

### روند شاخص های حدی دما و بارش در تهران

دکتر حسین محمدی\* \_ دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

فرحناز تقوی \_ عضو هیات علمی موسسه ژئوفیزیک و دانشجوی دوره دکتری دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

دریافت مقاله: ۸۳/۱۲/۲۴

تأیید نهایی: ۸۴/۸/۳۰

#### چکیده

توجه به تغییرات اقلیمی در سال های اخیر به علت پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و خسارات مالی مربوط به رویدادهای حدی جوی اهمیت زیادی پیدا کرده است. در اکثر مطالعات توجه به تغییر اقلیم فقط در صدد آشکارسازی روندهای پتانسیلی یا نوسانات در متوسط طولانی مدت علائم اقلیمی است؛ اما مطالعه تغییر پذیری و تغییر رفتار رویدادهای حدی جوی نیز مهم می باشد. برای بررسی رویدادهای حدی، شاخص های اقلیمی حدی برای داده های سطح زمین به وسیله گروه کاری آشکارسازی تغییر اقلیم سازمان هواشناسی جهانی و کمیته اقلیم شناسی و برنامه تحقیقاتی تغییر پذیری اقلیم و قابلیت پیش بینی معرفی شده است. در این مقاله روند این شاخص های حدی بر اساس سری های زمانی روزانه دما و بارش ایستگاه تهران در دوره آماری ۲۰۰۳ - ۱۹۵۱ مطالعه شده است. علاوه بر این، توزیع دنباله های حدهای گرم و سرد و کاربرد شاخص ها در موارد مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج نشان می دهد که شاخص های **FD** و **ID** یا شاخص های حدهای سرد روند کاهشی محسوسی دارند. از طرف دیگر روند دمای حداقل و دمای متوسط روزانه کاملاً افزایشی است و شیب مثبت دارد. این در حالی است که روند افزایشی دمای حداکثر شیب کمتری دارد. روند افزایشی حدهای گرم مانند **T<sub>40</sub>** (دماهای حداکثر بالاتر از ۴۰ درجه)، شاخص **GDD** و **CDD** و روند کاهشی **HDD** و **DTR** نیز در همه مدل های بکار گرفته شده در این مقاله بارز می باشد. شاخص های حدی بارش نیز روند کاهشی با شیب بسیار کم را نشان می دهد. توزیع دنباله های سری های زمانی، دمای حداقل و دمای متوسط هماهنگی زیادی با هم دارند و هر دو گرمایش مقارنی را نشان می دهند. از نتایج این تحلیل می توان سناریوهایی برای مطالعه موردی مناطق مختلف در زمان وقوع رویدادهای حدی اقلیمی ارائه و پیش بینی کرد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، رویدادهای اقلیمی حدی، شاخص های حدی، روند.

#### مقدمه

توجه به تغییرات اقلیمی در سال های اخیر به علت نتایج اقتصادی، اجتماعی و خسارات مالی مربوط به رویدادهای حدی جوی اهمیت زیادی پیدا کرده است. در اکثر مطالعات توجه به تغییر اقلیم فقط درصدد آشکارسازی روندهای پتانسیلی یا نوسانات در متوسط طولانی مدت علائم اقلیمی است. اما مطالعه تغییر پذیری و تغییر رفتار رویدادهای

\* E-mail: hmmohammadi@yahoo.com

حدی جوی نیز مهم می باشد. این مسئله از زمانی که برخی مدل های اقلیمی (کارل و نایت ۱۹۹۸) نشان دادند که تغییرات اقلیمی در قرن بیست و یکم سبب افزایشی در فراوانی رویدادهای حدی می شود، بیشتر مورد توجه و دقت قرار گرفت. نتایج بسیاری از تحقیقات بیانگر این است که اقلیم قرن بیست و یکم بسیار متفاوت تر از اقلیم قرن بیستم خواهد بود و این مسئله نقش فعالیت های انسانی در تغییر اقلیم را متذکر می شود. بررسی های جدید افزایشی در متوسط جهانی دما حدود ۰/۴ تا ۰/۸ درجه را طی قرن بیستم نشان می دهد (هیأت تعدیل و سازگاری دیده بانها، ۲۰۰۰)، اگرچه این روند از نظر مکانی و زمانی یکنواخت نیست. علاوه بر این در اکثر مطالعات گذشته (شامل آنهایی که از مدل های گردش عمومی استفاده می شد)، توجه به تغییرات متوسط بلند مدت دما (متوسط سالانه و فصلی) معطوف می شد (کاتنبرگ و دیگران ۱۹۹۶). تحقیقات دیگری نیز نشان می دهد که دماهای سطح زمین در اکثر مناطق اروپا در طی قرن بیستم افزایش یافته است (هافتمن و دیگران ۱۹۹۰). در راستای افزایش جهانی دما (جونز و دیگران ۱۹۹۹ - کارل و دیگران ۲۰۰۰) آهنگ رشد تغییر دما در اروپا در ربع قرن گذشته بالاترین بوده است (کلین تانک و دیگران ۲۰۰۲). گرمایش پیش آمده روند افزایشی دارد و بنظر می رسد که همراه با تغییرات در وضعیت های حدی جوی و رویدادهای اقلیمی باشد (هافتمن و دیگران ۲۰۰۱). تاکنون به طور کلی اطلاعات کمی از ماهیت این تغییرات بدست آمده است. مطالعات دیگری نیز که به بررسی تأثیر گرمایش پیش بینی شده بر رخداد حدهای دمایی می پردازد نیز در چند سال اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته است (استرلینگ و دیگران ۲۰۰۰ - میل و دیگران ۲۰۰۰). اگرچه تغییرات در رویدادهای دما و بارش های حدی به طور جداگانه و انفرادی در کشورهای مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است (فورلند و دیگران ۱۹۹۸ - تومنورتا و دیگران ۲۰۰۰ - موبرگ و دیگران ۲۰۰۰ - برانتی و دیگران ۲۰۰۰ - اوزبورن و دیگران ۲۰۰۰ - یان و دیگران، ۲۰۰۰). اما به طور کلی یک تصویر همزمان برای اروپا و جهان وجود نداشته و این به علت محدودیت پوشش فضایی مجموعه داده های مورد استفاده در این مطالعات بود. تا سال های اخیر استانداردهای مورد قبول در تعاریف حدهای اقلیمی وجود نداشت و همین امر سبب می شد که مقایسه نتایج مطالعات متفاوت را مشکل و غیر عملی کند. شاخص هایی برای داده های سطح زمین به وسیله گروه کاری آشکارسازی تغییر اقلیم سازمان هواشناسی جهانی و کمیته اقلیم شناسی و برنامه تحقیقاتی تغییر پذیری اقلیم و قابلیت پیش بینی تهیه شده است (پترسن و دیگران ۲۰۰۱). شاخص ها مربوط به مقادیر حدی با دوره بازگشت یک هفته تا شصت روز است و این انتخاب تأکیدی بر آن دارد که تعداد سالانه حدها به اندازه ای بزرگ باشد که بتوان روند معنی داری در سری های زمانی پنجاه ساله داده ها بدست آورد. مسئله مهم دیگر بررسی ویژگی های دما و بارش روزانه و به خصوص تغییرات در دنباله های حدی توزیع دما و بارش روزانه است. گروه های کاری زیادی مانند هیات بین الدول تغییر اقلیم، آشکارسازی روند و تغییر پذیری دماهای حدی را به عنوان عامل بحرانی در جهت درک بهتر گذشته و پتانسیل تغییر جهانی آینده تعیین و تعریف کرده اند. در این مقاله روند این شاخص های حدی براساس سری های زمانی روزانه دما و بارش ایستگاه تهران در دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۵۱ مطالعه شده است.

## پیشینه تحقیق

در سال های اخیر تحقیقات زیادی شامل بررسی روند حدهای دما و تغییر پذیری آن در نواحی مختلف جهان انجام شده است. مهم ترین یافته ها روند کاهشی در تعداد روزهای باحدهای دمایی پایین بدون داشتن روند افزایشی در روزهای با حدهای دمایی بالا را نشان می دهد (برای مثال: در سراسر امریکا، کارل و دیگران ۱۹۹۶ - بریتانیا، جونز و دیگران ۱۹۹۹ - شمال و مرکز اروپا، برازیل و دیگران ۱۹۹۹ - استرالیا و نیوزلند، پلومر و دیگران ۱۹۹۹ - چین، ژی و دیگران ۱۹۹۹). اکثر این مناطق کاهشی در اندازه گیری های گوناگون تغییر پذیری دمایی روزانه بین فصلی را به علت تعداد روزهای کمتر با دمای حداقل پایین حدی داشته اند. اگرچه در این مناطق افزایشی در تعداد روزهای با دمای حداکثر بالای حدی مشاهده نشده است. (کارل و دیگران ۱۹۹۵ - کولینز و دیگران ۲۰۰۰). بررسی جزئیات بیشتر روند رویدادهای اقلیمی حدی در سراسر جهان (شامل دما) را استرلینگ و همکاران (۲۰۰۰) انجام داده اند.

دانگ و همکاران (۲۰۰۰) روندهای دما و بارش فصلی و سالانه سراسر کانادا طی قرن بیستم را مطالعه و بررسی کرده است. نتایج این بررسی نشان می دهد که از سال ۱۹۰۰ تا ۱۹۹۸ میانگین سالانه دما در نواحی جنوبی کشور کانادا با متوسط حدود ۰/۹ درجه افزایش یافته است. در این مدت بزرگترین روند افزایشی در فصل زمستان و بهار رخ داده است. فصل تابستان معمولاً با گرمایش کمتر و فصل پاییز با روندهای سرمایشی کوچکی همراه بوده است. روندهای دمای حداکثر و حداقل از نظر بزرگی شبیه به هم بودند و در نتیجه تغییر قابل ملاحظه ای  $DTR^1$  طی نیمه دوم قرن مشاهده نشد. روند کاهشی در دمای حداقل در قسمت شرق و تغییر کوچکی در  $DTR$  در اکثر نواحی کانادا دیده شد که هر دوی این روندها نسبت به روندهای دیده شده در اکثر نواحی خشک جهان در دهه های اخیر غیرمعمول بوده است (استرلینگ و دیگران ۱۹۹۷).

تغییر پیش بینی شده در مقایسه با دوره مرجع (۹۵-۱۹۷۵) در مقادیر دمای حداقل روزانه با دوره بازگشت بیست ساله بین سال های ۲۰۴۰-۲۰۶۰ حدود  $2/4^{\circ}C$  درجه سانتی گراد و در سال های ۲۰۸۰-۲۱۰۰ در حدود  $5/2$  بوده است. در همین دوره ها مقادیر دمای حداکثر روزانه با دوره بازگشت بیست ساله به ترتیب  $1/8$  و  $3/9$  درجه سانتی گراد بود. تغییرات دمای حداقل روزانه حدی در نواحی خشکی هر دو نیمکره و در عرض های بالاتر اقیانوس ها - جایی که برف و یخ دریا پسروی داشته است - به طور قابل ملاحظه ای بیشتر بوده و بیشترین افزایش دمای حداکثر روزانه حدی در نواحی مرکزی، جنوب شرق و شمال امریکا و مرکز و جنوب شرق آسیا و آفریقای استوایی عمدتاً به علت کاهش زیاد رطوبت خاک بوده است. برای بدست آوردن درک بهتری از تغییرات گذشته و پتانسیل تغییرات آینده دمای جهانی، تجزیه و تحلیل در مقیاس زمانی روزانه مورد نیاز است. به همین دلیل هدف اصلی مطالعاتی از قبیل کار کلین تانک و کوئن<sup>۲</sup> (۲۰۰۳) فراتر از مقیاس زمانی فصلی و سالانه است و بررسی ویژگی های دما و بارش روزانه مورد نظر می باشد و به خصوص تاکید بر تجزیه و تحلیل روندها و تغییر پذیری دنباله های توزیع دمای حداکثر و حداقل دارد. بل<sup>۳</sup> و دیگران (۲۰۰۳) از یک مدل

<sup>۱</sup> - Diurnal Temperature Range

<sup>۲</sup> - Klien Tank & Konnen

<sup>۳</sup> - Bell

منطقه‌ای اقلیمی برای بسط و توسعه آزمایش های مدل‌سازی تغییر اقلیم آینده استفاده کردند. آنها در این بررسی دو موضوع را مورد توجه قرار دادند:

۱- زمان و طول مدت فصل رشد؛

۲- فراوانی و شدت دما و بارش حدی.

مطالعه آنها بر روی کالیفرنیا متمرکز بود و نتایج تحقیق آنها نشان می‌داد که افزایش قابل ملاحظه‌ای در دماهای حداکثر و حداقل با فرض دو برابر شدن غلظت دی اکسید کربن جوی بوقوع می‌پیوندد و افزایش در دماهای روزانه منجر به افزایش امواج گرمایی طولانی مدت و طولانی شدن زمان فصل رشد می‌شود. تغییرات در بارش کلی و حدی بسته به موقعیت جغرافیایی حالات متفاوتی خواهد داشت. علاوه بر کارهای ذکر شده پروژه ای به نام STARDEX<sup>1</sup> زیر نظر دکتر کلر گودس<sup>2</sup> در واحد تحقیقات اقلیمی دانشگاه ایست آنجلیا در حال انجام است، STARDEX در صدد تهیه و ساختن سناریوهایی حدی است که بتوان توسط آن با استفاده از روش های آماری و دینامیکی مقایسه سیستماتیک و دقیق ارزیابی از حدهای اقلیمی فراهم شود. در این پروژه قوی ترین تکنیک ها برای مطالعه موردی روی اروپا در اواخر قرن بیست و یکم بکار گرفته است و اینها به پاسخ یک پرسش اساسی که آیا حدهای اقلیمی در آینده فراوانی بیشتری دارند یا خیر، کمک می‌کند. این پروژه بخشی از مجموعه پروژه های طبقه بندی شده تغییرات آینده در رویدادهای حدی در پاسخ به گرمایش جهانی است. پروژه STARDEX از آنجا شروع شد که تحقیقات همگی نشانگر آن بود که اقلیم قرن بیست و یکم احتمالاً به طور قابل توجهی از قرن بیستم متفاوت تر خواهد بود و این به علت تغییرات اقلیمی ناشی از فعالیت های انسانی است. با وجود پروتکل کیوتو و وضع قوانین جدید در آینده همراه با عملیاتی که توسط اتحادیه اروپا انجام می‌شود، انتظار می‌رود که اثرات کاهش یابد. اما تغییرات اساسی در حال انجام است. این تغییرات در شهرهای اروپا اکثراً به صورت وضعیت های جوی حدی مشاهده می‌شود. پروژه STARDEX برای تهیه سناریوهایی از تغییرات مورد انتظار در فرکانس و شدت رویدادهای جوی حدی (از جمله بارش سنگین، سیل و دماهای بالا) که هر یک اثرات زیان بخشی بر زندگی انسانی و فعالیت های محیطی بر جای می‌گذارد، تعریف شد. سناریوهای تغییر اقلیم خصوصاً مربوط به حدها در تمامی کاربردهای طراحی آینده برای مثال منابع آب، کشاورزی، آبیاری، زهکشی اراضی، طوفان ها، سیل ها، طراحی جاده ها، راه آهن، تاسیسات و همه بخش هایی مانند توریسم و جاهایی که وضعیت جوی و اقلیم تعیین کننده های کلیدی زندگی روزمره است، مورد نیاز می‌باشد.

در همه این کاربردها نیاز گسترده به سناریوهای قوی و با قدرت تفکیک بالا وجود دارد. در پروژه STARDEX پیش بینی انجام نمی‌شود؛ اما اطلاعات درباره تغییرات آتی اقلیم حدی را در بر نمی‌گیرد.

در پروژه STARDEX از سه روش آماری، دینامیکی و دینامیک آماری برای ساختن سناریوهای قوی در مقیاس هاس فضایی و زمانی حدها استفاده می‌شود و تکنیک های درون مقیاس براساس حدهای بارش و دما در منطقه اروپا در چارچوب زمانی ۲۰۷۱-۲۱۰۰ بکار گرفته می‌شود. در STARDEX مجموعه داده های مدل اقلیمی و مشاهدات استاندارد و یک ابزار نرم افزاری پیش بینی برای محاسبه آمارهای حدی استاندارد در سراسر اروپا استفاده می‌شود.

<sup>1</sup>- STARDEX(Statistical and Regional dynamical Downscaling of Exteemes for european regions)

<sup>2</sup>- Clare Goodess

شود. مقایسه روش های پایین مقیاس با استفاده از داده های اقلیمی نیمه دوم قرن بیستم انجام می شود و در نهایت حدهای جدید در سراسر اروپا تجزیه و تحلیل می شود. علل و اثرات این حدها چیست؟ آیا تغییر اقلیم ناشی از فعالیت های انسانی یک عامل است؟ از گذشته اخیر چه می توانیم بدست بیاوریم؟ اینها سؤالاتی است که STARDEX به آن پاسخ می دهد. علاوه بر این سناریوهای پروژه کاربردهای زیادی در طراحی (برای مثال، تعدیل معیارهای طراحی سدها، پتانسیل کشاورزی و جایگزینی سهم بیمه های کمتر) جاهایی که حدهای جوی تصمیم گیرنده های قطعی هستند، دارد. هدف دیگر STARDEX تمرکز بر روی یک مجموعه داده های استاندارد معتبر حدهای دمایی روزانه مانند صدک های دمایی حداقل و حداکثر، شاخص های شدت و مدت یخبندان و شاخص مدت امواج گرمایی و حدهای بارش مانند ماکزیمم طول مدت رزهای تر و خشک یا بزرگی صدک نهم، درصد ریزش باران در روزهایی با مقادیر بالاتر از صدک نهم همراه با شاخص های بدست آمده از پرامترهایی مانند ناراحتی های گرمایی، شاخص بلایای آتش سوزی و رویدادهای سیلاب های حدی است.

یافته های تحقیقات ناسا (۲۰۰۳) نشان می دهد که تغییر اقلیم می تواند سبب افزایش رویدادهای حدی باران و برف در کالیفرنیا شود. افزایش سطح دی اکسید کربن منجر به بالا رفتن تعداد روزهای بارش حدی سالانه در کوهستان سیرانوادا خواهد شد. در حقیقت این امر می تواند سبب افزایش فرکانس سیل در کالیفرنیا گردد. یکی از مأموریت های گروه تحقیقاتی عملیات علوم زمین ناسا (ESE) درک بهتر از چگونگی تغییر سیستم زمین است که در این چارچوب ناسا کمیته ای برای مطالعه تغییر پذیری بارش جهانی تشکیل داده است؛ به طوری که این کمیته بتواند تغییرات آینده سیستم زمین و نتایج تغییر در آن را برای جوامع انسانی پیش بینی کند. جینون کیم<sup>۱</sup> (۲۰۰۳) دانشمند علوم جوی در دانشگاه کالیفرنیا - لس آنجلس براساس شبیه سازی های مدل کامپیوتری ۴۰ تا ۵۰ ساله، دریافت که منطقه سیرانوادا افزایش قابل ملاحظه ای در بارش های سنگین (متجاوز از دو اینچ بارندگی در روز) و بارش حدی (متجاوز از چهار اینچ در روز) را تجزیه خواهد کرد و بیشتر این افزایش طی زمستان (مرطوب ترین فصل) در این منطقه رخ می دهد. کیم می گوید: «عموماً فرکانس بارش حدی زیاد می شود و بیشترین افزایش قابل توجه رویدادهای حدی در نواحی خاص با بارش سنگین زمستانه در اقلیم امروزه رخ می دهد». نتایج تحقیقات کیم در هشتاد و سومین اجلاس سالانه انجمن هواشناسی آمریکا در بیچ کالیفرنیا نیز ارائه شده است.

پروژه های موجود از مدل کامپیوتری<sup>۱</sup> HadCM2 در مکز تحقیقات پیش بینی اقلیم هادلی نشان می دهد که افزایش دی اکسید کربن یقیناً جرخه هیدرولوژی غرب آمریکا را به طور اساسی دگرگون می کند؛ به این دلیل که به علت افزایش سطح دی اکسید کربن گرما در جو محسوس می شود و هوای گرم نگه داشته شده را بیشتر از آب گرم می کند. در این حالت توده های هوای اشباع صعود می کند و پس از تشکیل ابر به شکل آب باران به زمین برمی گردد.

کیم از مدل منطقه ای کامپیوتری برای ساختن پروژه های خود در مقیاس ریز در دهه های ۲۰۴۰ تا ۲۰۴۹ براساس مقادیر متفاوت دی اکسید کربن در پیش بینی های جهانی مدل<sup>۲</sup> HCCPR انگلستان استفاده کرد. در اولین پروژه فرض می شود

<sup>۱</sup> - Jinwon Kim

<sup>۱</sup> - Hadly Climate Model 2

<sup>۲</sup> - Hadly center Climate Prediction Research

که غلظت گازهای گلخانه ای مساوی با مقدار آن در اواخر سال ۱۹۰۰ باشد و در پروژه دوم اقلیم در همان دوره افزایش گازهای گلخانه ای در حد یک درصد در سال را از سال ۱۹۹۰ داشته باشد. مقایسه پروژه اول با دوم نشان می دهد که تعداد روزهای تر و از همه مهم تر رویدادهای بارش سنگین در منطقه طی فصل سرد از اکتبر تا مارچ زیاد می شود و تعداد رویدادهای بارش سنگین و بارش حدی به ده روز در سال افزایش می یابد. علاوه بر این، میانگین تعداد روزهای تر در سال در جنوب حوزه سیرانوادا ۳۷ درصد و در حوزه شمالی ۳۲ درصد افزایش را نشان می دهد؛ در حالی که با روش های خفیف (کمتر از پنج میلی متر یا دو اینچ در روز) در دو حوزه در همان مقدار یا کمی کمتر شده است. وقوع رویدادهای بارش سنگین سبب افزایش روزهای تر از یک درصد به سه درصد در سال در پروژه دوم می شود. مشابه این تغییرات در حوزه های بزرگ دیگر کالیفرنیا پیش بینی شده است. اکثر پروژه ها نشان می دهد که شدت چرخه هیدرولوژی با افزایش سطح دی اکسید کربن زیاد می شود. سناریویی بر اساس پروژه دوم نیز نشان می دهد که تراز سطح یخبندان کوهستان با افزایش دما بالا می رود و بیشتر بارش که امروزه به صورت برف در ارتفاعات می بارد، در آینده به شکل باران خواهد بارید و آب ذخایر برف به تدریج در بهار و تابستان جاری می شود و بنابراین افزایش قابل ملاحظه بارش در فصل سرد به علت کاهش برف را خواهیم داشت و این مسئله سبب جاری شدن سیل های بیشتری خواهد شد. این تغییرات همراه با رویدادهای بارش سنگین تر و شیب زیاد کوهستان می تواند منجر به افزایش فرکانس سیل در آینده گردد.

کیم (۲۰۰۳) می گوید: از آنجا که اولین اقدام در مدیریت منابع آب، کاهش خطر سیل است و این مسئله مستلزم داشتن فضای بیشتر و مناسب ذخیره سازی برای دریافت سیلاب اضافه است، بنابراین باید همیشه سطح آب مخازن پایین نگه داشته شود و این امر مستقیماً منابع آب را کاهش می دهد. تغییر اقلیم پیشنهاد شده در این مطالعه براساس یک پروژه جهانی سیگنال پایه گذاری شده است و بنابراین عدم قطعیت هایی در آن وجود خواهد داشت. پس بهتر است که پیشنهادات به طور کیفی به جای کمی مورد توجه قرار گیرد. جینون کیم مطالعات دیگری با استفاده از پروژه مدل های اقلیمی جهانی چندگانه نیز طرح ریزی کرده است. برای اطلاعات بیشتر به سایت اینترنتی <http://www.gsfc.nasa.gov> مراجعه شود.

فریچ<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۲) تغییرات همزمان مشاهده شده در مقادیر حدی اقلیمی طی نیمه دوم قرن بیستم از سال ۱۹۴۶-۹۹ را برای ۳۰۰۰ ایستگاه بررسی کرده است. تغییرات همزمان با استفاده از ده شاخص رویداد اقلیمی حدی بررسی شده است. این مطالعه نشان می دهد که افزایش قابل توجهی در دمای شب های تابستان و زمستان و کاهش در تعداد روزهای یخبندان و همچنین کاهش در دامنه دمایی حدهای سالانه بوجود آمده است و نشانه هایی از تغییرات اقلیمی قطعی در نیمه دوم قرن بیستم در بسیاری از مناطق وجود دارد؛ هر چند در این بررسی جنوب امریکا و افریقا مورد توجه نبوده است. تحقیقات لاچ (۱۹۹۵) که در منطقه استرالیا صورت گرفت نشان داد که پدیده کاهش دمای حداکثر و افزایش دمای حداقل در کل سال به جز زمستان مشاهده گردیده است. همچنین مطالعه استبان (۱۹۹۵) بر روی فلات اسپانیا نشان داد که دمای حداقل این ناحیه افزایش یافته است. بررسی درجه حرارت به تنهایی نمی تواند انعکاس رضایت بخشی از

<sup>۱</sup> - Frich

تغییرات واقعی شرایط ارائه دهد و به همین دلیل بررسی دما در ارتباط با بارش و سایر عناصر اقلیمی در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه نتایج مطلوب تری را ارائه می‌دهد (روشنی ۱۳۸۲).

مطالعه رستمیان (۱۳۷۵) بر روی ایستگاه های ساحلی دریای خزر هیچ گونه روندی را مشاهده نکرد؛ ولی پدیده کاهش دمای حداکثر و افزایش دمای حداقل در کل سال به جز زمستان مشاهده نمود که این پدیده در ایستگاه انزلی نسبت به سایر ایستگاه ها شدیدتر و تغییرات ناگهانی در عناصر اقلیمی (دما) در سال های ۱۹۶۵ تا ۱۹۶۸ قابل تشخیص بوده است. تغییرات از نوع ناگهانی و ۸/۳ درصد تغییرات از نوع روند و ۲۹ درصد تغییرات از نوع ناگهانی منفی و ۶۲/۵ درصد از نوع مثبت و حدود ۷۷ درصد کل تغییر در دهه ۷۰-۱۹۶۰ اتفاق افتاده است. طبق نتایج علیجانی (۱۳۷۷) بر روی چندین ایستگاه کشور بر اساس آزمون کندال هیچ گونه تغییر اقلیمی گسترده و بارزی تشخیص داده نشد، بلکه بیشتر به صورت نوسانات کوتاه مدت بوده است و سری های زمانی زمستان روند ضعیف کاهشی ولی سری های دیگر به ویژه تابستان روند افزایشی نشان دادند. مطالعه روشنی (۱۳۸۳) در بررسی تغییر اقلیم سواحل جنوبی دریای خزر نشان می‌دهد که در سری های دمای حداکثر و حداقل ماهانه تغییرات از نوع روند و در دو جهت مثبت و منفی می‌باشد و تغییرات میانگین دمای ماهانه نسبت به دمای حداقل و حداکثر اثر گستردگی کمتری برخوردار است و پدیده کاهش دمای حداکثر و افزایش دمای حداقل ماهانه در بیشتر ایستگاه هایی که تغییر نشان داده، مشاهده می‌شود و میزان کل تغییرات نشان می‌دهد که درصد تغییرات در فصل زمستان و تابستان نسبت به بهار و پاییز بیشتر بوده است. کاویانی (۱۳۸۲) در بررسی آماری بلندمدت بارش سالانه اصفهان با استفاده از داده های ۱۰۳ ساله اصفهان نشان داد که روند خطی سهمی و روند حاصل از آزمون رتبه ای در سطح ۰/۰۵ خطا معنی دار نبوده و بارندگی اصفهان طی ۱۰۳ سال گذشته حاوی رفتاری پایدار بوده و تنها چهار فاز در بارندگی را تجربه خواهد کرد همچنین کاربرد همبستگی نگار بارش گویای وجود چرخه هایی در بازه های ۴، ۱۰، ۱۱، ۱۳ و ۱۷ ساله می‌باشد.

خسروی و دیگران (۱۳۸۲) در بررسی انطباق سری زمانی دمای مشهد با تغییرات و نوسانات دمای کره زمین نشان داد که با استفاده از مدل روند نمایی در پیش بینی دمای قرن بیست و یکم مشهد با برخی از سناریوها و مدل های خوشبینانه IPCC و دیگر مؤسسات جهانی مطابقت دارد. علاوه بر این اثرات گرمایش جهانی بر دمای منطقه با مقایسه نمونه داده ها طی دهه های متفاوت قرن بیستم ارزیابی شده است. نتایج نشان دهنده تفاوت معنی دار درجه حرارت طی مقاطع مختلف زمانی نسبت به میانگین و افزایش دمای مشهد طی دهه آخر قرن بیستم می‌باشد.

هدایتی (۱۳۸۲) در بررسی تحلیلی بر تغییرات تاریخ شروع بارش و روند آن در تهران در دوره آماری ۱۹۹۸-۱۹۵۱ نشان داد که روند ماههای اواخر پاییز و زمستان به شکل کاهشی و از بهار به بعد افزایشی است و این نتیجه خود مبین این مطلب است که طی دوره فوق بیشترین بارندگی در فصل زمستان بوده است و سایر فصول به سبب نوسانات شدید بارش، افزایش یا کاهش قابل توجهی نداشته‌اند. طی سال های آماری، ماه های زمستان روند کاهشی داشته و نیز فقط از چند مقدار حدی در سال های اخیر برخوردار شده است. این مقادیر حدی، خود پیشینه بارش هایی را که در این روند رخ داده را نشان می‌دهد که در مجموع کل روند نیز کاهشی است.

جهادی (۱۳۷۸) روند تغییرات دما و بارش شهر مشهد را در دوره آماری ۹۴ - ۱۹۵۱ با استفاده از تحلیل رگرسیونی و هموارسازی بررسی کرده و نشان داد که دما و بارش شهر مشهد روندی افزایشی دارد و این روند تا قبل از سال ۱۹۷۴ با

روند افزایشی دما و بارش فصلی هماهنگی ندارد، اما از سال ۱۹۷۴ به بعد روند فصلی و سالانه این دو عنصر با هم همخوانی دارند. جاوری (۱۳۸۰) تغییرات دما و بارش در ایران را با استفاده از آزمون های آماری بررسی کرده است. خلیلی (۱۳۷۸) شاخص های HDD (درجه - روز گرمایش) و CDD (درجه - روز سرمایش) را بر اساس اطلاعات ماهانه سالنامه هواشناسی در ایران بدست آورده است.

در این مقاله برای بررسی رویدادهای حدی روند شاخص های اقلیمی حدی که به وسیله گروه کاری آشکارسازی تغییر اقلیم (کمیته اقلیم شناسی) سازمان هواشناسی جهانی و برنامه تحقیقاتی تغییرپذیری اقلیم و قابلیت پیش بینی معرفی شده است براساس سری های زمانی روزانه دما و بارش ایستگاه تهران در دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۵۱ مطالعه شده است. علاوه بر این توزیع دنباله های حدهای گرم و سرد و کاربرد شاخص ها در موارد مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

#### مواد و روش ها

برای توصیف دقیق ویژگی های مکانی و زمانی روزانه و حدی دما، سری های زمانی با دوره تناوب طولانی و مقادیر همگن داده های روزانه مورد نیاز است. در کانادا، مجموعه داده هایی با کیفیت بالا که شامل دمای متوسط، دمای حداقل و دمای حداکثر روزانه می باشد، تهیه شده است (وینست و دیگران ۲۰۰۰). در اکثر مطالعات از این داده ها برای آزمون روندهای قرن بیستم و تغییرپذیری ویژگی های دمای روزانه و به خصوص با تأکید بر دنباله های توزیع دمای روزانه استفاده شده است (بونسل و دیگران ۲۰۰۰). در سال های اخیر تحقیقاتی شامل بررسی روند حدهای دما و تغییرپذیری آن در نواحی مختلف جهان انجام شده است. به منظور هماهنگ کردن کلیه تحقیقات تیم تخصصی برای به نمایش در آوردن آشکار سازی تغییر اقلیم و شاخص های حدی که بطور مخفف <sup>1</sup> (ETCCDMI) گفته می شود، تشکیل شده است. این تیم تحقیقاتی زیر نظر کمیته اقلیم شناسی سازمان هواشناسی جهانی و برنامه تحقیقاتی اقلیم جهانی می باشد. گزارشی از اهداف برنامه های تیم تخصصی در مرکز تحقیقات اقلیم در دانشگاه ایست آنجلیا - نورویچ انگلستان منتشر شده است<sup>2</sup>: در این گزارش به معرفی افراد و برنامه های تحقیقاتی و نرم افزارهایی که برای محاسبه شاخص ها استفاده می شود، می پردازد. اهداف شرکت کنندگان در تیم CLIVAR شامل بهبود پوشش جهانی برای شاخص های حدی، دستاورد جهانی شاخص ها و بهبود ابزارهای تجزیه و تحلیل شاخص هاست. جزئیات بیشتر را سایت اینترنتی <http://ccma.seos.unic.ca/ETCCDMI> نشان می دهد. یکی از مشکلاتی که همواره در مطالعات اقلیمی در ایران وجود دارد، کمبود داده های مناسب و همگن است. در برخی تحقیقات نیز که داده های روزانه مورد لزوم است، به علت حجم زیاد و با استفاده از روش هایی، داده های روزانه از مقادیر ماهانه استخراج شده است (خلیلی ۱۳۷۸).

همان گونه که ذکر شد، در مطالعات انجام شده در ایران عمدتاً به عناصر دما و بارش و به ندرت به عناصر رطوبت، فشار و ابرناکی بر اساس داده های سالانه و فصلی و ماهانه توجه شده است. در این مقاله روند شاخص های حدی دما و بارش برای بررسی رویدادهای حدی اقلیمی و تغییرپذیری اقلیم در تهران مورد توجه می باشد. شاخص های حدی روز شمار می باشند و بنابراین بررسی آنها به داده های روزانه در سری های زمانی بلند مدت نیاز دارد. شاخص های دما و بارش حدی

<sup>1</sup> - ETCCDMI (Expert Team on Climate change Detection, Monitoring and Indices)

<sup>2</sup> - WCDMP-NO54, WMO-TD-NO1205-2000



مورد نظر در این مقاله از لیست شاخص های استاندارد توصیه شده توسط گروه کاری آشکارسازی تغییر اقلیم و برنامه تحقیقاتی تغییرپذیری و پیش بینی انتخاب شده است (جدول شماره ۱).

تقریباً نیمی از شاخص ها مورد نظر در این لیست نشانگر ناهنجاری ها نسبت به اقلیمی محلی در دوره استاندارد نرمال ۹۰-۱۹۶۱ می باشد و این امکان مقایسه همه ایستگاه ها در کشورهای مختلف را بوجود می آورد. با استفاده از این شاخص ها، روند حدی دمای سرد با روند حدی دمای گرم مقایسه می شود و هدف مقایسه آن است که آیا هر دو دنباله توزیع دمایی، گرمایش کسای را نشان می دهد؟ و برای بارش، روندهای بارش حدی با روند مقدار کل مقایسه می شود؛ به این منظور که آیا حدها به طور غیرمتجانس در همه خشکسالی ها و یا ترسالی ها سهمیم هستند یا نه. شاخص های دمایی، حدی سرد و حدی گرم را نشان می دهد و شاخص های بارش فقط روزهای تر را در بر دارد. اکثر شاخص ها بر حسب شمارش روزهایی است که آستانه ها را قطع می کنند. شاخص های روزشمار انتخاب شده طول دوره آماری  $N$ ، شاخص سال را نشان می دهد و  $J$  که در آن  $I=J$  و  $N \dots$  که  $YJ$  بر اساس مقادیر سالانه است) برخی از شاخص ها بر اساس صدک های دماهای حداقل و حداکثر تعریف شده و آستانه های مورد نظر در این مقاله از مشخصات هر ایستگاه بر اساس توزیع دمایی و بارش و احتمالاً چگالی بدست آمده است.

شاخص ها روزشمار بر اساس آستانه های مطلق برای مقایسه فضایی حدها نسبت به شاخص ها روزشمار بر اساس آستانه های صدک کارایی کمتری دارند. برای مثال، تغییر پذیری سالانه در شمارش روزهای یخبندان (روزهایی که دمای حداقل کوچک تر از صفر درجه است) در بخش شمالی اروپا مربوط به دماهای دو فصل پاییز و بهار است؛ در حالی که در بخش جنوبی اروپا تغییرپذیری دمایی فصل زمستان را نشان می دهد (هینو و همکاران ۱۹۹۹). بعضی دیگر از شاخص های آستانه های درصدی بر اساس سری های زمانی و بارش دوره نرمال استاندارد اقلیمی ۱۹۹۰ - ۱۹۶۱ تعیین شده است.

در این مقاله از داده های روزانه دمای حداکثر، دمای حداقل و بارش ایستگاه سینوپتیکی مهرآباد- تهران با مشخصات جغرافیایی  $35^{\circ}41'$  و  $54^{\circ}19'$  که در ارتفاع ۱۱۹۰/۸ متری قرار دارد در دوره آماری ۲۰۰۳ - ۱۹۵۱ استفاده شده است. توپوگرافی خاص تهران، ارتفاع نسبتاً زیاد از سطح دریا و اختلاف ارتفاع در نقاط مختلف شهر، رشد فزاینده جمعیت، توسعه واحدهای صنعتی در حومه تهران سبب رشد ناموزون و وجود رشته کوه های البرز در شمال و دشت های کویر در جنوب و جنوب شرق شرایط اقلیمی پیچیده ای را برای آن ایجاد کرده است. در این مطالعه، ابتدا برنامه ای به زبان مطلب<sup>۱</sup> بنام Homogen Data برای خواندن و رمزگشایی<sup>۲</sup> فایل های داده های روزانه به شکلی که در همه زبان های برنامه نویسی مانند فرترن، زبان C و غیره قابل بازیابی است، نوشته شد. این برنامه قادر به رمزگشایی هر نوع فایل ایستگاه های سینوپتیکی و باران سنجی در هر طول و عرض جغرافیایی است. در این برنامه کدی (رمزی) برای سال های کیسه و داده های گمشده<sup>۳</sup> وجود دارد. در نقاطی که داده گمشده در فایل به نام Non ثبت شده است، می توان در زیر برنامه Gap با استفاده از روش های درون یابی، مقادیر گمشده را جایگزین کرد و البته می توان فایل خروجی داده را در بسته نرم افزاری مانند SPSS فرا خواند و توسط توابع تعریف شده در SPSS مقادیر گمشده را جایگزین نمود. فایل خروجی

<sup>۱</sup> - Matlab

<sup>۲</sup> - Decode

<sup>۳</sup> - Missing Value

بخش اول برنامه ماتریس داده‌های روزانه ایستگاه در دوره آماری مورد نظر است. این ماتریس دارای  $m$  سطر و در طول دوره آماری  $n$  ستون است که نشانگر ویژگی مورد نظر در بررسی می‌باشد. بنابراین ماتریس داده دارای هفت ستون به ترتیب سال، ماه، روز بارش، دمای حداکثر، دمای حداقل و دمای متوسط است و ۱۹۳۹۶ سطر است که طول دوره آماری از اول ژانویه ۱۹۵۱ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۰۳ را نشان می‌دهد.

برای تهیه شاخص‌های حدی ابتدا ماتریس اطلاعات ایستگاه تهران به فرمت خاص برای شمارش شاخص‌های حدی تهیه گردید. سپس برنامه دیگری به نام Index به زبان مطلب برای شمارش شاخص‌های حدی در سال‌های دوره آماری نوشته شد. در این برنامه با استفاده از تعاریف شاخص‌های دما و بارش حدی که در جدول شماره (۲) آورده شده است، مقادیر شاخص‌ها محاسبه می‌گردد.

جدول ۲- تعاریف شاخص‌های حدهای سرد، گرم و بارش

تعداد روزهایی که دمای حداقل کمتر از صفر درجه است	FD
تعداد روزهایی که دمای حداکثر بزرگ تر از ۲۵ درجه است	SU
تعداد روزهایی که دمای حداکثر کمتر از صفر درجه است	ID
تعداد روزهایی که دمای حداکثر بزرگ تر یا مساوی ۴۰ درجه است	T40
تعداد روزهایی که دمای حداقل بزرگ تر از ۲۵ درجه است	TR
تعداد روزهایی که بارش بیش از یک میلی‌متر است	RR1
تعداد روزهایی که بارش بیش از پنج میلی‌متر است	RR5
تعداد روزهایی که بارش بیش از ده میلی‌متر است	RR10
تعداد روزهایی که بارش بیش از بیست میلی‌متر است	RR20
جمع تعداد روزهای (۲۱- دمای متوسط روزانه)	CDD
جمع تعداد روزهای (دمای متوسط روزانه- ۱۸)	HDD
تعداد روزهایی که دمای متوسط روزانه به مدت پنج روز در فصل بهار و پائیز بزرگتر از ۵/۵ درجه است	GDD
شاخص ساده بارش (نسبت بارش سالانه به روزهای تر)	SDII
اختلاف دمای حداکثر از دمای حداقل روزانه	DTR
تعداد روزهایی که دمای حداقل از صدمک اول کوچک تر است	PER 10 TMIN
تعداد روزهایی که دمای حداقل از صدمک نهم بزرگ تر است	۹۰ PER TMIN
تعداد روزهایی که دمای حداکثر از صدمک اول کوچک تر است	PER 10 TMAX
تعداد روزهایی که دمای حداکثر از صدمک نهم بزرگ تر است	۹۰ PER TMAX

سپس با استفاده از توابع تعریف شده در زبان مطلب روند شاخص‌ها محاسبه و توسط دستور plot منحنی‌ها و نمودارها رسم گردید. از بین توابع موجود در زبان مطلب پس از آزمون توابع برای دما توابع خطی و برای بارش توابع

غیرخطی انتخاب شد. برای آزمون دقت و کفایت روندها فایل خروجی به صورت فایل Excel فرمت شد. سپس روندهای متغیرهای اقلیمی دمای حداقل، حداکثر و متوسط در دوره مورد مطالعه (شکل های ۳-۱) و سری زمانی و روند دمای متوسط، دمای حداکثر و حداقل در دوره استاندارد نرمال ۹۰-۱۹۶۱ ایستگاه (شکل شماره ۶-۴) محاسبه و رسم گردید. علاوه بر این، ویژگی های آماری داده ها مانند صدک اول و صدک نهم دوره آماری و دوره نرمال متغیرهای اقلیمی مانند دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش. آستانه های مطلق نیز تهیه گردید (جدول شماره ۳).

جدول ۳- ویژگی های آماری ایستگاه تهران در دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۵۱

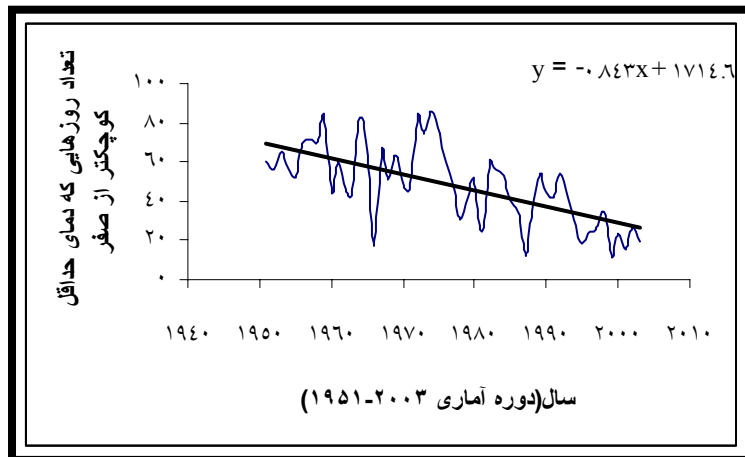
-۱۵	کمینه دمای حداقل روزانه
۳۲/۵	بیشینه دمای حداقل روزانه
-۵	کمینه دمای حداکثر روزانه
۴۳	بیشینه دمای حداکثر روزانه
-۹	کمینه دمای متوسط روزانه
۳۸	بیشینه دمای متوسط روزانه
۱۱/۷	میانگین دمای حداقل روزانه
۲۲/۷	میانگین دمای حداکثر روزانه
۱۷/۲۸	میانگین دمای متوسط روزانه
-۰/۶	صدک اول دمای حداقل روزانه
۲۴	صدک نهم دمای حداقل روزانه
۸	صدک اول دمای حداکثر روزانه
۳۶/۴	صدک نهم دمای حداکثر روزانه
-۱	صدک اول دمای حداقل روزانه در دوره نرمال
۲۴	صدک نهم دمای حداقل روزانه در دوره نرمال
۷/۶	صدک اول دمای حداکثر روزانه در دوره نرمال
۳۶/۴	صدک نهم دمای حداقل روزانه در دوره نرمال
۴	صدک اول دمای متوسط روزانه
۳۰	صدک نهم دمای متوسط روزانه
۵۰	بیشینه بارش روزانه
۱ میلیمتر	صدک نهم بارش روزانه
۰	صدک اول بارش روزانه
۴ میلیمتر	صدک ۹۵ بارش روزانه

## بحث و نتایج

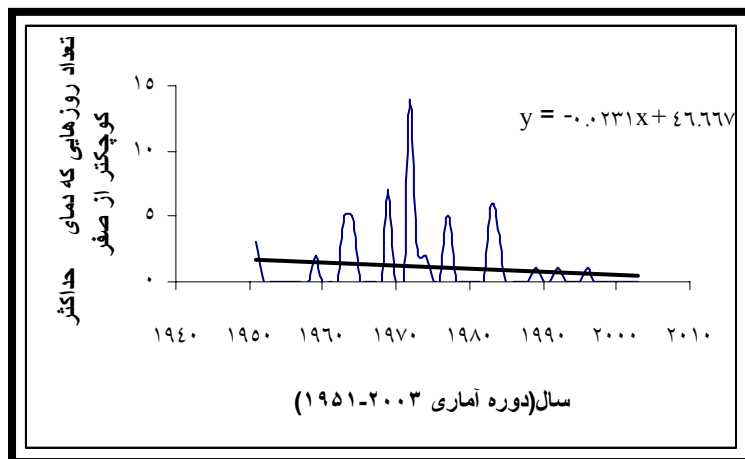
تجزیه و تحلیل روند شاخ های دما و بارش با شیب ثابت حدی داده های روزانه در دوره آماری ایستگاه سینوپیتکی مهرآباد - تهران نشان می دهد که گرمایش مساوی در دنباله های سری های زمانی دمای حداقل و دمای متوسط و شاخص های دمایی حدی سرد وجود دارد. روند شاخص های حدهای گرم صدک نهم دمای حداقل و صدک نهم دمای حداکثر با گرمایش بوجود آمده هماهنگی بیشتری نسبت به صدک های اول دمای حداقل و حداکثر حدهای سرد دارد و منطقی است که فرض کنیم حدهای سرد نسبت به گرمایش در مقیاس بزرگ در مقایسه با حدهای گرم حساسیت کمتری دارند. این به علت گرمای نهان برف و اینرسی حرارتی آب است. در چنین شرایطی تغییر کوچکی در فراوانی حدهای گرم در نواحی مرطوب، نشانه های یک رویداد اقلیمی حدی در مقایسه با مقادیر سالانه را تأیید می کند.

روند کاهش در شاخ های FD (تعداد روزهایی در سال که دمای حداقل کوچک تر از صفر باشد) و ID (تعداد روزهایی در سال که دمای حداکثر کوچک تر از صفر باشد) یا شاخص های حدهای سرد در همه مدل ها کاملاً مشهود است (شکل های ۷ و ۸). روند سری های زمانی دمای حداقل و دمای متوسط روزانه کاملاً افزایشی است و توزیع دنباله های این سری ها با یکدیگر همخوانی دارد (شکل های ۳ و ۱). این در حالی است که رون سری های زمانی دمای حداکثر شیب کمی دارد و روند افزایش دنباله آن نسبت به دهه های قبل محسوس نیست (شکل شماره ۲). روند افزایش حدهای گرم مانند شاخص  $T_{40}$  (تعداد روزهایی که دمای حداکثر بزرگ تر ۴۰ درجه باشد)، CDD (درجه - روز سرمایش) و GDD (طول مدت رشد) (شکل های شماره ۱۱-۹) و روند کتهشی شاخص های HDD (درجه - روز گرمایش) و DTR (شکل های شماره ۱۲-۱۳) نیز در همه مدل های بکار گرفته شده در این مقاله بارز می باشد. روند شاخص های حدهای گرم صدک نهم دمای حداقل (شکل شماره ۱۴) و دمای حداکثر هماهنگی بیشتری با گرمایش پیش آمده در صدک های اول دمای حداقل (شکل شماره ۱۵) و حداکثر حدهای سرد دارد. علاوه بر این، نتایج نشان می دهد که در توزیع های بارش، استفاده از شاخص های صدک نسبت به شاخص های آستانه ای کاربرد بیشتری دارد؛ زیرا می توان از این شاخص ها در همه مناطق تحت پوشش برای بررسی روند شاخص های حدی بارش استفاده کرد. با توجه به نوع اقلیم می توان به دلخواه از شاخص های آستانه ای یا صدک استفاده کرد. برای مثال از شاخص ساده بارش (شکل شماره ۱۶) می توان در اقلیم های خشک و از شاخص روزهای خیلی تر  $R/95$  (شکل شماره ۱۷) که اغلب مقادیر بزرگی در اقلیم های مرطوب نسبت به اقلیم های خشک دارد، استفاده کرد. بعضی از شاخص ها مانند  $TMAX/10$  و  $TMAX/90$  (صدک های اول و نهم دمای حداکثر برای مقایسه مصارف گرمایشی و سرمایشی مانند شاخص های HDD و CDD بکار گرفته می شوند. برای بررسی طول و مدت فصل رشد شاخص GDD که در دو فصل پاییز و بهار روند آن محاسبه می شود، اغلب با توجه به نوع اقلیم و آستانه های صدک اول دمای متوسط قابل محاسبه می باشد.

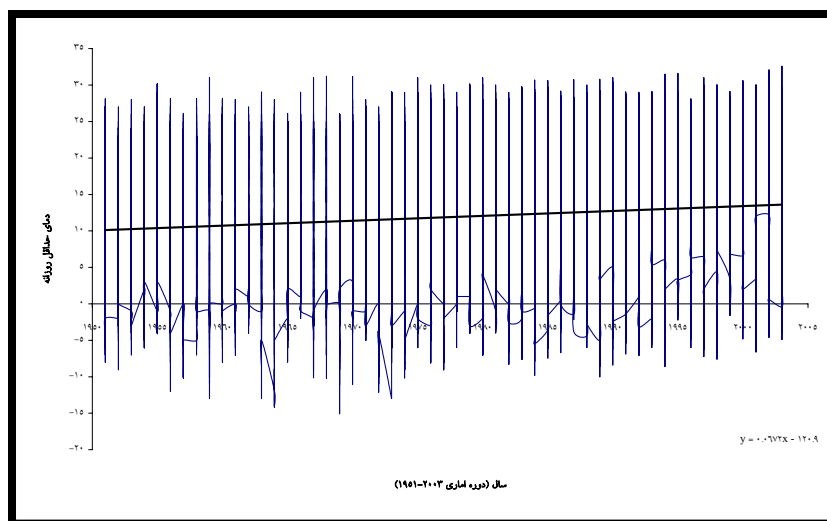
شکل ۱- روند شاخص FD در ایستگاه تهران در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۳



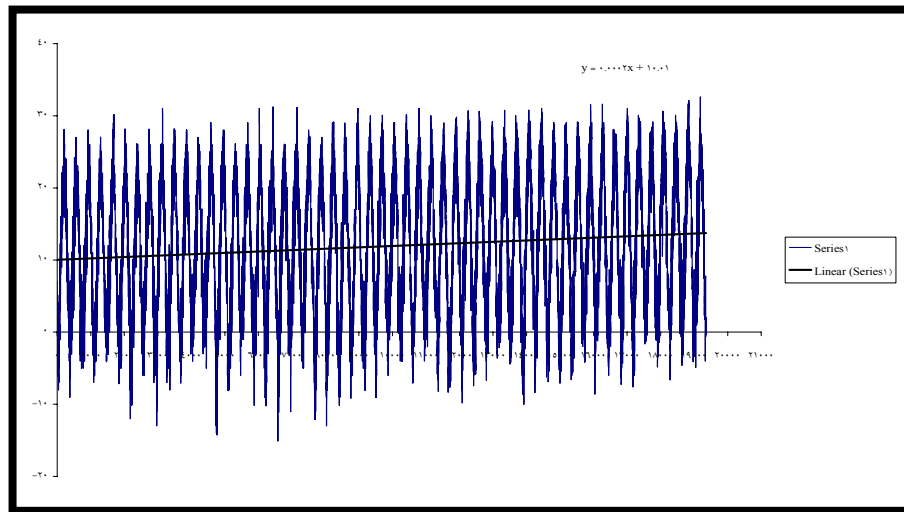
شکل ۲- روند شاخص ID در ایستگاه تهران در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۳



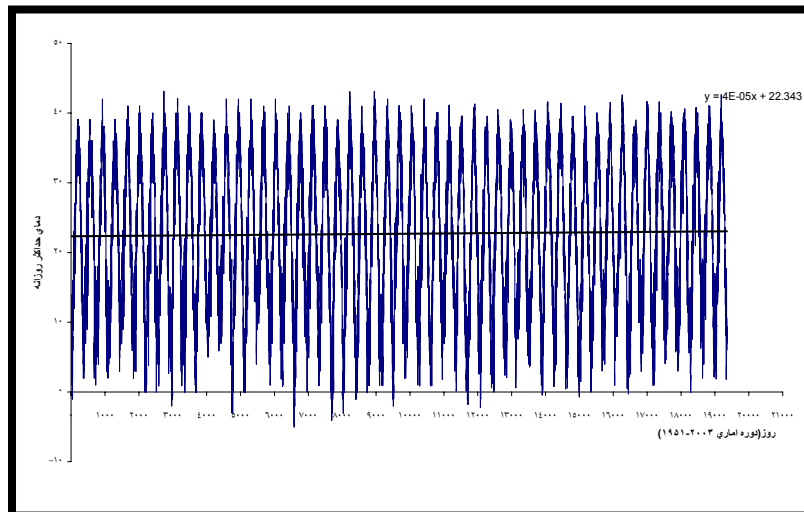
شکل ۳- روند سری زمانی روزانه دمای حداقل در ایستگاه تهران در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۳



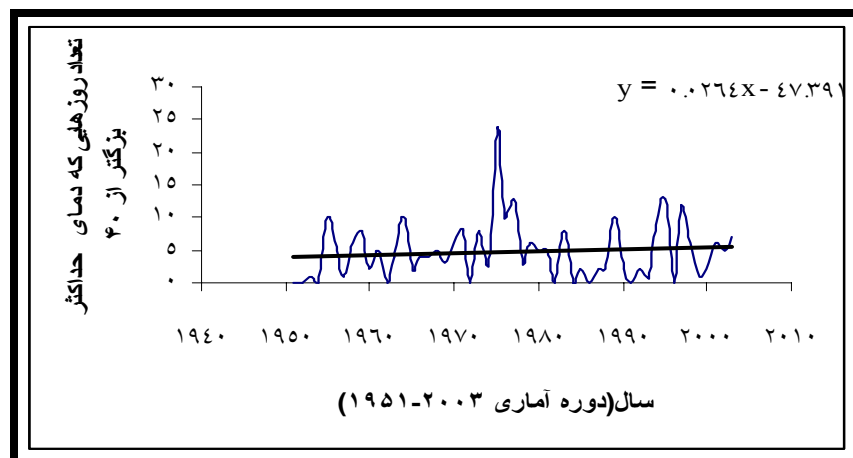
شکل ۴- روند سری زمانی روزانه دمای متوسط در ایستگاه تهران در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۳



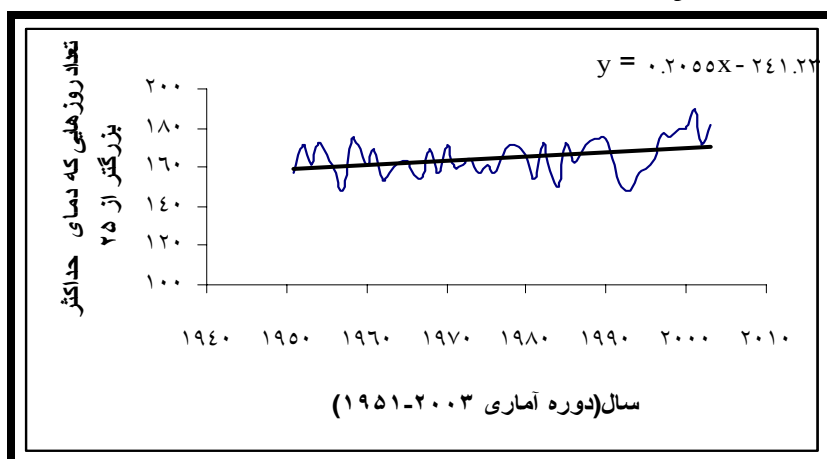
شکل ۵- روند سری زمانی روزانه دمای حداکثر در ایستگاه تهران در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۳



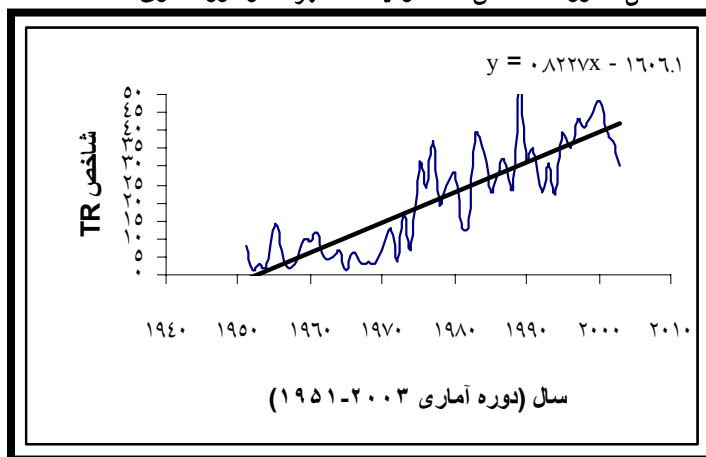
شکل ۶- روند شاخص T40 در ایستگاه تهران در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۳



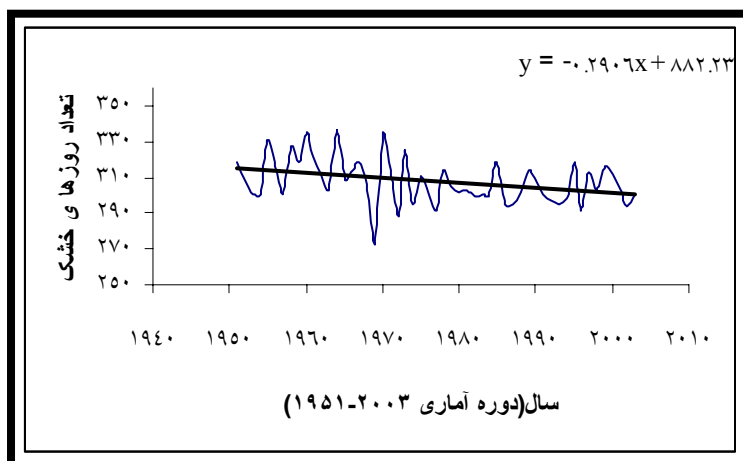
شکل ۷- روند شاخص SU در ایستگاه تهران در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۳



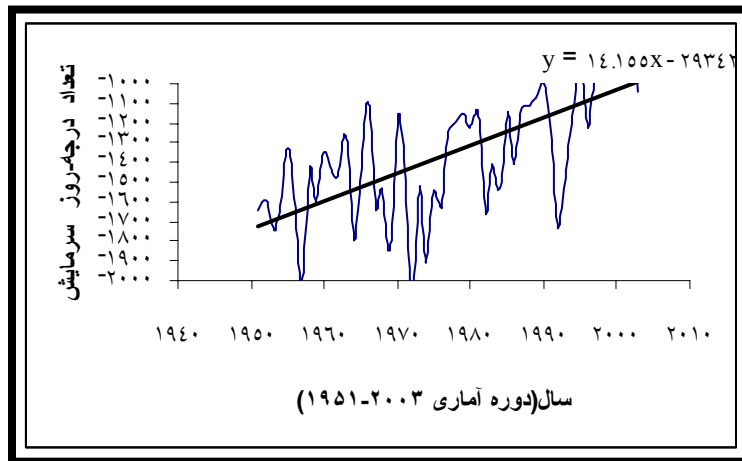
شکل ۸- روند شاخص TR در ایستگاه تهران در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۳



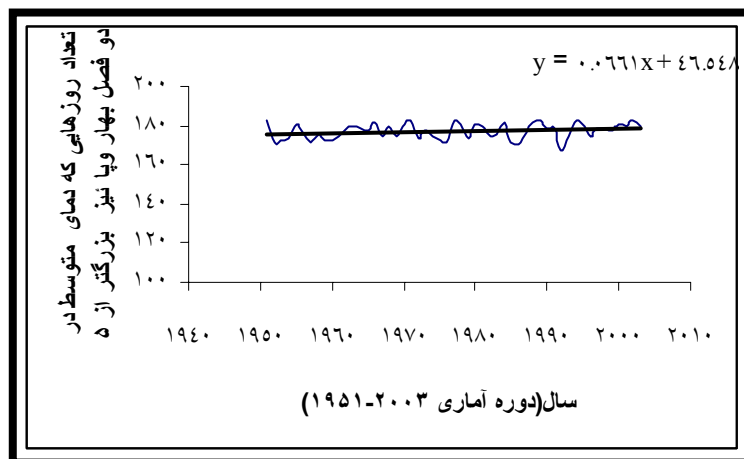
شکل ۹- روند شاخص DD در ایستگاه تهران در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۳



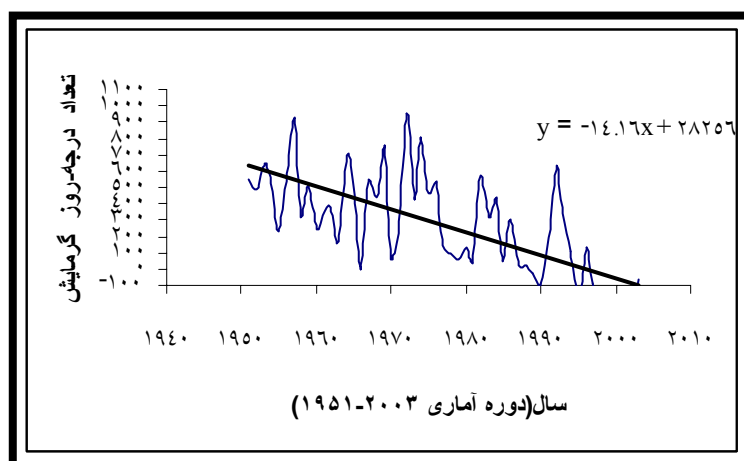
شکل ۱۰- روند شاخص CDD در ایستگاه تهران در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۳



شکل ۱۱- روند شاخص GDD در ایستگاه تهران در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۳

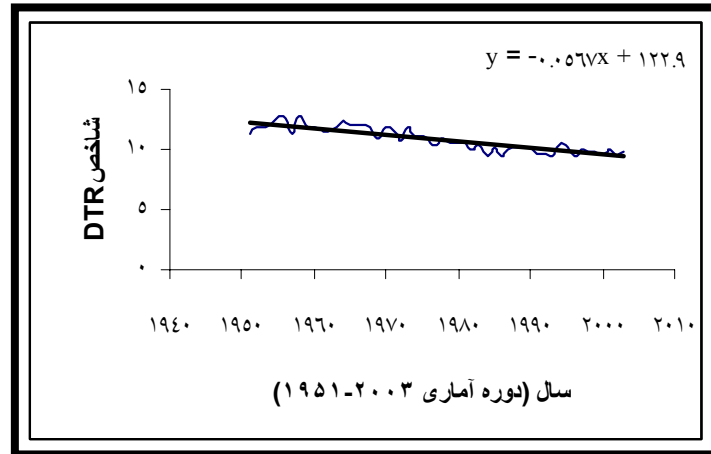


شکل ۱۲- روند شاخص HDD در ایستگاه تهران در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۳

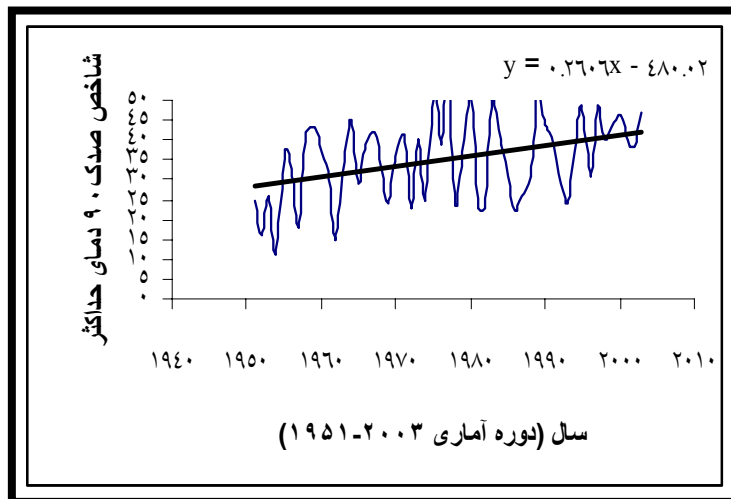




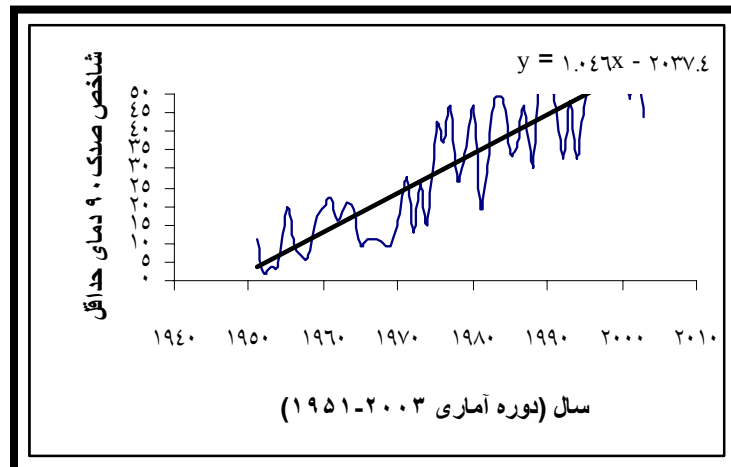
شکل ۱۳- روند شاخص DTR در ایستگاه تهران در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۳



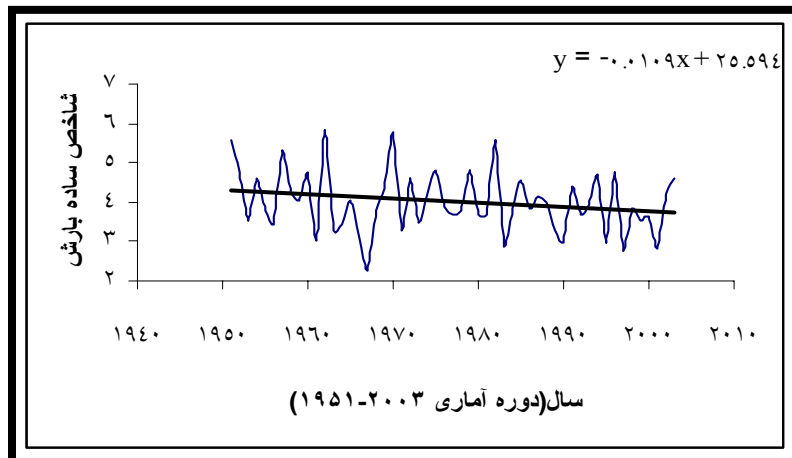
شکل ۱۴- روند شاخص PE90 در ایستگاه تهران در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۳



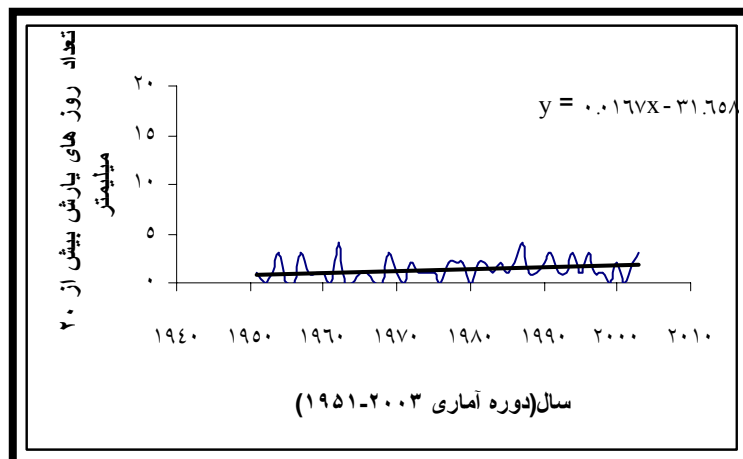
شکل ۱۵- روند شاخص P90 در ایستگاه تهران در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۳



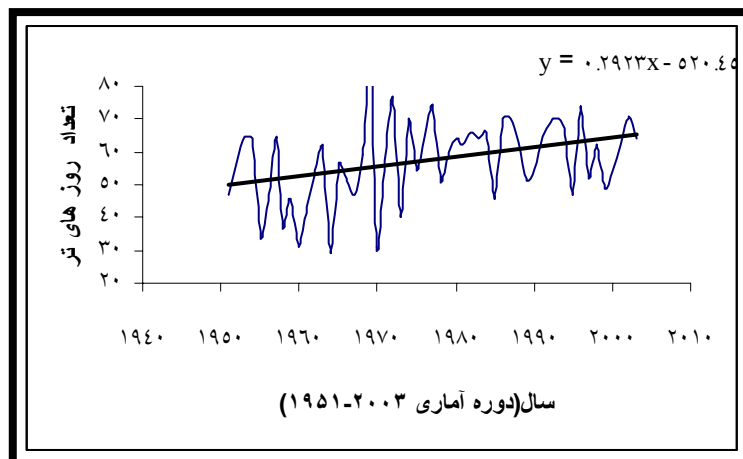
شکل ۱۶- روند شاخص SDII در ایستگاه تهران در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۳



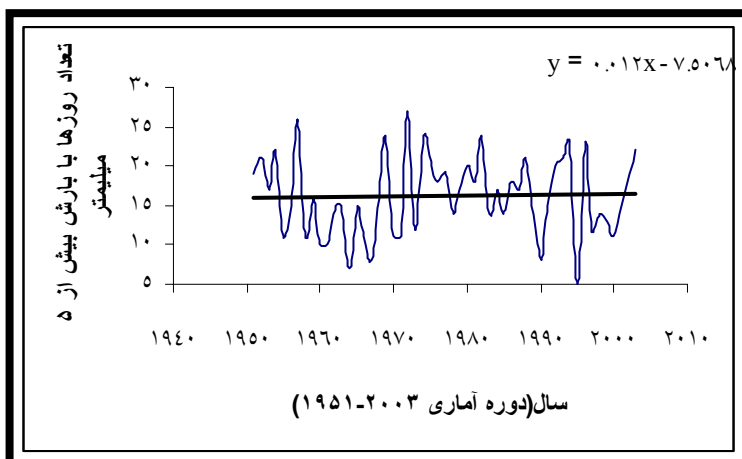
شکل ۱۷- روند شاخص RR20 در ایستگاه تهران در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۳



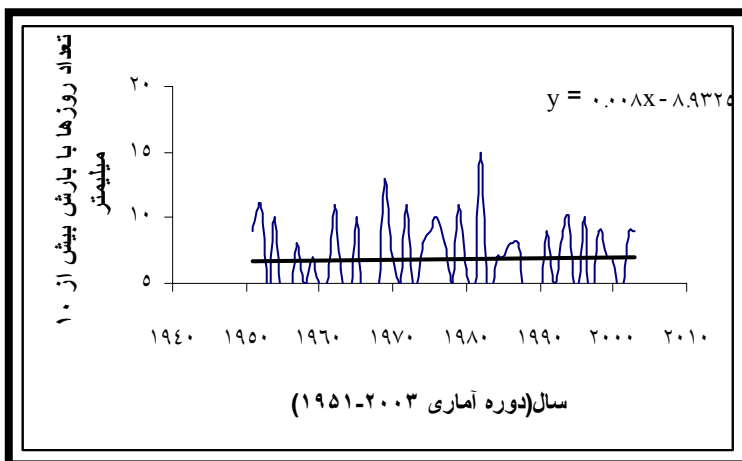
شکل ۱۸- روند شاخص WD در ایستگاه تهران در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۳



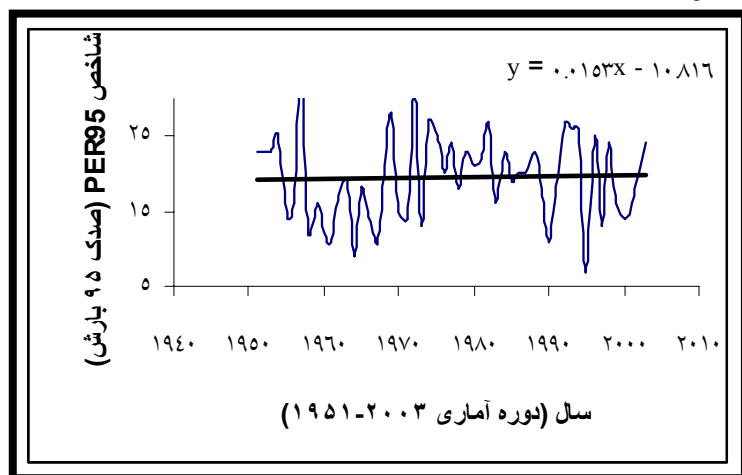
شکل ۱۹- روند شاخص RR5 در ایستگاه تهران در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۳



شکل ۲۰- روند شاخص RR10 در ایستگاه تهران در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۳



شکل ۲۱- روند شاخص PER95 در ایستگاه تهران در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۳



## منابع و مأخذ:

- ۱- کاویانی، محمدرضا و عسا کره، حسین (۱۳۸۲)، بررسی آماری روند بلندمدت بارش سالانه اصفهان، سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، اصفهان.
- ۲- خسروی، محمود، جاودانی خلیفه، ناصر و محمدینا قرائی، سهراب (۱۳۸۲)، بررسی انطباق سری‌های زمانی دمای مشهد با تغییرات و نوسانات دمای کره زمین، سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، اصفهان.
- ۳- خلیلی، علی (۱۳۷۸)، تحلیل سه بعدی درجه - روزهای گرمایش و سرماییش در گستره ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی - شماره ۵۵ و ۵۴.
- ۴- روشنی، محمود (۱۳۸۲)، بررسی تغییرات اقلیمی سواحل جنوبی دریای خزر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیا، دانشگاه تهران.
- ۵- جهادی طرقي، مهناز (۱۳۷۸)، تعیین روند تغییرات دما و بارش شهر مشهد طی دوره آماری ۹۴-۱۹۵۱، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۵۵، ۵۴.
- ۶- جاوری، مجید (۱۳۸۰)، تغییرات دما و بارش در ایران، پایان‌نامه دکترای جغرافیا، دانشگاه تهران.
- ۷- هدایتی، اکرم (۱۳۸۲)، تحلیلی بر تغییرات تاریخ شروع بارش و روند آن در تهران سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، اصفهان.
- ۸- رستمیان، حمید (۱۳۷۵)، بررسی تغییرات سواحل جنوبی دریای خزر (با تاکید بر دما و بارش)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- 9-Alijani (1377), B, Researches in Geography, N 34, pp 3-12
- 10-Bonsal, B, R., X. Zhang, and L. A. Vincent, 2001: Characteristics of daily and extreme temperatures over Canada. *J. Climate*, 14, 1959-1976.
- 11-Brunetti, M., L. Buffoni, M. Maugeri, and T. Nanni, (2000): Precipitation intensity trends in Northern Italy. *Int. J. Climatol.*, 20, 1017-1031
- 12-Buishand, T. A., G. T. Kempen, A. J. Frantzen, H. F. R. Reijnders, and A. J. van den Eshof, 1988: Trend and seasonal variation of precipitation chemistry data in the Netherlands. *Atmos. Environ.*, 22, 339-348.
- 13-Brazdil, H., R., and Coauthors, (1999): Progress in the study of climatic extremes in northern and central Europe. *Climatic change*. 42, 151-181
- 14-Collins, D. A., P. M. Della-Marta, N. Plummer, and B. C. Trewin, (2000): Trends in annual frequencies of extreme temperature events in Australia *Aust. Meteor. Mag.*, in press.
- 15-Easterling, D. R., , and Coauthors (1997): Maximum and minimum temperature trends for the global, *Science*. 277, 364-367, -Easterling, D. R., G. A. Meehl, C. Parmesan, S. A. Changnon, T. R. Karl, and L. O. Mearns, (2000): Climate extremes: Observations, modeling, and impacts. *Science*, 289, 2068-2074.
- 16-Folland, C. K., and Coauthors, (1999): Workshop on indices and indicators for climate extremes, Asheville, NC, USA, 3-6 June (1997): Breakout group C: Temperature indices for climate extremes. *Climatic Change*, 42, 31-43., P. Frich, T. Basnett, N. Rayner, D. Parker, and B. Horton,

- (2000): Uncertainties in climate datasets—A challenge for WMO. *WMO Bull.*, 49, 59–68.
- 17-Forland, E. J., and Coauthors, (1998): REWARD—Relating Extreme Weather to Atmospheric Circulation using a Regionalised Dataset, final report (1996–1998). *KLIMA DNMI Rep. 17/98*, 23 pp.
- 18-Frich, P., L. V. Alexander, P. Della-Marta, B. Gleason, M. Haylock, A. M. G. Klein Tank, and T. Peterson, (2002): Observed coherent changes in climatic extremes during 2nd half of the 20th century. *Climate Res.*, 19, 193–212.
- 19-Haylock, M., and N. Nicholls, (2000): Trends in extreme rainfall indices for an updated high quality dataset for Australia, 1910–1998. *Int. J. Climatol.*, 20, 1533–1541.
- 20-Heino, R., and Coauthors, (1999): Progress in the study of climatic extremes in northern and central Europe. *Climatic Change*, 42, 151–181.
- 21-Houghton, J. T., Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, and D. Xiaosu, Eds., 2001: *Climate Change (2001): The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, 944 pp.
- 22-Jones, P. D., E. B. Horton, C. K. Folland, M. Hulme, D. E. Parker, and T. A. Basnett, (1999)a: The use of indices to identify changes in climatic extremes. *Climatic Change*, 42, 131–149. —, M. New, D. E. Parker, S. Martin, and I. G. Rigor, 1999b: Surface air temperature and its changes over the past 150 years. *Rev. Geophys.*, 37, 173–199.
- 3-Karl, T. R., R. W. Knight, and B. Baker, (2000): The record breaking global temperature of (1997 and 1998): Evidence for an increase in the rate of global warming? *Geophys. Res. Lett.*, 27, 719–722.
- 20-Kendall, M. G., A. Stuart, and J. K. Ord, 1983: *The Advanced Theory of Statistics. Vol. 3, Design and Analysis, and Time-Series*. 4<sup>th</sup> ed. Griffin, 780 pp.
- 24-Klein Tank, A. M. G., and Coauthors, (2002): Daily dataset of 20th century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *Int. J. Climatol.*, 22, 1441–1453.
- Lettenmaier, D. P., (1976): Detection of trends in water quality data from records with dependent observations. *Water Resour. Res.*, 12, 1037–1046.
- A. M. G. KLEIN TANK AND G. P. KONNEN, (2003), Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946–99 *J. Climate*, 16, 3665–3680
- 26-Meehl, G. A., and Coauthors, (2000): An introduction to trends in extreme weather and climate events: Observations, socioeconomic impacts, terrestrial ecological impacts, and model projections. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 81, 413–416.
- 27- Moberg, A., and Coauthors, (2000): Day-to-day temperature variability trends in 160- to 275-year-long European instrumental records. *J. Geophys. Res.*, 105, 22 849–22 868.
- 28-Nicholls, N., (2001): The insignificance of significance testing. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 82, 981–986. , and W. Murray, 1999: Workshop on indices and indicators for climate extremes, Asheville, NC, USA, 3–6 June (1997): Breakout group B: precipitation. *Climatic Change*, 42, 23–29.

- 29-Osborn, T. J., M. Hulme, P. D. Jones, and T. A. Basnett, (2000): Observed trends in the daily intensity of United Kingdom precipitation. *Int. J. Climatol.*, 20, 347–364.
- 30-Panel on Reconciling Temperature Observations,(2000): Reconciling Observers Global Temperature Change. climate research mission in Geoscience, environment and resources National research Council, National Academy press, 104pp
- 31-Plummer, N., and Coauthors, (1999): Changes in climate extremes over the Australian region and New Zealand during the twentieth century, *Climatic Change* 42, 183-202
- 32-Peterson, T. C., C. Folland, G. Gruza, W. Hogg, A. Mokssit, and N. Plummer, (2001): Report on the activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs (1998–2001). World Meteorological Organisation Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, Geneva, Switzerland, 143 pp.
- 33-Tuomenvirta, H., H. Alexandersson, A. Drebs, P. Frich, and P. O. Nordli, (2000): Trends in Nordic and Arctic temperature extremes and ranges. *J. Climate*, 13, 977–990.
- 33-Wijngaard, J. B., A. M. G. Klein Tank, and G. P. Können, (2003): Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. *Int. J. Climatol.*, 23, 679–692.
- 34-Yan, Z., and Coauthors, (2002): Trends of extreme temperatures in Europe and China based on daily observations. *Climatic Change*, 53, 355–392.
- 35-Zhai, P., A. Sun, F. Ren, X. Lin, B. Gao, and Q. Zhang, (1999): Changes of climate extremes in China. *Climatic Change*, 42, 203-218
- 36-Vincent, L. A., (1998): A technique for the identification of inhomogeneities in Canadian temperature series. *J. Climate*, 11, 1094-1104
- 37-Zhang, X., W. D. Hogg, and B. R. Bonsal, (2001): A cautionary note on the use of seasonally varying thresholds to assess temperature extremes. *Climatic Change*, 50, 505–507.