

فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۶، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۰، شماره پیاپی ۱۰۲

B.Alijani
P.Mahmoudi
M.Salighe
A.Rigi chahi

بهلول علیجانی، استاد اقلیم شناسی و مدیر قطب علمی تحلیل فضایی مخاطرات محیطی،

دانشگاه تربیت معلم

پیمان محمودی، دانشجوی دکترای اقلیم شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان و کارشناس

مرکز تحقیقات هواشناسی کاربردی استان سیستان و بلوچستان

محمد سلیقه، استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت معلم تهران

اله بخش ریگی چاهی، کارشناس ارشد ریاضی کاربردی - مرکز تحقیقات هواشناسی

کاربردی استان سیستان و بلوچستان

Paymanasia@yahoo.com

شماره مقاله: ۸۲۸

شماره صفحه پیاپی ۱۷۳۷۴-۱۷۳۵۲

بررسی تغییرات کمینه‌ها و بیشینه‌های سالانه دما در ایران

چکیده

در این پژوهش با استفاده از آزمون آماری - گرافیکی من- کندال که یکی از روش‌های پیشنهادی سازمان هواشناسی جهانی برای تحلیل سری‌های زمانی است روند تغییرات میانگین دمای حداقل و حداکثر سالانه در ایران بررسی می‌شود. برای بررسی این روند و دستیابی به یک الگوی مناسب در این زمینه، داده‌های مربوط به دو متغیر فوق برای ۴۴ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در یک دوره آماری ۴۰ ساله (۲۰۰۸-۱۹۶۹) از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که بیشتر گستره ایران، هم شاهد تغییرات در میانگین دماهای حداکثر و هم حداقل بوده است؛ اگرچه این تغییرات در گستره ایران به یک شکل و اندازه نبوده است. ۲۸ ایستگاه در گستره ایران زمین که در غرب، شمال غرب، جنوب غرب، شمال شرق و مرکز ایران بوده‌اند، دارای تغییرات افزایشی در میانگین دماهای حداکثر بوده‌اند که همگی این افزایش‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار بوده‌اند. از میان ایستگاه‌های باقیمانده، دو ایستگاه چابهار و تربت حیدریه دارای روند کاهشی بوده‌اند و در بقیه ایستگاه‌ها تغییراتی مشاهده نشده است. نوع تغییرات رخ داده نیز همگی از نوع تغییرات ناگهانی و بیشتر آن

هم در دهه سوم (۱۹۹۸-۱۹۸۹) به وقوع پیوسته است. از ۳۳ ایستگاهی که افزایش در میانگین دماهای حداقل در آنها مشاهده گردیده است، ۱۹ مورد دارای تغییراتی از نوع روند و بقیه از نوع تغییرات ناگهانی بوده است. این تغییرات افزایشی بجز در قسمت‌های کوچکی از غرب، جنوب غرب، جنوب و یک ایستگاه در شرق ایران در دیگر قسمت‌های ایران مشاهده گردیده است. دو ایستگاه فسا و شهرکرد نیز دارای روند کاهشی در دماهای حداقل بوده‌اند و در بقیه ایستگاه‌های باقیمانده روندی مشاهده نشده است. از لحاظ زمانی هم بیشترین تغییرات رخ داده در دهه سوم رخ داده است. میانگین حسابی آماره‌های آزمون من - کندال برای دماهای حداکثر ۰/۲۴ و برای میانگین دماهای حداقل ۰/۴ بدست آمد که حاکی از تقریباً دو برابر بودن تغییرات در میانگین دماهای حداقل در مقایسه با میانگین دماهای حداکثر است.

واژه‌های کلیدی: ایران، تغییر اقلیم، آزمون من - کندال، تغییر ناگهانی، روند

مقدمه

از زمان انتشار کار پیشگامانه وایلت (۱۹۵۰) در مورد تغییرات دمای قرن نوزدهم تا کنون، شاهد علاقه و توجه فراوانی به مطالعات تغییر اقلیم از جانب اندیشمندان و دانشمندان علوم مختلف از جمله هواشناسان و اقلیم‌شناسان بوده ایم؛ به طوری که تعداد بیشمار منابع منتشر شده در چند دهه اخیر در خصوص تغییر اقلیم و جنبه‌های مختلف آن می‌تواند تأییدی بر این مطلب باشد. در این تحقیقات با توجه به هدف‌های مورد نظر از عناصر مختلف اقلیمی، طول دوره‌های مختلف و شیوه‌های متفاوتی بهره گرفته شده است. به طوری که از دیدگاه مقیاس مکانی می‌توان آنها را در سه دسته مطالعات منطقه‌ای (روپا کومار و هینگن، ۱۹۸۸، ۱۵۰-۱۲۳؛ دیسنس و بوچر، ۱۹۹۵، ۱۶۲-۱۴۷؛ برازیل و همکاران، ۱۹۹۵، ۶۵-۵۳؛ پلومر و همکاران، ۱۹۹۵، ۸۶-۷۶ و جیانگ و یو، ۱۹۹۶، ۳۹-۳۳)، نیمکره‌ای (جونز، ۱۹۹۴، ۱۸۰۲-۱۷۹۴؛ جونز و موبرگ، ۲۰۰۳، ۲۲۳-۲۰۶؛ استرن و

کافمن، ۲۰۰۰، ۴۳۸-۴۱۱) و سیاره‌ای (هورتون، ۱۹۹۵، ۱۱۷-۱۰۱؛ نیکلاس و همکاران، ۱۹۹۶؛ و رامستروف و گانوپولسکی، ۱۹۹۹، ۳۶۷-۳۵۳) و همچنین از دیدگاه مقیاس زمانی به مقیاس‌های ماهانه (مسعودیان، ۱۳۸۳، ۱۰۶-۸۹؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۰۹؛ گیمر و همکاران، ۲۰۰۴، ۴۵-۳۹)، فصلی (تورکش و همکاران، ۱۹۹۸، ۴۷۷-۴۶۳؛ کادیوگلو و همکاران، ۲۰۰۱، ۲۳۳-۲۰۹؛ تونکاز و همکاران، ۲۰۰۷، ۲۰۹-۱۹۵) و سالانه (تورکش و همکاران، ۲۰۰۷، ۵۶۹-۵۵۷؛ هادکینز و همکاران، ۲۰۰۲، ۱۸۲۷-۱۸۱۹؛ نصری و مدرس، ۲۰۰۸، ۱۴۳۸-۱۴۳۰) تقسیم بندی نمود.

از آنجا که دما از عناصر اساسی شکل‌گیری اقلیم است و تغییرات آن می‌تواند ساختار آب و هوایی هر منطقه‌ای را دگرگون سازد، لذا بررسی روند دما در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی بخش بزرگی از تحقیقات اقلیم‌شناسی را به خود اختصاص داده است (مسعودیان، ۱۳۸۳، ۸۹). برای اهمیت این پارامتر، دلایل متعددی وجود دارد: نخست اینکه دمای هوا از محدود عناصر اقلیمی است که استمرار زمانی دارد و در همه مکان‌ها و فضاهای جغرافیایی می‌توان به صورت پیوسته آن را اندازه‌گیری نمود، دوم اینکه این متغیر اقلیمی با سایر عناصر آب و هوایی مانند تشعشع خورشیدی، رطوبت موجود در جو، وزش باد و بارندگی در ارتباط مستقیم یا غیر مستقیم است و فرآیندهای آب و هوایی را کنترل می‌کند (رسولی، ۱۳۸۱، ۸).

بررسی‌های پژوهشگران نشان می‌دهد که از آغاز قرن بیستم تا کنون شاهد افزایشی در حدود ۰/۶ درجه سانتیگراد در میانگین دمای کره زمین بوده‌ایم (نیکلاس و همکاران، ۱۹۹۶؛ استرلینگ و همکاران، ۱۹۹۷، ۳۶۶-۳۶۴) و این افزایش بیشتر به سبب افزایش در دماهای حداقل بوده است که میزان آن تقریباً دو برابر میزان افزایش دماهای حداکثر است (والتر و همکاران، ۲۰۰۲، ۳۹۵-۳۸۹). همچنین کاهش در تغییرپذیری دماهای روزانه در طی دهه‌های اخیر سبب گردیده است که فراوانی وقوع حداقل‌های دما به خصوص در زمستان‌ها کاهش نشان دهد (شیفینگر و همکاران، ۲۰۰۳، ۵۱-۴۱). به علاوه

در حد فاصل سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۹۳ به طور متوسط در هر دهه دمای حداقل شبانه حدود ۰/۲ درجه سانتیگراد افزایش داشته است که این میزان تقریباً دو برابر افزایش دمای حداکثر روزانه؛ یعنی ۰/۱ درجه سانتیگراد در همان دوره آماری برای هر دهه بوده است (IPCC, ۲۰۰۱). با وجود اینکه یک افزایش شدید در مقیاس جهانی در دماهای حداقل به خوبی به اثبات رسیده است. با این حال، در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای نیز تغییر پذیری‌های چشمگیری قابل مشاهده است. به گونه‌ای که کومار و همکاران (۲۰۰۵، ۱۵۰) -۲۳ (۱۲۳) در فیرنزه ایتالیا، تایانچ و همکاران (۲۰۰۹، ۵۰۲) -۴۸۳ در ترکیه، سلیشی و زانکه (۲۰۰۴، ۹۸۳) -۹۷۳ در اتیوپی، دومونکوس و تار (۲۰۰۳، ۱۴۷) -۱۳۱ در مجارستان، کیانگ و همکاران (۲۰۰۵، ۲۲۲) -۲۱۷ در چین، لیتن مایر و همکاران (۱۹۹۴، ۶۰۷) -۵۸۶ در ایالات متحده آمریکا، فریوان و کودیوگلو (۲۰۰۸، ۸۹) -۶۹ در اردن و دومروس و تنتاوی (۲۰۰۵، ۶۳) -۵۱ در مصر روندهائی را در سری‌های زمانی دماهای حداقل و حداکثر به اثبات رسانده‌اند.

در ایران نیز در چند سال اخیر مطالعات گسترده‌ای در زمینه تغییر اقلیم انجام پذیرفته است به طوری که عزیزی و روشنی (۲۸، ۱۳۸۷) -۱۳ با بررسی سری‌های زمانی دما، بارش، رطوبت نسبی و ابرناکی پنج ایستگاه سینوپتیک شمال ایران به این نتیجه رسیدند که در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه، دمای حداقل، روند مثبت و دمای حداکثر روند منفی داشته است. محمدی و تقوی (۱۷۲، ۱۳۸۴) -۱۵۱ نیز با مطالعه روند شاخص‌های حدی دما و بارش در تهران مشاهده نمودند که یک روند کاهشی در شاخص‌های حدی سرد و یک روند کاملاً افزایشی در روند دماهای حداقل و متوسط روزانه قابل مشاهده است. تغییرات درجه حرارت در دشت مشهد نیز توسط ابراهیمی و همکاران (۱۳۸۴) -۱۸-۵ بررسی و مشاهده شد که در هر سه پارامتر درجه حرارت؛ یعنی حداقل، حداکثر و میانگین، روند صعودی وجود دارد. شیرغلامی و قهرمان (۱۳۸۴) نیز در یک مطالعه جامع به بررسی روند تغییرات دمای متوسط سالانه ایران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که از

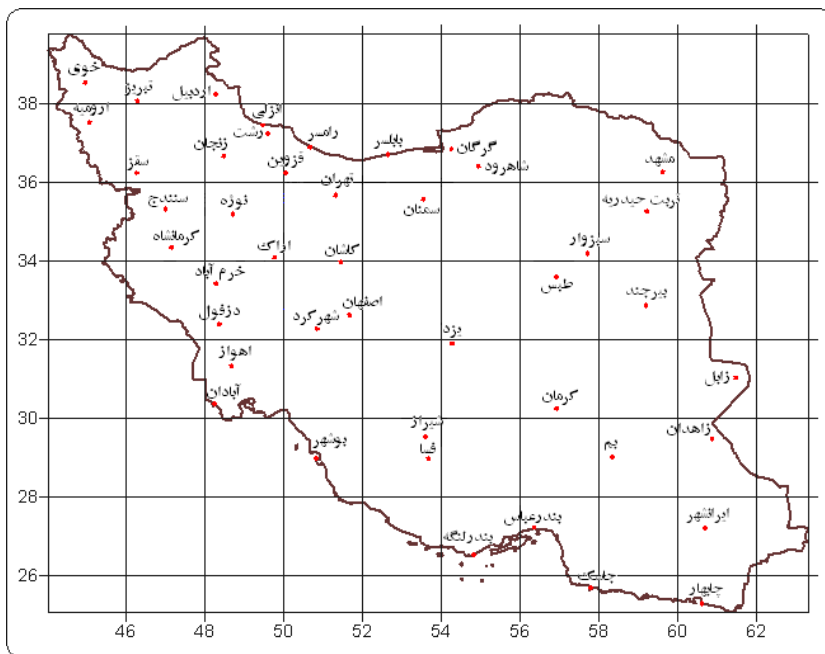
بین ۳۴ ایستگاه مورد مطالعه در سطح کشور در یک دوره آماری مشترک (۱۹۶۸-۱۹۹۸) و در سطح معنی داری ۵ درصد حدود ۴۴ درصد ایستگاه‌ها دارای روند مثبت، ۱۵ درصد دارای روند منفی و ۴۱ درصد بدون روند بوده‌اند. به علاوه افزایش میانگین سالانه دمای کمینه در یک دهه برای تهران تا حد $0/68$ درجه سانتیگراد (بیدختی و همکاران، ۱۳۸۲، ۵)، تأیید افزایش ۲ درجه سلسیوس دمای شبانه روزی ایران در صد سال (مسعودیان، ۱۳۸۳، ۱۰۶-۸۹) و پیش‌بینی افزایش تا $2/75$ درجه‌ای در واحد سلسیوس برای شمال شرق ایران و استان خراسان (علیزاده و کمالی، ۱۳۸۱، ۲۰۱-۱۸۹) نیز نمونه‌هایی از نتایج مطالعات در مقیاس منطقه‌ای در ایران هستند.

روش‌های آماری متعددی جهت تحلیل روند سری‌های زمانی ارائه شده است که می‌توان آنها را در دو دسته روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک تقسیم بندی نمود. در روش‌های ناپارامتریک اساس کار بر تفاوت بین داده‌های مشاهداتی است به گونه‌ای که این روش‌ها مستقل از توزیع آماری بوده و برای سری‌هایی که چولگی یا کشیدگی زیادی دارند، از روش‌های پارامتریک مناسب‌ترند (حجام و همکاران، ۱۳۸۷، ۱۵۸). همچنین روش‌های ناپارامتریک در مقام مقایسه با روش‌های پارامتریک از دقت و صحت بیشتری برخوردار هستند (یوه و پیلون، ۲۰۰۴، ۳۷-۲۱؛ یوه و همکاران، ۲۰۰۴، ۲۷۱-۲۵۴؛ رضایی و همکاران، ۱۳۸۴، ۸۱-۷۳).

با بررسی و مطالعه بسیاری از منابع داخلی و خارجی که به برخی از آنها نیز در بالا اشاره شد مشاهده گردید که هنوز مطالعه جامع و کاملی که روند تغییرات اقلیمی به خصوص روند تغییرات در میانگین دماهای حداقل و حداکثر ایران را با استفاده از روش‌های ناپارامتریک بررسی کرده باشد انجام نشده است. لذا در این پژوهش قصد بر این است که با استفاده از آزمون آماری - گرافیکی من- کندال که یکی از روش‌های پیشنهادی سازمان هواشناسی جهانی برای تحلیل سری‌های زمانی است روند تغییرات اقلیمی (میانگین دمای حداقل و حداکثر سالانه) در گستره ایران بررسی شود.

داده‌ها و روش کار

برای بررسی روند تغییرات دما در ایران، داده‌های مربوط به دو متغیر میانگین دمای حداقل و حداکثر سالانه ۴۴ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک برای یک دوره آماری ۴۰ ساله (۱۹۶۹-۲۰۰۸) از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. این ایستگاه‌ها دارای کامل‌ترین دوره آماری در بین همه ایستگاه‌های کشور بوده و سعی بر آن بوده است که از ایستگاه‌هایی که دارای ۵ درصد و کمتر نقص آماری در طول دوره بوده‌اند استفاده شود. بازسازی داده‌ها با استفاده از روش همبستگی و مدل رگرسیونی و همگن بودن داده‌ها نیز با استفاده از آزمون ران تست انجام شد و از همگن بودن داده‌ها در طول دوره آماری اطمینان حاصل شد. توزیع و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح کشور در شکل شماره ۱ آورده شده است.



شکل شماره ۱ - نقشه موقعیت و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه

جهت بررسی روند تغییرات دما از آزمون آماری-گرافیکی من-کندال استفاده شد. این آزمون ابتدا توسط من (۲۴۵-۲۵۹، ۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۵) بسط و توسعه یافته است. از نقاط قوت این آزمون می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره نمود. همچنین اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی سری‌های زمانی مشاهده می‌شود از دیگر مزایای استفاده از این روش است (حجام و همکاران، ۱۳۸۷، ۱۶۰-۱۵۹). لذا با توجه به توانمندی‌هایی که این آزمون در آشکارسازی تغییرات رخ داده در سری‌های زمانی متغیرهای اقلیمی دارا می‌باشد، بسیار مورد توجه محققین حوزه‌های مطالعاتی تغییر اقلیم بوده است (یوه و هاشینو، ۲۰۰۳، ۲۷-۱۵؛ جیانگ و همکاران، ۲۰۰۸، ۱۴۸۱-۱۴۷۱؛ فیداس و همکاران، ۲۰۰۴، ۲۰۸-۱۸۵؛ تورکش و همکاران، ۲۰۰۸، ۱۰۷۴-۱۰۵۶؛ تایانچ و توروس، ۱۹۹۷، ۵۲۴-۵۰۱؛ مارنگو، ۱۹۹۵، ۱۱۷-۹۹). آزمون ناپارامتریک من - کندال فرض صفر عدم وجود روند در سری‌های زمانی را بررسی می‌کند. در این راستا نقاط تغییر ناگهانی را هم شناسایی می‌کند. مراحل کار به شرح ذیل است:

در گام اول برای هر پارامتر هر ایستگاه جدولی (جدول ۱) فراهم می‌شود که ستون اول آن: ردیف، ستون دوم: سال و ستون سوم: متغیر مورد مطالعه (که در اینجا برای نمونه حداقل دمای سالانه ایستگاه سنندج) می‌باشد. در ستون چهارم، داده‌های حداقل سالانه ابتدا به صورت صعودی (از کم به زیاد) مرتب شده و در ادامه به هر عدد بر اساس جایگاهش در سری زمانی مورد مطالعه، رتبه‌ایی از ۱ تا ۴۰ بر اساس طول دوره آماری داده خواهد شد. ستون پنجم که بر اساس رتبه‌های ستون چهارم به دست می‌آید عبارت خواهند بود از تعداد رتبه‌هایی که بالاتر از هر ردیف قرار می‌گیرند. برای مثال، در ستون چهارم در ردیف اول دمای سال ۱۹۶۹، $\frac{6}{8}$ درجه سانتیگراد است که دارای رتبه ۳۶ است. بنابراین ۴ رتبه می‌تواند بالاتر از آن قرار گیرد یا در ردیف چهارم دمای سال ۱۹۷۲، $\frac{3}{8}$

درجه سانتیگراد است که بر اساس رتبه بندی داده شده، رتبه ۴ را به خود اختصاص داده است؛ بنابراین، بر اساس طول دوره آماری مورد مطالعه ۳۶ رتبه بالاتر از آن می‌تواند قرار گیرد به علاوه در همان ستون پنجم نیز سه عدد ۲۰، ۴۰ و ۳۶ بزرگتر از رتبه چهارم هستند که بایستی از ۳۶ کم شوند که در نهایت تعداد رتبه‌های بالاتر از ۴، ۳۳ خواهد بود که در جدول آورده می‌شود. در ستون ششم نیز فراوانی تجمعی حاصل از جمع ستون پنجم به دست می‌آید. برای آزمون فرض صفر عدم وجود روند، آماره کندال (t) بر اساس فرمول زیر محاسبه شد:

$$t = \frac{4 \sum H}{N(N-1)} - 1 \quad (1)$$

که در آن، $\sum H$ فراوانی تجمعی تعداد رتبه‌هایی که بالاتر از هر ردیف قرار می‌گیرند (ستون ششم از جدول شماره ۱) و N تعداد سال‌های دوره آماری است که در این تحقیق ۴۰ سال است. آماره استاندارد کندال (t_0)، از رابطه زیر محاسبه شد:

$$t_0 = \pm tg \sqrt{\frac{4N+10}{9N(N-1)}} \quad (2)$$

در این فرمول tg سطح معنی داری یا اطمینان آزمون است که در این تحقیق بر اساس سطح احتمال ۹۵ درصد مقدار آن ۱/۹۶ است. بنابراین، در صورت اعمال این مقدار، t_0 برابر با ± 0.21 خواهد شد. حال با توجه به مقدار بحرانی به دست آمده سه حالت زیر برقرار خواهد شد:

۱- اگر $-0.21 < t < 0.21$ باشد روند معنی داری در سری‌های زمانی مشاهده نمی‌شود.

۲- اگر $t < -0.21$ باشد روند معنی دار منفی در سری‌های زمانی مشاهده گردیده است.

۳- اگر $t > +0.21$ باشد روند معنی دار مثبت در سری‌های زمانی مشاهده گردیده است.

نتایج مربوط به محاسبه این قسمت برای تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه به طور کامل در جدول شماره ۲ آورده شده است. در گام دوم در صورت تأیید معنی داری روند، با استفاده از آماره گرافیکی من - کندال، زمان و نوع تغییرات تعیین گردید. برای این کار دو مولفه U و U' محاسبه شد. برای این منظور در ستون هفتم جدول ۱ تعداد رتبه‌های کوچکتر از رتبه هر ردیف (t_i) محاسبه شد. برای مثال، در ردیف هشتم از ستون چهارم مشاهده می‌کنیم که دمای سال ۱۹۷۶ برابر با $۴/۳$ درجه سانتیگراد است که رتبه آن برابر با ۱۱ است. بنابراین با شمارش رتبه‌هایی که قبل از ردیف هشتم قرار گرفته‌اند و همچنین کوچکتر از رتبه ۱۱ هستند برابر با ۴ است. ستون هشتم نیز فراوانی تجمعی ستون هفتم است. سپس امید ریاضی، واریانس و مولفه U به ترتیب و براساس فرمول‌های ۳، ۴ و ۵ به شرح زیر محاسبه شدند:

$$E(t_i) = \frac{n_i(n_i - 1)}{4} \quad (۳)$$

$$V(t_i) = \frac{n_i(n_i - 1)(2n_i + 5)}{18} \quad (۴)$$

$$U(t_i) = \frac{\sum t_i - E(t_i)}{\sqrt{V(t_i)}} \quad (۵)$$

در این فرمول‌ها n_i شماره ردیف است. نتایج حاصل از این فرمول‌ها به ترتیب در ستون‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ جدول شماره ۱ آورده شده است.

محاسبه مولفه U' بر عکس مولفه U است. برای محاسبه این مولفه رتبه‌های کوچکتر از رتبه هر ردیف در ستون ۴ که قبل از ردیف ذریبط قرار دارند نوشته می‌شود (t'_i در ستون ۱۲ جدول ۱). در ستون ۱۳، این رتبه‌ها از آخر به صورت تجمعی جمع

می‌شوند ($\sum t'_i$) به طوری که بالاترین مقدار در مقابل ردیف اول نوشته می‌شود. امید ریاضی، واریانس و مولفه U' به ترتیب و براساس فرمول‌های ۶، ۷ و ۸ محاسبه شدند:

$$E'(t'_i) = \frac{(N - n_i + 1)(N - n_i)}{4} \quad (۶)$$

$$V'(t'_i) = \frac{(N - n_i + 1)(N - n_i)(2(N - n_i + 1) + 5)}{75} \quad (۷)$$

$$U'(t'_i) = \frac{\sum t'_i - E'}{\sqrt{V'}} \quad (۸)$$

نتایج حاصل از فرمول‌های بالا به ترتیب در ستون‌های ۱۴، ۱۵ و ۱۶ از جدول شماره ۱ آورده شده است. پس از محاسبه مقادیر فوق، دو مقدار U و U' به صورت نمودار رسم خواهند شد (شکل شماره ۲). این نمودارها می‌توانند سه نوع مختلف از تغییرات را نشان دهند:

- تغییرات ناگهانی: اگر محل برخورد دو منحنی U و U' در داخل محدوده بحرانی ± 1.96 باشد و منحنی U از محدود بحرانی خارج شود و دوباره به داخل محدوده برگردد، تغییرات از نوع ناگهانی خواهد بود.

- روند: اگر منحنی U پس از خروج از محدوده معنی داری دوباره به داخل محدوده برگردد روند معنی دار خواهد بود. به طرف مقادیر مثبت روند مثبت و به طرف مقادیر منفی روند منفی خواهد بود.

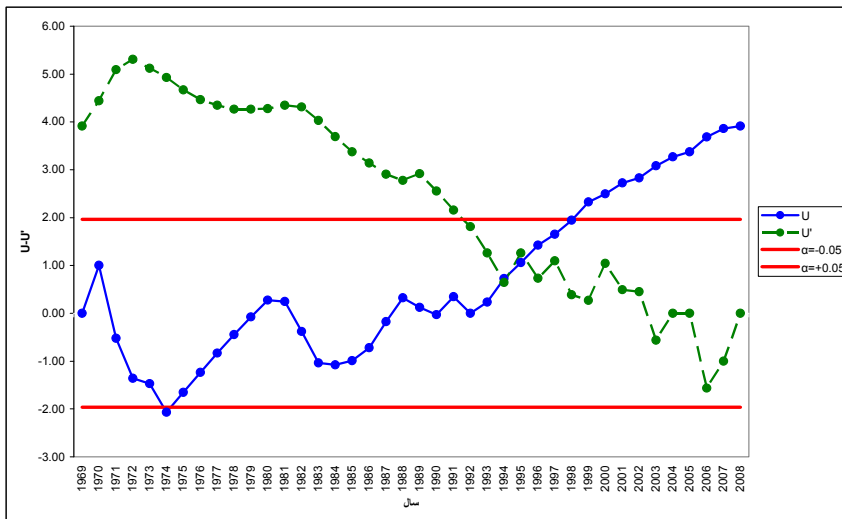
- بدون تغییر: اگر دو منحنی ذکر شده در داخل محدوده بحرانی با هم برخورد کنند و از محدوده بحرانی خارج نشوند و یا هیچ تلاقی نباشد، هیچ گونه تغییر و روند معنی داری مشاهده نمی‌شود (شکل شماره ۲).

جدول شماره ۱- نمونه‌ای از جدول آزمون آماری - گرافیکی من-کندال برای میانگین دمای

حداقل ایستگاه سینوپتیک سندج در دوره آماری ۲۰۰۸-۱۹۶۹

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	
ردیف (n_i)	سال	دمای حداقل سالانه	رتبه بندی (H)	فراوانی تجمعی (H)	f_i	فراوانی تجمعی f_i	امید ریاضی ($E.f_i$)	واریانس ($V.f_i$)	مولفه U ($U.f_i$)	فراوانی تجمعی f'_i	امید ریاضی ($E.f'_i$)	واریانس ($V.f'_i$)	مولفه U' ($U'.f'_i$)	ردیف	ردیف	
۱	۱۹۶۹	۷/۸	۳۶	۴	۴	-	-	-	-	۳۵	۲۲۲	۳۹۰	۱۸۴۱/۶۷	۳/۹۱	۳/۹۱	
۲	۱۹۷۰	۷/۲	۴۰	-	۴	۱	۱	-۱/۵	-۱/۲۵	۱	۳۸	۱۸۷	۳۷۰/۱۵	۱۷۰/۸۴۲	۴/۴۴	
۳	۱۹۷۱	۵/۶	۲۰	۱۸	۲۲	-	۱	۱/۵	-۱/۹۲	۱۹	۱۴۹	۳۵۱/۵	۱۵۸۱/۷۵	۵/۰۹	۵/۰۹	
۴	۱۹۷۲	۳/۸	۴	۲۳	۵۵	-	۱	۳	۲/۱۷	-۱/۳۶	۳	۱۳۰	۳۲۳	۱۴۶۱/۵۰	۵/۳۱	
۵	۱۹۷۳	۴	۵	۲۳	۸۷	۱	۲	۵	۴/۱۷	-۱/۴۷	۳	۱۲۷	۳۱۵	۱۳۴۷/۵۰	۵/۱۲	
۶	۱۹۷۴	۳/۵	۲	۲۳	۱۲۰	-	۲	۷/۱۵	۷/۰۸	-۲/۰۷	۱	۱۲۴	۲۹۷/۵	۱۲۳۹/۵۸	۴/۹۳	
۷	۱۹۷۵	۴/۲	۷	۳۰	۱۵۰	۳	۵	۱۰/۱۵	۱۱/۰۸	-۱/۵۵	۳	۱۲۳	۲۸۰/۵۰	۱۱۲۷/۵۸	۴/۷۲	
۸	۱۹۷۶	۴/۳	۱۱	۲۶	۱۷۶	۴	۹	۱۴	۱۶/۳۳	-۱/۲۴	۶	۱۲۰	۲۶۴	۱۰۴۱/۳۳	۴/۴۶	
۹	۱۹۷۷	۴/۷	۱۳	۲۴	۲۰۰	۵	۱۴	۱۸	۲۳	-۱/۸۳	۷	۱۱۴	۲۴۸	۹۵۰/۶۷	۴/۳۵	
۱۰	۱۹۷۸	۵/۳	۱۶	۲۱	۲۲۱	۶	۲۰	۲۲/۵	۳۱/۲۵	-۱/۴۵	۹	۱۰۷	۲۲۷/۵	۸۶۵/۴۲	۴/۲۷	
۱۱	۱۹۷۹	۵/۴	۱۷	۲۰	۲۴۱	۷	۲۷	۲۷/۵	۴۱/۲۵	-۱/۰۸	۹	۹۸	۲۱۷/۵	۷۸۵/۴۲	۴/۲۶	
۱۲	۱۹۸۰	۵/۵	۱۹	۱۸	۲۵۹	۸	۳۵	۳۳	۵۳/۱۷	-۱/۲۷	۱۰	۸۹	۲۰۳	۷۱۰/۵۰	۴/۲۸	
۱۳	۱۹۸۱	۴/۷	۱۴	۲۰	۲۷۹	۶	۴۱	۳۹	۶۷/۱۷	-۱/۲۴	۷	۷۹	۱۸۹	۶۴۰/۵۰	۴/۳۵	
۱۴	۱۹۸۲	۳/۶	۳	۲۵	۳۰۴	۱	۴۲	۴۵/۵	۸۳/۴۲	-۱/۳۸	۱	۷۲	۱۷۵/۵	۵۷۵/۲۵	۴/۳۲	
۱۵	۱۹۸۳	۲/۵	۱	۲۵	۳۲۹	-	۴۲	۵۲/۵	۱۰۲/۰۸	-۱/۰۴	-	۷۱	۱۶۲/۵	۵۱۴/۵۸	۴/۳۱	
۱۶	۱۹۸۴	۴/۲	۸	۲۳	۳۵۲	۶	۴۸	۶۰	۱۲۳/۳۳	-۱/۰۸	۱	۷۱	۱۵۰	۴۵۸/۳۳	۳/۶۹	
۱۷	۱۹۸۵	۴/۳	۱۲	۲۰	۳۷۲	۸	۵۶	۶۸	۱۴۷/۳۳	-۱/۹۹	۳	۷۰	۱۲۸	۴۰۶/۳۳	۳/۳۷	
۱۸	۱۹۸۶	۵	۱۵	۱۹	۳۹۱	۱۱	۶۷	۷۶/۵	۱۷۴/۲۵	-۱/۲۲	۳	۶۷	۱۶۶/۵	۳۵۸/۴۲	۳/۱۴	
۱۹	۱۹۸۷	۵/۷	۲۲	۱۶	۴۰۷	۱۲	۸۳	۸۵/۵	۲۰۴/۲۵	-۱/۱۷	۵	۶۴	۱۱۵/۵	۳۱۴/۴۲	۲/۹۰	
۲۰	۱۹۸۸	۶/۲	۲۷	۱۱	۴۱۸	۱۳	۱۰۰	۹۵	۲۳۷/۵۰	-۱/۲۲	۹	۵۹	۱۰۵	۲۷۴/۱۷	۲/۷۸	
۲۱	۱۹۸۹	۴/۲	۹	۱۸	۴۳۶	۷	۱۰۷	۱۰۵	۲۷۴/۱۷	-۱/۲	۱	۵۰	۹۵	۲۳۷/۵۰	۲/۹۲	
۲۲	۱۹۹۰	۴/۲	۱۰	۱۷	۴۵۳	۸	۱۱۵	۱۱۵/۵	۳۱۴/۴۲	-۱/۰۳	۱	۴۹	۸۵/۵	۲۰۴/۲۵	۲/۵۵	
۲۳	۱۹۹۱	۵/۶	۲۱	۱۵	۴۶۸	۱۸	۱۲۳	۱۲۶/۵	۳۵۸/۴۲	-۱/۲۴	۲	۴۸	۷۶/۵	۱۷۴/۲۵	۲/۱۶	
۲۴	۱۹۹۲	۴	۶	۱۶	۴۸۴	۵	۱۳۸	۱۳۸	۴۰۶/۳۳	-	-	۴۶	۶۸	۱۴۷/۳۳	۱/۸۱	
۲۵	۱۹۹۳	۵/۴	۱۸	۱۵	۴۹۹	۱۷	۱۵۵	۱۵۰	۴۵۸/۳۳	-۱/۲۲	-	۴۶	۶۰	۱۲۳/۳۳	۱/۲۶	
۲۶	۱۹۹۴	۶/۸	۳۷	۲	۵۰۱	۲۴	۱۷۹	۱۶۲/۵	۵۱۴/۵۸	-۱/۲۲	۱۲	۴۶	۵۲/۵	۱۰۲/۰۸	۰/۶۴	
۲۷	۱۹۹۵	۵/۸	۲۴	۱۲	۵۱۳	۲۲	۲۰۱	۱۷۵/۵	۵۷۵/۲۵	۱/۰۶	۱	۳۴	۴۵/۵۰	۸۳/۴۲	۱/۲۶	
۲۸	۱۹۹۶	۶/۶	۲۳	۴	۵۱۷	۲۴	۲۲۵	۱۸۹	۶۴۰/۵۰	۱/۴۲	۸	۳۳	۳۹	۶۷/۱۷	۰/۳۲	
۲۹	۱۹۹۷	۵/۷	۲۳	۱۱	۵۲۸	۲۲	۲۴۷	۲۰۳	۷۱۰/۵۰	۱/۵۵	-	۲۵	۲۳	۵۲/۱۷	۱/۱۰	
۳۰	۱۹۹۸	۶/۴	۳۰	۶	۵۲۴	۲۵	۲۷۲	۲۱۷/۵	۷۸۵/۴۲	۱/۹۴	۴	۲۵	۲۷/۵	۴۱/۲۵	-۱/۳۹	
۳۱	۱۹۹۹	۶/۹	۳۸	۱	۵۲۵	۲۹	۳۰۱	۲۲۲/۵	۸۶۵/۴۲	۲/۳۳	۸	۲۱	۲۲/۵	۳۱/۲۵	-۱/۲۷	
۳۲	۲۰۰۰	۶/۱	۲۶	۷	۵۴۲	۲۴	۳۲۵	۲۴۸	۹۵۰/۶۷	۲/۵۰	۱	۱۲	۱۸	۲۳۰۰	۱/۰۴	
۳۳	۲۰۰۱	۶/۴	۳۱	۴	۵۴۶	۲۷	۳۵۲	۲۶۴	۱۰۴۱/۳۳	۲/۷۲	۳	۱۲	۱۴	۱۶۳۳	-۱/۴۹	
۳۴	۲۰۰۲	۶	۲۵	۶	۵۵۲	۲۴	۳۷۶	۲۸۰/۵	۱۱۳۷/۵۸	۲/۸۳	-	۹	۱۰/۵	۱۱۰۰۸	-۱/۴۵	
۳۵	۲۰۰۳	۶/۷	۳۵	۱	۵۵۳	۳۰	۴۰۶	۲۹۷/۵	۱۲۳۹/۵۸	۳/۰۸	۴	۹	۷/۵	۷۰۰۸	-۱/۵۱	
۳۶	۲۰۰۴	۶/۴	۳۲	۲	۵۵۵	۳۹	۴۳۵	۳۱۵	۱۳۴۷/۵۰	۳/۱۷	۲	۵	۴/۱۷	-	-	
۳۷	۲۰۰۵	۶/۳	۲۸	۳	۵۵۸	۴۷	۴۶۲	۳۳۲	۱۴۶۱/۵۰	۳/۳۷	-	۳	۳	۲/۱۷	-	
۳۸	۲۰۰۶	۷	۳۹	-	۵۵۸	۳۶	۴۹۸	۳۵۱/۵	۱۵۸۱/۷۵	۳/۶۸	۲	۳	۱/۵	-۰/۲۲	-۱/۵۷	
۳۹	۲۰۰۷	۶/۶	۳۴	-	۵۵۸	۳۲	۵۳۰	۳۷۰/۵	۱۷۰۸/۴۲	۳/۸۶	۱	۱	-۰/۵	-۰/۲۵	-۱	
۴۰	۲۰۰۸	۶/۳	۲۹	-	۵۵۸	۲۸	۵۵۸	۳۹۰	۱۸۴۱/۶۷	۳/۹۱	-	-	-	-۰/۰	-	
					Σ-۵۵۸						Σ-۲۲۲					

در نهایت در محیط نرم افزاری Surfer نقشه‌های پهنه بندی روند تغییرات میانگین دماهای حداقل و حداکثر با استفاده از روش کریجینگ ترسیم شد.



شکل شماره ۲- نمودار تغییرات U و U' میانگین دمای حداقل ایستگاه سینوپتیک سندج

جهت نمایش آغاز احتمالی تغییرات ناگهانی در سری‌های زمانی مورد مطالعه، دوره ۴۰ ساله به چهار زیر دوره ۱۰ ساله (۱۹۶۹-۱۹۷۸)، (۱۹۷۹-۱۹۸۸)، (۱۹۸۹-۱۹۹۸) و (۱۹۹۹-۲۰۰۸) تقسیم و زمان تغییرات بر اساس این چهار زیر دوره در محیط نرم افزار Surfer ترسیم گردید.

بحث

تغییرات در میانگین دماهای حداکثر

نتایج حاصل از محاسبه آماره من - کندال برای ۴۴ سری زمانی میانگین دماهای حداکثر سالانه کشور گویای این است که حدود ۶۴ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه یعنی ۲۸ ایستگاه در ایران دارای تغییرات افزایشی بوده‌اند که همگی این افزایش‌ها نیز در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار بوده‌اند. بیشترین مقدار تغییرات افزایشی متعلق به دو

ایستگاه آبادان و کرمانشاه و کمترین مقدار آن متعلق به دو ایستگاه شاهرود و زنجان بوده است.

جدول شماره ۲- نتایج آزمون آماره من - کندال به همراه نوع و زمان تغییر سری‌های زمانی

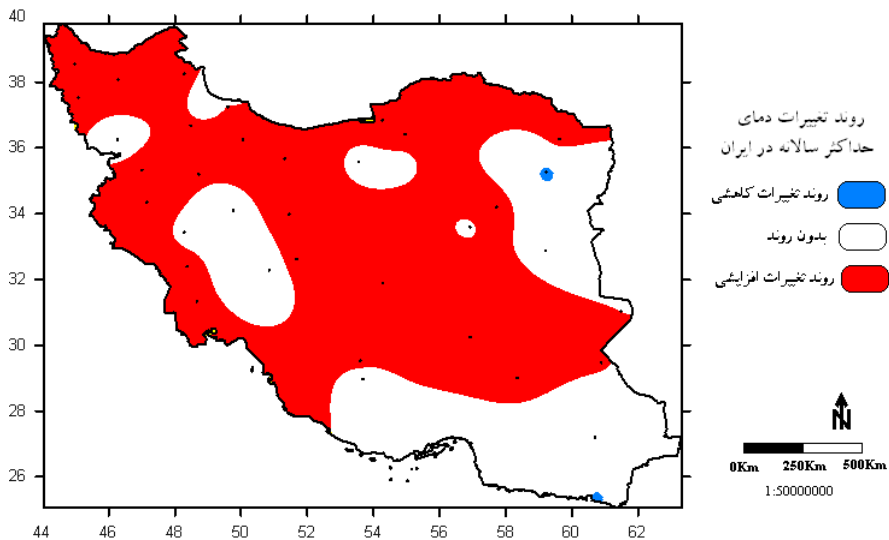
میانگین دماهای حداکثر

ردیف	نام ایستگاه	حداکثر دما	نوع تغییرات	زمان تغییر	ردیف	نام ایستگاه	حداکثر دما	نوع تغییرات	زمان تغییر
۱	آبادان	۰/۵۰	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۴	۲۳	سیزوار	۰/۳۹	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۴
۲	اهواز	۰/۳۳	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۸	۲۴	سفر	۰/۰۰	-----	-----
۳	اراک	۰/۰۷	-----	-----	۲۵	سندج	۰/۴۰	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۸
۴	اردبیل	۰/۳۰	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۸	۲۶	سمنان	۰/۱۳	-----	-----
۵	بابلسر	۰/۳۴	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۴	۲۷	شاهرود	۰/۲۴	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۹
۶	بیم	۰/۳۴	تغییرات ناگهانی	۲۰۰۱	۲۸	شیراز	۰/۲۷	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۷
۷	بندر انزلی	۰/۰۰	-----	-----	۲۹	طیس	۰/۱۹	-----	-----
۸	بندرعباس	۰/۰۴	-----	-----	۳۰	ترت حیدریه	۰/۳۰	تغییرات ناگهانی	۱۹۸۴
۹	بندر لنگه	۰/۱۷	-----	-----	۳۱	یزد	۰/۳۸	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۷
۱۰	چابهار	-۰/۲۲	تغییرات ناگهانی	۱۹۸۱	۳۲	زابل	۰/۲۱	-----	-----
۱۱	دزفول	۰/۳۷	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۲	۳۳	زاهدان	۰/۲۵	تغییرات ناگهانی	۲۰۰۰
۱۲	فسا	۰/۱۴	-----	-----	۳۴	زنجان	۰/۲۴	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۹
۱۳	قزوین	۰/۳۶	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۷	۳۵	تبریز	۰/۰۵	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۵
۱۴	سرخان	۰/۳۷	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۸	۳۶	ارومیه	۰/۴۱	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۷
۱۵	نوزه همدان	۰/۲۷	تغییرات ناگهانی	۲۰۰۳	۳۷	خوی	۰/۳۵	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۵
۱۶	ایرانشهر	-۰/۰۶	-----	-----	۳۸	اصفهان	۰/۴۶	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۴
۱۷	جاسک	-۰/۰۲	-----	-----	۳۹	کاشان	۰/۴۱	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۷
۱۸	کرمان	۰/۴۲	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۵	۴۰	بوشهر	۰/۳۶	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۸
۱۹	کرمانشاه	۰/۴۷	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۴	۴۱	تهران	۰/۴۶	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۷
۲۰	خرم آباد	۰/۱۱	-----	-----	۴۲	شهرکرد	-۰/۱۲	-----	-----
۲۱	رامسر	۰/۲۸	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۷	۴۳	بیرجند	۰/۱۳	-----	-----
۲۲	رشت	۰/۲۶	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۸	۴۴	مشهد	۰/۳۵	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۵

تغییرات کاهشی در میانگین دماهای حداکثر تنها در دو ایستگاه تربت حیدریه و چابهار مشاهده شده است. این دو ایستگاه در جدول شماره ۲ با رنگ متمایزی نشان داده شده‌اند. بقیه ایستگاه‌ها (۱۴ ایستگاه)، ایستگاه‌هایی را شامل می‌شود که هیچ گونه تغییر معناداری در میانگین حداکثر دمای آنها مشاهده نشده است (جدول ۲).

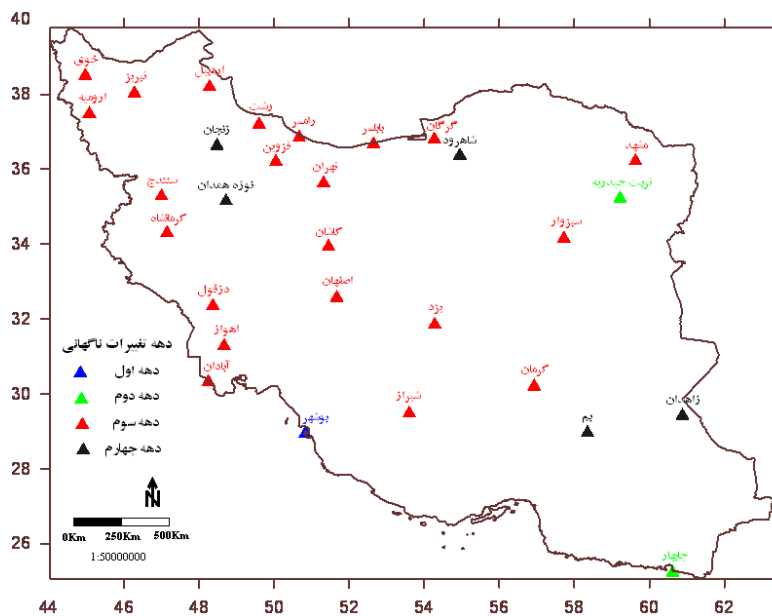
همچنین، برای اینکه تصویر روشن تری از تغییرات اقلیمی دماهای حداکثر در گستره ایران حاصل آید، شکل شماره ۳ که نتیجه تبدیل آماره آزمون من - کندال هر کدام از ایستگاه‌ها بدون توجه به میزان تغییرات و فقط با توجه به سطح معناداری آنها می‌باشد (نقشه هم روند معنی دار) تهیه گردید. بر اساس این نقشه مشاهده می‌گردد که قسمت وسیعی از ایران در مرکز، شمال و غرب ایران روند افزایشی در میانگین دماهای حداکثر

را تجربه کرده‌اند. اما شرق، جنوب، جنوب شرق و قسمت‌هایی از زاگرس مرکزی تغییر معنی داری را چه به صورت افزایشی و چه به صورت کاهش‌ی نشان نمی‌دهد. اما در مورد تغییرات کاهش‌ی در میانگین دماهای حداکثر همچنانکه که قبلاً بدان اشاره شد فقط در دو ایستگاه چابهار و تربت حیدریه مشاهده گردیده است.



شکل شماره ۳ پهنه بندی روند تغییرات اقلیمی دماهای حداکثر در گستره ایران زمین

با رسم نمودارهای U و U' برای تمام ایستگاه‌ها (نمایش داده نشده) نوع تغییرات رخ داده در میانگین دماهای حداکثر ایستگاه‌هایی که دارای تغییرات معنادار بوده‌اند، نیز تماماً از نوع تغییرات ناگهانی بوده است. از بین ۳۰ ایستگاهی که تغییرات آنها معنادار بوده است، ۲۲ ایستگاه تغییرات آن در دهه سوم، ۵ ایستگاه در دهه چهارم، ۲ ایستگاه در دهه دوم و تنها ۱ ایستگاه در دهه اول رخ داده است. پراکنش ایستگاه‌ها و دهه تغییر آنها در شکل شماره ۴ به خوبی قابل مشاهده است.



شکل شماره ۴- نقشه زمان تغییرات در میانگین دماهای حداکثر در گستره ایران

تغییرات در میانگین دماهای حداقل

تغییرات سری‌های زمانی میانگین دماهای حداقل سالانه ۴۴ ایستگاه مورد مطالعه نیز توسط آزمون من - کندال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این آزمون نشان می‌دهد که از بین ۴۴ ایستگاه مورد مطالعه، ۳۳ ایستگاه دارای افزایش در میانگین دماهای حداقل، ۲ ایستگاه دارای کاهش و ۸ ایستگاه فاقد هرگونه تغییر معنا دار بوده‌اند. لازم به ذکر است که نوع تغییرات موجود در سری‌های زمانی میانگین دماهای حداقل هم از نوع روند و هم از نوع تغییرات ناگهانی هستند که این دقیقاً بر عکس شرایط موجود در میانگین دماهای حداکثر است که تماماً از نوع تغییرات ناگهانی بودند (جدول ۳).

دو ایستگاه فسا و شهرکرد تنها دو ایستگاهی هستند که در گستره ایران، در آنها کاهش در میانگین دماهای حداقل مشاهده گردیده است، و نوع تغییرات رخ داده در آنها نیز از نوع تغییرات ناگهانی بوده است. اما ۳۳ ایستگاهی که افزایش در میانگین دماهای

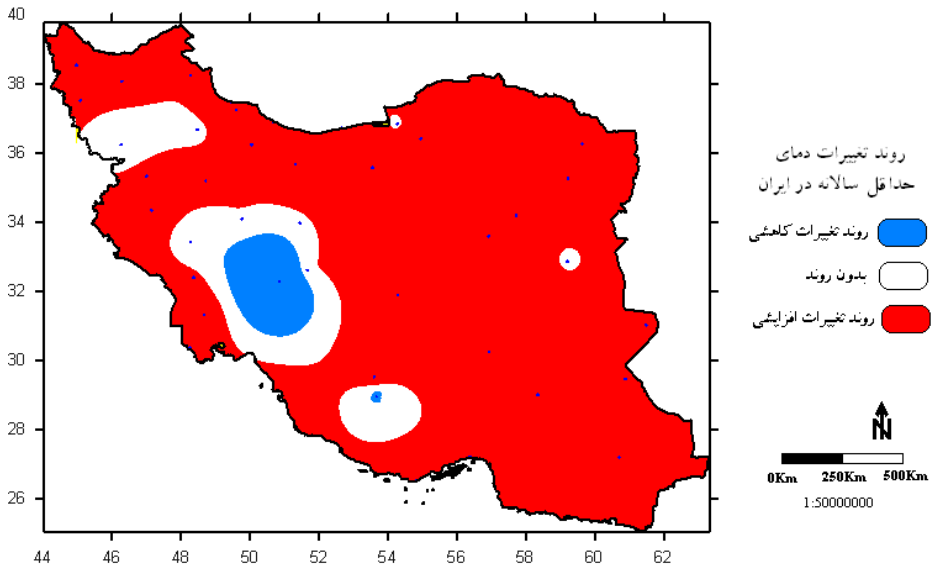
حداقل در آنها مشاهده گردیده است را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود به گونه‌ای که ۱۹ مورد آنها تغییرات شان از نوع روند و بقیه از نوع تغییرات ناگهانی بوده است (جدول ۳).

جدول شماره ۳- نتایج آزمون آماره من - کندال به همراه نوع و زمان تغییر سری‌های زمانی

میانگین دماهای حداقل

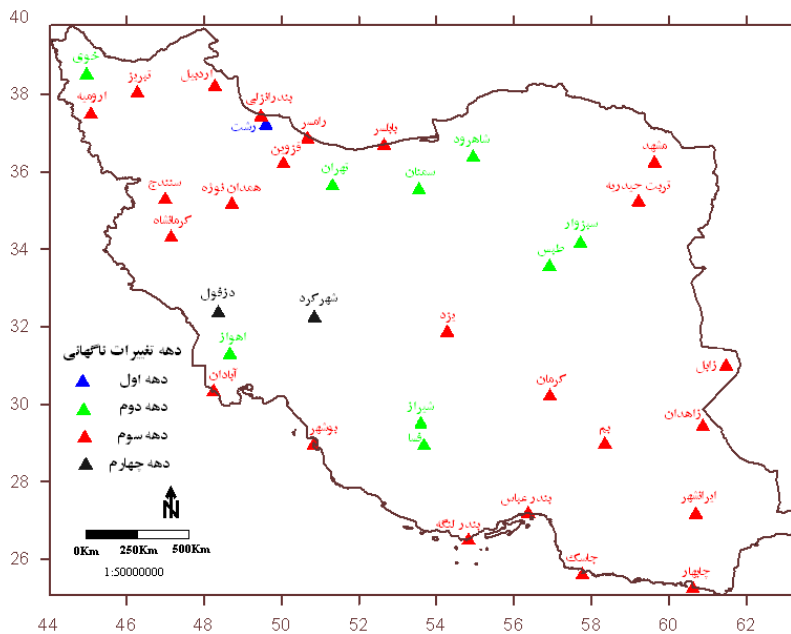
ردیف	نام ایستگاه	حداقل دما	نوع تغییرات	زمان تغییر	ردیف	نام ایستگاه	حداقل دما	نوع تغییرات	زمان تغییر
۱	آبادان	-۰/۴۵	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۵	۲۳	سبزوار	-۰/۴۱	تغییرات ناگهانی	۱۹۷۵
۲	اهواز	-۰/۷۶	روند	۱۹۸۷	۲۴	سفر	-۰/۱۳	-----	-----
۳	اراک	-۰/۱۶	-----	-----	۲۵	سندج	-۰/۴۳	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۴
۴	اردبیل	-۰/۲۷	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۸	۲۶	سمنان	-۰/۵۰	تغییرات ناگهانی	۱۹۸۴
۵	بابلسر	-۰/۶۹	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۴	۲۷	شاهرود	-۰/۷۵	روند	۱۹۸۸
۶	بیم	-۰/۶۷	روند	۱۹۹۲	۲۸	شیراز	-۰/۵۸	روند	۱۹۸۱
۷	بندر انزلی	-۰/۶۴	روند	۱۹۸۹	۲۹	طیس	-۰/۸۰	روند	۱۹۸۵
۸	بندرعباس	-۰/۳۶	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۶	۳۰	تربت حیدریه	-۰/۴۴	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۷
۹	بندر لنگه	-۰/۷۱	روند	۱۹۹۳	۳۱	یزد	-۰/۶۳	روند	۱۹۹۵
۱۰	چابهار	-۰/۶۵	روند	۱۹۹۸	۳۲	زابل	-۰/۵۴	روند	۱۹۹۵
۱۱	دزفول	-۰/۳۶	روند	۲۰۰۳	۳۳	زاهدان	-۰/۵۴	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۶
۱۲	فسا	-۰/۲۸	تغییرات ناگهانی	۱۹۸۳	۳۴	زنجان	-۰/۱۵	-----	-----
۱۳	قزوین	-۰/۳۲	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۷	۳۵	تبریز	-۰/۴۸	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۰
۱۴	گورگان	-۰/۱۳	-----	-----	۳۶	ارومیه	-۰/۳۸	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۳
۱۵	نوه همدان	-۰/۳۹	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۶	۳۷	خوی	-۰/۳۸	تغییرات ناگهانی	۱۹۸۷
۱۶	ایرانشهر	-۰/۶۳	روند	۱۹۹۴	۳۸	اصفهان	-۰/۱۳	-----	-----
۱۷	جاسک	-۰/۷۹	روند	۱۹۹۲	۳۹	کاشان	-۰/۰۹	-----	-----
۱۸	کرمان	-۰/۵۶	تغییرات ناگهانی	۱۹۹۶	۴۰	بوشهر	-۰/۶۲	روند	۱۹۹۴
۱۹	کرمانشاه	-۰/۵۸	روند	۱۹۹۳	۴۱	تهران	-۰/۷۲	روند	۱۹۸۸
۲۰	خرم آباد	-۰/۱۳	-----	-----	۴۲	شهرکرد	-۱/۷۱	تغییرات ناگهانی	۲۰۰۳
۲۱	رامسر	-۰/۷۰	روند	۱۹۹۴	۴۳	بیرجند	-۰/۱۷	-----	-----
۲۲	رشت	-۰/۴۸	روند	۱۹۷۷	۴۴	مشهد	-۰/۷۷	روند	۱۹۹۲

جهت دید مکانی مناسب نسبت به تغییرات رخ داده در میانگین دماهای حداقل، اقدام به تهیه نقشه پهنه بندی تغییرات روند میانگین دماهای حداقل در گستره ایران گردید. بر اساس این نقشه که در واقع نقشه هم روند تغییرات معنادار است، مشاهده می‌شود بجز قسمتی از منطقه زاگرس مرکزی، شمال غرب کشور و همچنین نقاط پراکنده‌ای در شرق، جنوب و شمال شرقی کشور که تغییرات معناداری را نشان نداده‌اند، بقیه گستره ایران زمین شاهد افزایش در میانگین دماهای حداقل بوده‌اند (شکل ۵).



شکل شماره ۵- پهنه بندی روند تغییرات اقلیمی دماهای حداقل در گستره ایران

همچنان که گفته شد تهیه نمودارهای گرافیکی من - کندال کمک شایان توجهی در تعیین نوع و زمان تغییرات در اختیار ما قرار می‌دهد. بر اساس همین نمودارها که نتایج آنها به طور کامل در جدول شماره ۳ آورده شده است، مشخص گردید که در سری زمانی دماهای حداقل، هم روند مشاهده می‌شود و هم تغییرات ناگهانی که بحث آن در بالا ارائه گردید. اما زمان تغییرات که حاصل برخورد دو منحنی U و U' است (به دلیل جلوگیری از افزایش حجم مقاله از آوردن نمودارها صرف نظر شده است) به ما می‌گوید که زمان بیشترین تغییرات مربوط به دهه سوم یعنی حد فاصل سال‌های ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۸ بوده است. تعداد ایستگاه‌هایی که در این برهه از زمان تغییرات نشان داده‌اند ۲۴ مورد بوده است. دهه دوم با ۹ مورد، دهه چهارم با ۲ مورد و دهه اول با ۱ مورد در رتبه‌های بعدی واقع شده‌اند. نتایج حاصل از این قسمت به صورت نقشه‌ای از پراکنش ایستگاه‌ها براساس دهه تغییرات مشاهده شده در آنها، در شکل شماره ۶ آمده است.



شکل شماره ۶- نقشه زمان تغییرات در میانگین دماهای حداقل در گستره ایران

در نهایت جهت دستیابی به یک دید کلی از تغییرات، اقدام به محاسبه میانگین حسابی آماره آزمون من - کندال گردید به طوری که آماره هر ۴۴ ایستگاه با هم جمع و تقسیم بر کل ایستگاه‌ها گردیدند که برای سری‌های زمانی میانگین دماهای حداکثر ۰/۲۴ و برای سری‌های زمانی میانگین دماهای حداقل ۰/۴ به دست آمد که حاکی از تقریباً دو برابر بودن تغییرات در میانگین دماهای حداقل در مقایسه با میانگین دماهای حداکثر است. این اعداد نشان از افزایش دما در گستره ایران زمین دارد. از لحاظ توزیع فضایی نیز تغییرات در میانگین دماهای حداقل گستره بیشتری از میانگین دماهای حداکثر را در بر گرفته است.

نتیجه گیری

جهت بررسی تغییرات رخ داده در سری‌های زمانی میانگین دماهای حداقل و حداکثر سالانه ایران از آزمون آماری - گرافیکی من - کندال بهره گرفته شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که بیشتر گستره ایران هم شاهد تغییرات در میانگین دماهای حداکثر و هم شاهد تغییرات در میانگین دماهای حداقل بوده است. اما این تغییرات در گستره ایران به یک شکل و به یک اندازه نبوده است. ۲۸ ایستگاه در گستره ایران دارای تغییرات افزایشی در میانگین دماهای حداکثر بوده‌اند که همگی این افزایش‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار بوده‌اند. نوع تغییرات رخ داده نیز همگی از نوع تغییرات ناگهانی و بیشتر آن هم در دهه سوم (۱۹۹۸-۱۹۸۹) به وقوع پیوسته است. از لحاظ توزیع فضائی نیز مشاهده شد که قسمت وسیعی از ایران در مرکز، شمال غربی، شمال شرقی و غرب روند افزایشی در میانگین دماهای حداکثر را تجربه کرده‌اند. اما شرق، جنوب، جنوب شرق و قسمت‌هایی از زاگرس مرکزی تغییر معنی داری را چه به صورت افزایشی و چه به صورت کاهش‌ی نشان نمی‌دهند.

اما در مورد میانگین دماهای حداقل باید گفت که دو ایستگاه فسا و شهرکرد تنها دو ایستگاهی هستند که در گستره ایران، در آنها کاهش در میانگین دماهای حداقل مشاهده شده و نوع تغییرات رخ داده در آنها نیز از نوع تغییرات ناگهانی بوده است. اما ۳۳ ایستگاهی که افزایش در میانگین دماهای حداقل در آنها مشاهده شده است را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود به گونه‌ای که ۱۹ مورد آنها تغییر از نوع روند و بقیه از نوع تغییرات ناگهانی بوده است. از لحاظ زمانی هم بیشترین تغییرات رخ داده در دهه سوم رخ داده است. از لحاظ مکانی نیز به جز قسمتی از منطقه زاگرس مرکزی، شمال غرب کشور و همچنین نقاط پراکنده‌ای در شرق، جنوب و شمال شرقی کشور که تغییرات معناداری را نشان نداده‌اند، بقیه گستره ایران زمین شاهد افزایش در میانگین دماهای حداقل بوده‌اند.

میانگین حسابی آماره من کندال نیز نشان داد که میزان افزایش میانگین حداقل سالانه دما تقریباً ۲ برابر افزایش میانگین حداکثر سالانه دما بود.

منابع

۱. ابراهیمی، حسین، امین علیزاده و سهیلا جوانمرد. (۱۳۸۴). بررسی وجود تغییر دما در دشت مشهد به عنوان نمایه تغییر اقلیم در منطقه. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۰ (شماره ۴ (پیاپی ۷۹))، ۱۸-۵.
۲. بیدختی، علی اکبر، عباسعلی رنجبر و عباس سعادت آبادی. (۱۳۸۲). مطالعه اثر اقلیمی جزیره گرمائی تهران. مجموعه مقالات سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم. اصفهان.
۳. حجام، سهراب، یونس خوشخو و رضا شمس الدین وندی. (۱۳۸۷). تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوزه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، تابستان، صص ۱۶۸-۱۵۷.
۴. رسولی، اکبر. (۱۳۸۱). تحلیل مقدماتی سری‌های زمانی دمای هوای شهر تبریز. نیوار، شماره‌های ۴۶ و ۴۷، پائیز و زمستان، صص ۲۶-۷.
۵. رضیئی، طبیب، پیمان دانش کار آراسته و بهرام ثقفیان (۱۳۸۴). بررسی روند بارندگی سالانه در مناطق خشک و نیمه خشک مرکزی و شرقی ایران. فصلنامه علمی - پژوهشی آب و فاضلاب، شماره ۵۴، صص ۸۱-۷۳.
۶. شیر غلامی، هادی و بیژن قهرمان. (۱۳۸۴). بررسی روند تغییرات دمای متوسط سالانه در ایران. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال نهم، شماره اول، بهار، صص ۲۳-۹.
۷. عزیزی، قاسم و محمود روشنی. (۱۳۸۷). مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من - کندال. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، تابستان، صص ۲۸-۱۳.
۸. علیزاده، امین و غلامعلی کمالی. (۱۳۸۱). اثرات تغییر اقلیم بر افزایش مصرف آب کشاورزی در دشت مشهد. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال هفدهم، شماره پیاپی ۶۶-۶۵، تابستان و پائیز، صص ۲۰۱-۱۸۹.
۹. محمدی، حسین و فرحناز تقوی. (۱۳۸۴). روند شاخص‌های حدی دما و بارش در تهران. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۳، پائیز، صص ۱۷۲-۱۵۱.
۱۰. مسعودیان، سید ابوالفضل. (۱۳۸۳). بررسی روند دمای ایران در نیم سده گذشته. فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۲ (پیاپی ۳)، بهار و تابستان، ۸۹-۱۰۶.

11. Brázdil, R., M. Budíková, P. Faško and M. Laplin., 1995. **Fluctuation of maximum and minimum air temperatures in the Czech and the Slovak Republics.** Atmospheric Research, Volume 37, Issues 1-3 / July, pp 53-65.
12. Dessens, J., and A. Bücher., 1995. **Changes in minimum and maximum temperatures at the Pic du Midi in relation with humidity and cloudiness, 1882-1984.** Atmospheric Research, Volume 37, Issues 1-3 / July, pp 147-162.

13. Domonkos, P., and K. Tar., 2003. **Long – term changes in observed temperature and precipitation series 1901-1998 from Hungary and their relations to larger scale changes.** Theoretical and Applied Climatology, Volume 75, Numbers 3-4 / September, pp 131-147.
14. Domroes, M., A. El-Tantawi., (2005). **Recent temporal and spatial temperature changes in Egypt.** International Journal of Climatology, Volume 25, Issue 1, January, pp 51-63.
15. Easterling, D. R., B. Horton, P. D. Jones, T. C. Peterson, T. R. Karl, D. E. Parker, M. J. Saliger, V. Razuvayev, N. Plummer, P. Jamason, and C. K. Folland., 1997. **Maximum and minimum temperature trends for the globe.** Science 277, pp 364-366.
16. Feidas, H., T. Makrogiannis, and E. Bora-Senta., 2004. **Trend analysis of air temperature time series in Greece and their relationship with circulation using surface and satellite data: 1955-2001.** Theoretical and Applied Climatology, Volume 79, Numbers 3-4/December, pp 185-2008.
17. Freiwan, M., M. Kadioğlu., 2008. **Climate Variability in Jordan.** International Journal of Climatology, Volume 28, Issue 1, January, pp 69-89.
18. Gemmer, M., S. Becker, and T. Jiang., 2004. **Observed monthly precipitation trends in China 1951-2002.** Theoretical and Applied Climatology, Volume 77, Numbers 1-4/March, pp 39-45.
19. Hodgkins, G. A., I. C. James, and T. G. Huntington., (2002). **Historical changes in Lake Ice-out dates as indicators of climate change in New England, 1850-2000.** International Journal of Climatology, Volume 22, Issue 15, pp 1819-1827.
20. Horton, B., (1995). **Geographical distribution of changes in maximum and minimum temperatures.** Atmospheric Research, Volume 37, Issues 1-3 / July, pp 101-117.
21. IPCC., 2001. **In Climatic Change 2001: the Scientific Basis.** Cambridge, United Kingdom: University Press.
22. Jiang, J. M., and X. T. You., 1996. **Where and when did an abrupt climatic change occur in China during the last 43 years?.** Theoretical and Applied Climatology, Volume 55, Numbers 1-4/March, pp 33-39.
23. Jiang, T., Z. W. Kundzewicz, B. Su., 2008. **Changes in monthly precipitation and flood hazard in the Yangtze River Basin, China.** International Journal of Climatology, Volume 28, Issue 11, pp 1471-1481.
24. Jones, P. D., 1994. **Hemispheric surface air temperature variations: a reanalysis and an update to 1993.** Journal of Climate, Volume 7, Issue 11/ November, pp 1794-1802.
25. Jones, P. D., and A. Moberg., 2003. **Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: an extensive revision and an update to 2001.** Journal of Climate, Volume 16, Issue 2 / January, pp 206-223.
26. Kadioğlu, M., Z. Şen, and L. Gültekin., 2001. **Variation and trends in Turkish seasonal heating and cooling degree-days.** Climatic Change, Volume 49, Numbers 1-2 / April, pp 209-223.
27. Kendall, M. G., 1975. **Rank correlation methods.** Charles Griffin, London.
28. Kumar, P. V., M. Bindi, A. Crisci and G. Maracchi., 2005, **Detection of variations in air temperature at different time scales the period 1889-1998 at Firenze, Italy.** Climatic change, Volume 72, Numbers 1-2 / September, pp 123-150.
29. Lettenmaier, D. P., E. F. Wood, and J. R. Wallis., 1994. **Hydro – Climatological Trends in the Continental United States, 1948-88.** Journal of Climate, Volume 7, Issue 4, April, pp 586-607.
30. Mann, H. B., 1945. **Nonparametric tests against trend.** Econometrica 13, pp 245-259.
31. Marengo, J. A., 1995. **Variations and change in South American streamflow.** Climatic Change, Volume 31. Number 1 / September, pp 99-117.
32. Nasri, M., and R. Modarres., 2008. **Dry spell trend analysis of Isfahan Province, Iran.** International Journal of Climatology, Volume 29, Issue 10, pp 1430-1438.
33. Nicolas, N., G. Gruza, J. Jouzel, T. Carl, L. Ogallo, and D. Parker., 1996. **Observed climate variability and change.** In: IPCC 1995. The Second IPCC scientific assessment of climate change. J. Houghton & L. Meira Filho, eds. Cambridge Univ. Press.
34. Plummer, N., Z. Lin and S. Torok., 1995. **Trends in the diurnal temperature range over Australia since 1951.** Atmospheric Research, Volume 37, Issues 1-3 / July, pp 79-86.
35. Qiang, Z., C. Jiang, and Z. Zengxin., 2005. **Observed climatic changes in Shanghai during 1873-2002.** Journal of Geographical Sciences, Volume 15, Number 2 / April, pp 217-222.

36. Rahmstorf, S., and A. Ganopolski., (1999). **Long-term global warming scenarios computed with an efficient model.** Climatic Change, Volume 43, Number 4 / December, pp 353-367.
37. Rupa Kumar, K., and L.S. Hingane., 1988. **Long-term variations of surface air temperature at major industrial cities of India.** Climatic Change, Volume 13, Number 13 / December, pp 287-307.
38. Scheifinger, H., A. Menzel, E. Koch, and C. Peter., 2003. **Trends of spring time frost events and phenological dates in central Europe.** Theoretical and Applied Climatology, Volume 74, pp 41-51.
39. Seleshi, Y., and U. Zanke., 2004. **Recent changes in rainfall and rainy days in Ethiopia.** International Journal of Climatology, Volume 24, Issue 8, June, pp 973-983.
40. Stern, D. I., and R. K. Kaufmann., (2000). **Detecting a global warming signal in hemispheric series: a structural time series analysis.** Climatic Change, Volume 47, Number 4 / December, pp 411-438.
41. Tayanç, M., and H. Toros., 1997. **Urbanization effects on regional climate change in the case of four large cities of Turkey.** Climatic change, Volume 35, Number 4 / April, pp 501-524.
42. Tayanç, M., U. Im, M. Doğruel, and M. Karaca., 2009. **Climate change in Turkey for the last half century.** Climatic change, Volume 94, Number 3-4/June, pp 483-502.
43. Tonkaz, T., M. Çetin, K. Tülücü., 2007. **The impact of water resources development projects on water vapor pressure trends in a semi-arid region, Turkey.** Climatic Change, Volume 82, Numbers 1-2 / May, pp 195-209.
44. Türkes, M., U. M. Sümer., and G. Kiliç., 1998. **Observed changes in maximum and minimum temperatures in Turkey.** International Journal of Climatology, Volume 16, Issue 4, pp 463-477.
45. Türkes, M., U. M. Sümer., and G. Kiliç., 2007. **Variations and trends in annual mean air temperature in Turkey with respect to climatic variability.** International Journal of Climatology, Volume 15, Issue 5, pp 557-569.
46. Türkes, M., T. Koç, and F. Sariş., 2008. **Spatiotemporal variability of precipitation total series over Turkey.** International Journal of Climatology, Volume 29, Issue 8, pp 1056-1074.
47. Walter, G.R., E. Post, P. Convey, A. Menzel, C. Parmesean, T. J. Beebee, J. M. Formentin, O. Hoegh-Guldberg, and F. Bairlein., 2002. **Ecological responses to recent climate change.** Nature 416, pp 389-395.
48. Willett, H. C., 1950. **Temperature trends of the past century.** Centenary Proceedings of the Royal Meteorological Society, pp 195-206.
49. Yue, S., and M. Hashino., 2003. **Temperature trends in Japan: 1900-1996.** Theoretical and Applied Climatology, Volume 75, Numbers 1-2, June, pp 15-27.
50. Yue, S., and P. Pilon., 2004. **A comparison of the power of the t-test, mann-kendall and bootstrap tests for trend detection.** Journal Hydrological Sciences, Volume 49, Issue 1, pp 21-37.
51. Yue, S., P. Pilon, and G. Cavadias., 2004. **Power of the mann-kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series.** Journal of Hydrology, Volume 259, Issues 1-4, March, pp 254-271.
52. Zhang, Q., C. Y. Xu., and Z. Zhang., 2009. **Observed changes of drought/wetness episodes in the Pearl River basin, China, using the standardized precipitation index and aridity index.** Theoretical and Applied Climatology, Volume 98, Numbers1-2 / September.