شیب این تغییرات را ۰/۰۷۲ درجه‌ی سانتی‌گراد در هر سال تعیین کرده است (جدول ۴).

دمای حداقل ماه آگوست نیز دارای نقطه‌ی تغییری در سال ۱۹۸۶ می باشد (جدول ۳). آزمون روندیابی دمای حداقل در ماه آگوست نشان می دهد دما در این ماه با نرخ ۰/۰۷۶ درجه‌ی سانتی‌گراد در سال در طی سال‌های ۱۹۵۱-۲۰۱۰ افزایش داشته است، که این افزایش دما در سطح آماری ۹۵٪ معنی دار می باشد. همانند ماه جولای روند تغییرات دما در طی سال‌های ۱۹۸۶-۱۹۵۱، روندی کاهش می باشد، که این کاهش در سطح آماری ۹۵٪ معنی دار

دمای این ماه‌ها در طی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ می‌باشد، که برآوردگر سن شیب افزایشی دمای این ماه‌ها را ۰/۰۷۸، ۰/۰۷۴ و ۰/۰۶۱ درجه‌ی سانتی‌گراد در هر ماه تخمین زده است.

جدول ۴ نتایج حاصل از آزمون من-کندال بر متوسط دمای حداقل ماهانه

Sen's Slope	p-value	Kendall's tau	متوسط دوره	دوره‌ی آماری	
۰/۰۴۸	۰/۰۲۷	۰/۱۹۷	-۳/۷۹	۲۰۱۰-۱۹۵۱	ژانویه
۰/۰۴۳	۰/۰۶۳	۰/۱۶۵	-۱/۷۹	۲۰۱۰-۱۹۵۱	فوریه
۰/۰۴۱	۰/۰۰۳	۰/۲۶۸	۲/۹۱	۲۰۱۰-۱۹۵۱	
-۰/۰۴۷	۰/۱۶۲	-۰/۱۶۵	۲/۲۰	۱۹۸۶-۱۹۵۱	مارس
۰/۱۶۶	۰/۰۰۲	۰/۴۴۰	۳/۷۷	۲۰۱۰-۱۹۸۶	
۰/۰۴۹	۰/۰۰۲	۰/۲۸۰	۰/۸۹	۲۰۱۰-۱۹۵۱	
-۰/۰۵۳	۰/۰۲۴	-۰/۲۶۵	-۱/۷۵	۱۹۸۶-۱۹۵۱	زمستان
۰/۱۳۸	۰/۰۰۳	۰/۴۱۳	۰/۳۰	۲۰۱۰-۱۹۸۶	
۰/۰۴۴	۰/۰۰۰	۰/۳۴۴	۸/۴۰	۲۰۱۰-۱۹۵۱	
۰/۰۰۹	۰/۵۹۲	۰/۰۶۳	۷/۷۸	۱۹۸۷-۱۹۵۱	آوریل
۰/۰۹۱	۰/۱۴۵	۰/۲۱۷	۹/۳۳	۲۰۱۰-۱۹۸۷	
۰/۰۵۱	<۰/۰۰۰۱	۰/۳۶۹	۱۲/۴۳	۲۰۱۰-۱۹۵۱	
-۰/۰۱۷	۰/۲۹۳	-۰/۱۲۶	۱۱/۵۹	۱۹۸۵-۱۹۵۱	
۰/۱۳۵	۰/۰۰۲	۰/۴۳۴	۱۳/۵۰	۲۰۱۰-۱۹۸۵	
-۰/۰۱۳	۰/۴۳۷	-۰/۰۹۲	۱۱/۶۰	۱۹۸۶-۱۹۵۱	می
۰/۱۲۱	۰/۰۰۵	۰/۳۹۳	۱۳/۶۱	۲۰۱۰-۱۹۸۶	
۰/۰۰۷	۰/۷۰۶	۰/۰۴۱	۱۱/۷۶	۱۹۹۳-۱۹۵۱	
۰/۱۳۴	۰/۰۳۹	۰/۳۵۹	۱۴/۰۴	۲۰۱۰-۱۹۹۳	
۰/۰۷۶	<۰/۰۰۰۱	۰/۴۹۰	۱۶/۴۱	۲۰۱۰-۱۹۵۱	
-۰/۰۱۲	۰/۵۴۹	-۰/۰۷۲	۱۵/۱۸	۱۹۸۶-۱۹۵۱	جون
۰/۰۸۱	۰/۰۱۷	۰/۳۴۰	۱۸/۱۰	۲۰۱۰-۱۹۸۶	
۰/۰۵۴	<۰/۰۰۰۱	۰/۵۰۴	۱۲/۴۱	۲۰۱۰-۱۹۵۱	
-۰/۰۰۶	۰/۵۷۶	-۰/۰۶۷	۱۱/۵۲	۱۹۸۶-۱۹۵۱	بهار
۰/۰۹۶	۰/۰۰۲	۰/۴۲۷	۱۳/۶۴	۲۰۱۰-۱۹۸۶	
۰/۰۶۷	<۰/۰۰۰۱	۰/۴۵۳	۱۸/۷۲	۲۰۱۰-۱۹۵۱	
-۰/۰۳۷	۰/۰۶۳	-۰/۲۲۲	۱۷/۵۴	۱۹۸۵-۱۹۵۱	جولای
۰/۰۷۲	۰/۰۰۸	۰/۳۶۶	۲۰/۲۷	۲۰۱۰-۱۹۸۵	
۰/۰۷۶	<۰/۰۰۰۱	۰/۴۳۶	۱۶/۶۹	۲۰۱۰-۱۹۵۱	
-۰/۰۳۷	۰/۰۸۴	-۰/۲۰۴	۱۵/۱۲	۱۹۸۶-۱۹۵۱	آگوست
۰/۰۶۵	۰/۰۳۳	۰/۳۰۷	۱۸/۴۱	۲۰۱۰-۱۹۸۶	
۰/۰۶۷	<۰/۰۰۰۱	۰/۳۸۳	۱۱/۶۵	۲۰۱۰-۱۹۵۱	
-۰/۰۶۹	۰/۰۰۱	-۰/۳۸۴	۱۰/۳۱	۱۹۸۵-۱۹۵۱	سپتامبر
۰/۰۶۹	۰/۰۱۱	۰/۳۵۴	۱۳/۳۵	۲۰۱۰-۱۹۸۵	
۰/۰۶۷	<۰/۰۰۰۱	۰/۴۴۵	۱۵/۶۱	۲۰۱۰-۱۹۵۱	
-۰/۰۵۶	۰/۰۰۳	-۰/۲۴۵	۱۴/۳۱	۱۹۸۵-۱۹۵۱	تابستان
۰/۰۶۷	۰/۰۰۱	۰/۴۶۵	۱۷/۲۹	۲۰۱۰-۱۹۸۵	
۰/۰۷۸	<۰/۰۰۰۱	۰/۳۸۹	۶/۴۲	۲۰۱۰-۱۹۵۱	
-۰/۰۲۵	۰/۴۶۹	-۰/۰۸۷	۵/۱۶	۱۹۸۵-۱۹۵۱	اکتبر
۰/۱۵۳	۰/۰۰۸	۰/۳۷۶	۸/۰۴	۲۰۱۰-۱۹۸۵	
۰/۰۷۴	<۰/۰۰۰۱	۰/۴۲۳	۱/۹۴	۲۰۱۰-۱۹۵۱	
-۰/۰۰۸	۰/۷۷۰	-۰/۰۳۸	۰/۵۶	۱۹۸۲-۱۹۵۱	نوامبر
۰/۰۵۸	۰/۰۴۰	۰/۲۷۱	۳/۴	۲۰۱۰-۱۹۸۲	
۰/۰۶۱	<۰/۰۰۰۱	۰/۳۴۷	-۱/۷۰	۲۰۱۰-۱۹۵۱	
-۰/۰۵۱	۰/۱۶۸	-۰/۱۶۸	-۲/۹۴	۱۹۸۴-۱۹۵۱	دسامبر
۰/۰۵۱	۰/۱۸۹	۰/۱۸۳	-۰/۳۴	۲۰۱۰-۱۹۸۴	
۰/۰۷۴	<۰/۰۰۰۱	۰/۵۰۶	۲/۲۲	۲۰۱۰-۱۹۵۱	
-۰/۰۱۹	۰/۵۱۷	-۰/۰۷۹	۱/۰۱	۱۹۸۵-۱۹۵۱	پاییز
۰/۰۶۵	۰/۰۰۲	۰/۴۲۸	۳/۸۴	۲۰۱۰-۱۹۸۵	
۰/۰۶۲	<۰/۰۰۰۱	۰/۴۹۵	۷/۳۵	۲۰۱۰-۱۹۵۱	
-۰/۰۲۵	۰/۰۲۰	-۰/۲۷۸	۶/۳۰	۱۹۸۶-۱۹۵۱	سالانه
۰/۰۷۸	<۰/۰۰۰۱	۰/۶۹۴	۸/۸۴	۲۰۱۰-۱۹۸۶	



شکل ۲- تعیین نقطه‌ی تغییر دمای حداقل سالانه و فصلی

می‌باشد. با شکستن این سری زمانی داده‌ها به سال‌های ۱۹۵۱-۱۹۸۵ و ۱۹۸۵-۲۰۱۰ مشاهده می‌شود که در ابتدا همانند فصول دیگر در فاصله‌ی زمانی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۱۹۸۵ دما کاهش یافته است که بر اساس آزمون کندال-تاو این کاهش معنی‌دار نمی‌باشد، با این حال دما از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰، با شیب $0/065$ درجه در سال افزایش یافته است که این افزایش در سطح آماری 95% معنی‌دار می‌باشد (جدول ۴).

مقایسه‌ی نتایج روند تغییرات ماهانه در فصل پاییز با نتایج حاصل از روندیابی فصلی حاکی از هماهنگی میان نتایج بدست آمده بود، با این حال با توجه به شیب تغییرات دما مشاهده می‌شود، که روند افزایشی دما در فصل پاییز از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰ بیشتر در اثر افزایش دمای ماه اکتبر می‌باشد.

علاوه بر آن در هیچ از دوره‌های مذکور از سال ۱۹۵۱ تا سال تغییر روند کاهشی دما معنی‌دار نبوده است، در حالی که روند افزایشی دما از نقطه‌ی تغییر تا سال ۲۰۱۰، در هر سه ماه معنی‌دار نشان داده شده است. دمای ماه اکتبر از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰ با شیب قابل توجه $0/153$ افزایش یافته است، در حالی که شیب افزایشی نوامبر و دسامبر به ترتیب $0/058$ و $0/051$ درجه‌ی سانتی‌گراد در هر سال تخمین زده شده است.

متوسط دمای حداقل پاییزه: نتایج حاصله از آزمون‌های همگنی صورت گرفته بر داده‌های دمای حداقل پاییزه در جدول ۳ ارائه شده است، با توجه به جدول مشخص می‌گردد که این سری آماری نیز دارای نقطه‌ی تغییر می‌باشد که این نقطه همانند نقطه‌ی تغییر تابستان در سال ۱۹۸۵ تعیین شده است. متوسط دمای حداقل پاییزه در طی سال‌های ۱۹۵۱-۲۰۱۰، $2/22$ درجه‌ی سانتی‌گراد

جدول ۵- تعداد روزهای با روند معنی‌دار در سری داده‌های دمای حداکثر و حداقل در ماه‌های مختلف سال

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	جون	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
دمای حداکثر	۲	۴	۴ و ۱	۴	-	۳	۳	۸	۲	۳	۱	۳
دمای حداقل	۱۶	۱۰	۶	۱۱	۲۰	۲۹	۲۷	۳۱	۲۷	۲۶	۱۷	۲۰

که روند افزایشی دما در تابستان به تدریج بوده، در حالی که در فصل بهار این افزایش دما به صورت تقریباً سریع رخ داده است. همچنین در دماهای حداقل مشاهده می‌شود که بیشترین روندهای معنی‌دار متعلق به فصول تابستان، بهار و پاییز می‌باشد و زمستان کمترین تعداد روز با نرخ تغییرات معنی‌دار را نشان می‌دهد. همچنین فصل زمستان کمترین شیب افزایشی دمای حداقل را دارد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصله از بررسی مشاهده می‌شود که افزایش دمای حداقل در حدود ۱۰ سال زودتر از دمای حداکثر شروع شده و روند افزایشی آن از دمای حداکثر بیشتر می‌باشد. افزایش بیشتر دمای حداقل برای کشاورزان را می‌توان به منزله‌ی هشدار جدی در نظر گرفت، چرا که تاریخ کشت گیاه و نیز مقدار درجه روز حرارتی که گیاه دریافت می‌کند تحت تأثیر دمای حداقل قرار داشته و این امر می‌تواند موجب تعجیل در آغاز شدن فصل کشت گیاه و کوتاه‌تر شدن دوره‌ی رشدی آن شوند. لذا در برنامه ریزی‌های طولانی مدت باید این نکته مد نظر قرار داد. از سوی دیگر همانگونه که مشاهده می‌شود نرخ افزایش دمای حداقل تقریباً از سال ۱۹۸۵ افزایش یافته است، در حالی که در بسیاری از موارد از سال ۱۹۵۱ تا ۱۹۸۵ روند تغییرات دما حتی در بسیاری موارد نزولی می‌باشد، لذا می‌توان به اهمیت انتخاب طول دوره‌ی آماری برای مطالعات تغییر اقلیمی اشاره نمود. امروزه مهم‌ترین عامل افزایش دما را اثر گازهای گلخانه‌ای دانسته‌اند. با این حال برخی معتقدند که این افزایش دما بخشی از چرخه‌ی طبیعی بوده و به عوامل گوناگون دیگری به جز فعالیت‌های بشری نیز وابسته می‌باشد. به طور مثال چرخه‌های خورشیدی با دوره بازگشت‌های ۷، ۱۱ و ۳۳ ساله نیز خود بر نوسانات اقلیمی اثر گذار می‌باشند. لذا بررسی روند دمایی در یک دوره‌ی نزدیک به ۲۰ سال می‌تواند تحت تأثیر این عوامل قرار گیرد.

نتایج بدست آمده از این مطالعه هشدار می‌دهد برای آینده بوده و نیاز به بررسی‌های بیشتر و سیاست‌گذاری‌های دقیق‌تر را بیش از پیش نمایان می‌نماید.

متوسط سالانه دمای حداقل: بررسی متوسط سالانه‌ی دمای

حداقل، نیز نشان دهنده‌ی وجود یک نقطه‌ی تغییر در این سری آماری می‌باشد (جدول ۳). هر سه تست آماری مورد بررسی سال ۱۹۸۶ را سال تغییر دمای حداقل نشان دادند. با توجه به نتایج حاصله از آنالیز دمای حداکثر می‌توان مشاهده نمود که دمای حداقل، در حدود ۸ سال زودتر از دمای حداکثر شروع به افزایش نموده است. شکل ۲ نشان دهنده‌ی نقاط تغییر بدست آمده در سه روش آماری مورد بررسی می‌باشد. متوسط دمای حداقل تا سال ۱۹۸۶، ۶/۲۹۷ درجه‌ی سانتی‌گراد بوده که این مقدار از سال ۱۹۸۶ تا سال ۲۰۱۰ به ۸/۹۱۷ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. همانگونه که مشاهده می‌شود، افزایش دمای حداقل در حدود ۲/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد بوده که نزدیک به یک درجه بیشتر از افزایش دمای حداکثر می‌باشد.

سری زمانی موجود به دو سری سال‌های ۱۹۸۶-۱۹۵۱ و ۱۹۸۶-۲۰۱۰ شکسته شده و آزمون من-کندال بر هر سه سری زمانی تست شد. متوسط دمای حداقل در طی سری زمانی روندی افزایشی معنی‌داری با شیب ۰/۰۶۲ دارد. همچنین متوسط دمای حداقل سالانه از سال ۱۹۵۱ تا سال ۱۹۸۶، با شیب ۰/۰۲۵- در حال کاهش می‌باشد (در سطح ۹۵٪)، در حالی که از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ متوسط دمای حداقل سالانه با شیب ۰/۰۷۸ افزایشی معنی‌دار می‌یابد.

آزمون روندیابی در مقیاس روزانه

همچنین در این مطالعه تغییرات روزانه‌ی دما با استفاده از آزمون کندال-تاو مورد بررسی قرار گرفته و تعداد روزهای هر ماه که روند افزایشی داشتند بدست آمد (جدول ۵). در تمامی ماه‌ها به استثنای دمای حداکثر ماه مارس روندهای معنی‌دار مشاهده شده افزایشی بودند، در ماه مارس نیز ۴ روز روند مثبت و تنها یک روز روند منفی را نشان داده است. در سری داده‌های دمای حداکثر مشاهده می‌شود که بیشترین تعداد روزهای با روند معنی‌دار در ماه آگوست رخ داده است (۸ روز)، همچنین دمای حداقل نیز در تمامی روزهای این ماه روند معنی‌داری را نشان داده است. به طور کلی می‌توان مشاهده نمود که فصل تابستان دارای بیشترین تعداد روزهای با روند افزایشی معنی‌دار در دمای حداکثر می‌باشد، با این حال تابستان کمترین شیب افزایشی دمای حداکثر را دارد، در حالی که بیشترین نرخ تغییر دما متعلق به فصل بهار (و ماه آوریل) می‌باشد؛ بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت

منابع

- ۱- خوش اخلاق ف.، غریبی ا. و شفیعی ذ. ۱۳۹۰. نگرشی بر تغییرات حداقل های مطلق دما در پهنه ایران زمین. مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی. سال ۲۲. ۴۲(۲): ۱۹۹-۲۱۶.
- ۲- شیرغلامی ه. و قهرمان ب. ۱۳۸۴. بررسی روند تغییرات دمای میانگین سالانه در ایران. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال نهم. ۱: ۲۳-۹.
- ۳- محمدی ح.، مقبل م. و رنجبر ف. ۱۳۸۹. مطالعه تغییرات بارش و دمای ایران با استفاده از مدل MAGICCSCENGEN. جغرافیا. سال هشتم. ۲۵: ۱۲۵-۱۴۲.
- ۴- مسعودیان س.ا. ۱۳۸۳. بررسی روند دمای ایران در نیم سده ی گذشته. مجله جغرافیا و توسعه. بهار و تابستان. ۸۹-۱۰۶.
- ۵- نوریان ع.م. ۱۳۷۸. تغییر اقلیم جهانی و گرم شدن هوا. مجله نیوار. ۸۱: ۳-۱.
- ۶- ورشایان و.، خلیل ع.، قهرمان ن. و حجام س. ۱۳۹۰. بررسی روند تغییرات مقادیر حدی دمای حداقل، حداکثر و میانگین روزانه در چند نمونه اقلیمی ایران. مجله فیزیک زمین و فضا. ۳۷(۱): ۱۶۹-۱۷۹.
- 7- Buishand T.A. 1982. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *Journal of Hydrology* 58 : 11 – 27.
- 8- Fedias H., Makrogiannis T., Bora-Senta E. 2004. Trend analysis of air temperature time series in Greece and their relationship with circulation using Surface and Satellite Data: 1955-2001. *Theor. Appl. Climatol*, 79: 185-208.
- 9- Hunt B.G. 1998. Natural climatic variability as an explanation for historical climatic fluctuations. 38: 133-57. *Climatic Change*.
- 10- Kysel' y J., Domonkos P. 2006. Recent increase in persistence of atmospheric circulation over Europe: comparison with long-term variations since 1881. *International Journal of Climatology* 26 :461 – 483.
- 11- Kumar P.V., Bindi M., Crisci A., Maracchi G.. 2005. Detection of Variations in Air Temperature at Different Time Scales During the Period 1889-1998 at Firenze, Italy. *Climate Chane*, 72: 123-150.
- 12- Mart'inez M.D., Serra C., Burgue~no A., and Lana X. 2010. Time trend of daily maximum and minimum temperatures in Catalonia (ne Spain) for period 1975-2004. *Int. J. Climatol*. 30:267-290.
- 13- Menglin J.R. and Dickinson E. 2002. New observational evidence for global warming from satellite. *Res. Let. 29(10):39-42. Geophys*.
- 14- National Academy. 2000. National Research Council Reconciling Observations of NationalAcademy Press, WashingtonD.C.GlobalTemerature Change.
- 15- Pettitt A.N. 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. *Journal of Applied Statistics* 28 (2): 126 – 135.
- 16- Salinger M.J. 2005. Climate Variability and Change Past, Present and Future – An Overview. *Climate Change*, 70: 9-29.
- 17- Serra C., Burgue ~no A., Lana X. 2001. Analysis of maximum and minimum daily temperatures recorded at Fabra Observatory (Barcelona, NE Spain) in the period 1917 – 1998. *International Journal of Climatology* 21 : 617 – 636.
- 18- Shepard Ch. 2004. Sea surface temperature 1871–2099 in 14 cells around the United Kingdom. *Marine Pollution Bullrtin*, 49:12-16.
- 19- Yue S., Hashino M. 2003. Temperature Trends in Japan: 1900-1996. *Theor. Appl. Climatol*, 75: 15-27.



The Investigation of Mashhad Extremum Temperature in Different Scales

Sh. Shams^{1*} - M. Mousavi Baygi²

Received: 27-01-2013

Accepted: 02-02-2014

Abstract

Mashhad is Iran second most populous city, where in terms of tourism, economy and agriculture is very important. Regarding to the importance of the change of climatic factors and its effect on future policy, in this study the max and minimum temperature changes in the scale of yearly, seasonally, monthly and daily, was investigated by means of SNHT, Buishand, Pettitt, Von-neumann and kendall-tau. The results of this study indicate a temperature increase of Mashhad, comparison of the results showed that during the past 60 years (1951-2010), minimum temperature increased 2times more than maximum temperature (0.062 versus 0.031). Test results also showed temperature increasing in all seasons, but just winter maximum temperature increasing trend was not significant in 95% confidence level. Also the highest rate of temperature increasing was belonged to autumn minimum temperature, with the slope of 0.074. Like the difference between annual series, in all season minimum temperature increasing trend is higher than maximum trend, comparing trends in monthly maximum and minimum temperatures show similar results. It also was shown that the minimum temperature trend rose approximately near the year 1985, while maximum temperature break point is near 1995.

Keywords: Temperature trend, Maximum temperature, Minimum temperature

1,2- PhD Student and Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(*- Corresponding Author Email: sh.shideh@gmail.com)