

## بررسی روند تغییرات دمای متوسط سالانه در ایران

هادی شیر غلامی و بیژن قهرمان<sup>۱</sup>

### چکیده

پژوهش‌های انجام شده در سطح جهان به طور عمده بیانگر افزایش تدریجی در دمای متوسط است. با این وجود گزارش‌هایی مبنی بر کاهش درجه حرارت نیز وجود دارد. در این پژوهش روند تغییرات دراز مدت دمای متوسط سالانه در ۳۴ ایستگاه سینوپتیک ایران (۲ ایستگاه در اقلیم سرد و مرطوب، ۱۴ ایستگاه در اقلیم معتدل و مرطوب، ۱۱ ایستگاه در اقلیم استپی و ۷ ایستگاه در اقلیم بیابانی- بر اساس اقلیم‌بندی کوپن) با دوره آماری ۳۰ ساله، به روش کمترین مربعات خطا و روش من- کندال مورد بررسی قرار گرفت (روش والد - وولفویتز منجر به نتایج متفاوتی شد).

نتایج نشان داد که در ۵۹٪ ایستگاه‌ها تغییرات دما دارای روند مثبت و در ۴۱٪ ایستگاه‌ها دارای روند منفی می‌باشد. با در نظر گرفتن سطح معنی‌داری، سه ناحیه روند مثبت، منفی و بدون روند در ایران تشخیص داده شد. به نظر نمی‌رسد که توزیع جغرافیایی این ایستگاه‌ها از یک الگوی مشخص تبعیت کنند. نتایج بررسی در دوره مشترک آماری (۱۹۶۸-۱۹۹۸) نشان داد که در ۶۸٪ ایستگاه‌ها روند مثبت و در ۳۲٪ روند منفی حاکم است. توزیع جغرافیایی ایستگاه‌ها در این حالت با حالت قبل بعضاً تفاوت‌هایی را نشان می‌دهد و در این حالت نیز نمی‌توان الگوی جغرافیایی خاصی را بر آنها مترتب نمود. در این حالت و در سطح معنی‌داری ۵ درصد، ۴۴، ۱۵ و ۴۱ درصد از ایستگاه‌ها به ترتیب روند مثبت، منفی و بدون روند را از خود نشان دادند. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت که بیشتر مناطق در سال‌های آتی با افزایش دما روبه‌رو خواهد بود. هرچند شیب خط روند دراز مدت دمای متوسط سالانه در برخی از ایستگاه‌های به لحاظ آماری معنی‌دار نشده است، ولی مثبت بودن این شیب بیانگر افزایش دماست.

واژه‌های کلیدی: درجه حرارت، اقلیم، روند زمانی، ایران

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیار آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

## مقدمه

گرچه تمامی علل تغییر یا عدم تغییر آب و هوای دنیا کاملاً شناخته نشده است، بحث درباره تغییر آب و هوا مطمئناً مورد توجه بسیاری از پژوهشگران بوده و خواهد بود. اقلیم به عنوان متوسط شرایط آب و هوایی در منطقه خاص و معین توصیف می‌شود و تغییر اقلیم عبارت است از تغییر معنی‌دار در متوسط داده‌های هواشناسی در طی یک دوره معین زمانی. این دوره زمانی معمولاً ده ساله و یا بیشتر می‌باشد (۱۹).

اقلیم نیز مانند هوا در طی زمان تغییر می‌کند. با این وجود به نظر می‌رسد که بتوان بعضی از تغییرات را پیش‌بینی کرد ولی احتمالاً بعضی دیگر از این تغییرات برای بشر امروزی ناشناخته خواهد بود. به نظر می‌رسد که پنج عامل غلظت گازهای گلخانه‌ای، میزان اوزون در استراتوسفر، افشانه‌ها در تراپوسفر، افشانه‌ها در استراتوسفر و فعالیت‌های خورشیدی (لکه‌های خورشیدی) عمده‌ترین عوامل برای توجیه تغییرات درجه حرارت‌های دیده شده در قرن اخیر و دهه‌های پیش باشد (۲۶). سه عامل اول به شدت به فعالیت‌های بشر مربوط است و دو تای آخر از جمله عوامل طبیعی محسوب می‌شوند. آزمون‌های آماری روی آمارهای این قرن مشخص ساخته است که با اطمینان ۹۹٪ گرم شدن هوا، ناشی از فعالیت‌های بشر می‌باشد (۲۸). روند متوسط دمای جهانی بین سال‌های ۱۹۷۵ تا ۱۹۹۷ و حتی تغییرات ناحیه‌ای در این روند به خوبی با تغییرات گازهای گلخانه‌ای توضیح داده می‌شود (۱۵). تغییر اقلیم احتمالاً می‌تواند به عواملی چون تغییر در تابش خورشیدی، تغییر در زاویه محور زمین و جابه‌جایی در مدار آن مربوط شود. مدل‌های اتمسفریک پیش‌بینی نموده‌اند که چهره سیاره ما به طور بی‌سابقه‌ای تحت تأثیر تغییر اقلیم واقع خواهد شد (۲۷). امروزه به طور وسیع پذیرفته شده که هر تغییر در سیستم اقلیمی برای مدیریت منابع آب و منابع طبیعی مهم است. سیکل هیدرولوژیکی در اثر تغییر اقلیم و افزایش درجه حرارت تغییر می‌نماید که نتیجه آن افزایش شدت بارندگی و رواناب حاصل از آن و افزایش نیاز رطوبتی خاک می‌باشد. به علاوه تغییراتی

که توسط انسان در محیط اطراف در سطح جهانی انجام می‌شود نیز روی سیکل جهانی هیدرولوژیکی تأثیر متقابل خواهد داشت (۱۶، ۱۸ و ۲۹). تقریباً می‌توان گفت که تمامی فرضیه‌های تغییرات اقلیمی، یکی از مهم‌ترین بحث‌های خود را در رابطه با مقدار یا پراکنش گرما و سرمای جو زمین قرار داده‌اند (۱). با این وجود توجه به این نکته حائز اهمیت است که پراکنش گرما منطقاً علتی برای تفاوت اقلیمی به شمار می‌آید ولی تغییر اقلیم موضوع متفاوتی می‌باشد. به طور کلی درجه حرارت در سطح زمین و تغییرات آن، نمودی از تغییرات اقلیمی است که تقریباً تمامی نظریه‌های تغییر اقلیم به نوعی، از آن یاد می‌کنند. با بررسی روند تغییرات درجه حرارت می‌توان تغییرات اقلیمی را ردیابی نمود (۱).

به طور کلی نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری‌های مستقیم حاکی از آن است که دامنه تغییرات به دست آمده در اقلیم صد سال گذشته بسیار بیشتر از آن چیزی است که قبلاً تصور می‌شد. در بخش‌های وسیعی از زمین در اواخر قرن نوزدهم و دهه‌های نخستین قرن بیستم، دما روند افزایشی داشته است (۲). شواهد متقاعد کننده‌ای وجود دارد که در حال حاضر و در قرن کنونی (قرن ۲۱) آب و هوای کره زمین نسبت به قرن پیش ۰/۵ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر شده است (۴). تغییرات ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی [زمینی] و کشتی‌ها نشان می‌دهد که تا اوایل قرن بیستم هوای سطح زمین و دریا نسبت به سده‌های گذشته به طور متوسط ۰/۴۵ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر شده است (۶).

تجزیه و تحلیل دمای سطح زمین در جهان نشان داد که مقدار این پارامتر در قرن گذشته به میزان ۰/۴ تا ۰/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است به طوری که در دو دهه گذشته دمای متوسط بر روی اقیانوس‌ها به میزان ۰/۲ و بر روی خشکی‌ها به میزان ۰/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است (۲۲). بررسی‌های انجام شده روی روند دمای هوا در اسلوواکی نشان داد که در طی سال‌های ۱۹۰۱ تا ۱۹۹۰ دمای هوا در کل کشور به طور متوسط ۰/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است (۱۷). این افزایش

با توجه به متفاوت بودن روند درجه حرارت در نقاط مختلف جهان و با توجه به این که هیچ مطالعه جامعی در ایران تغییرات روند دما را برای کل کشور ایران بررسی نکرده است، هدف این مقاله بررسی روند دراز مدت درجه حرارت متوسط سالانه در نقاط مختلف ایران می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### تعریف روند و محاسبه آن

هر سری زمانی یک متغیر تصادفی از دو مؤلفه استوکاستیکی و قطعی تشکیل می‌شود. مؤلفه قطعی در چنین سری زمانی یکی از سه شکل روند، تناوب و جهش را به خود می‌گیرد (۲۵). حالت تناوب عموماً در مقیاس سالیانه وجود ندارد. افزون بر این دلیلی نیز برای وجود جهش در سری زمانی درجه حرارت گزارش نشده است. بنابراین این مقاله تنها به شکل روند در مؤلفه قطعی سری زمانی میانگین درجه حرارت سالیانه در ایستگاه‌های سینوپتیک ایران پرداخته است.

به منظور بررسی وجود روند در یک سری زمانی از روش‌های متعدد آماری می‌توان بهره جست (۸، ۱۳ و ۲۵). گرچه اخیراً از آنالیز رگرسیون به روش کمترین مربعات خطا در بررسی روند پارامترهای اقلیمی به مقدار بیشتری استفاده شده است (مثلاً ۱۰)، ولی ما از دو روش متفاوت دیگر نیز استفاده کردیم تا حساسیت نتایج نسبت به روش انتخابی نیز مورد بررسی قرار گیرد. با این وجود باید توجه نمود که این روش‌ها طبقه‌بندی شده نیستند و برای استفاده از آنها پیش شرط‌هایی در مراجع آورده نشده است. از آنجایی که روش شیب خط در مطالعات گسترده‌تر است، ما نیز بررسی‌ها را به طور عمده بر این روش متمرکز کردیم و از دو روش دیگر برای مقایسه در انتهای مقاله استفاده نمودیم.

روند خطی (۱۳) به طور کلی در این روش عرض از مبدأ و شیب خط رگرسیون را به وسیله حداقل نمودن خطا بین دو متغیر مستقل (زمان،  $X$ ) و وابسته (مقدار پارامتر،  $Y$ ) به دست می‌آورند و سپس آماره  $t = b/s_b$  که در آن  $b$  عرض از مبدأ خط

در ماه‌های گرم سال به میزان  $0.5^\circ$  درجه سانتی‌گراد است. با این وجود مقدار افزایش در ماه‌های سرد سال گزارش نشده است. هس (۱۴) نشان داد که در دوره زمانی ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ در منطقه خشک شمال‌شرقی نیجریه متوسط ماهانه دمای حداکثر و حداقل روزانه به میزان  $1/5^\circ$  درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. هم چنین با استفاده از اندازه‌گیری دمای سطح زمین در مرینند آمریکا و با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای، مشخص شد که در طی سال‌های ۱۹۸۲ تا ۱۹۹۸ در ماه‌های ژانویه و ژوئیه میزان دما روند افزایش به میزان  $0.43^\circ$  درجه سانتی‌گراد در دهه را دارا بوده است و میانگین سالانه اختلاف دمای حداکثر و حداقل به میزان  $0.16^\circ$  درجه در دهه کاهش نشان داده است (۲۰).

برخلاف گزارش‌های فوق که نشان دهنده افزایش درجه حرارت بود، گزارش‌هایی حاکی از کاهش درجه حرارت نیز وجود دارد. پرز و همکاران (۲۴) اطلاعات دما را در بسیاری از نقاط جهان برای دوره ۱۹۵۸-۱۹۹۸ تحلیل کردند و برای نیم کره شمالی روند مثبت دما را برای اغلب نقاط اروپا، آمریکای شمالی و آتلانتیک (در نوار  $30^\circ N - 50^\circ N$ ) و روند منفی را بر روی ایسلند، گرینلند و سواحل شرقی کانادا شامل خلیج هودسون به دست آوردند. باکس (۹) با تحلیل ۳۴ ایستگاه ساحلی و سه ایستگاه در یخچال‌ها واقع در گرینلند، روند سرد شدن را در دوره ۱۹۵۵-۱۹۸۴ نتیجه گرفت. چنین روند سرد شدن در شمال و شمال غرب آتلانتیک، عرض‌های میانی در پاسیفیک شمالی برای دوره ۱۹۵۱-۱۹۹۹ نیز گزارش شده است (۲۳). آنجل (۷) در اداره اقلیم شناسی ایلینویز نشان داد که بخش‌هایی از این ایالت هیچ نشانه‌ای از گرم شدن را در چندین دهه اخیر نشان نمی‌دهند و حتی برخی از مناطق آن یک روند سرد شدن را به ویژه در بخش‌های جنوبی آن نشان می‌دهند. سیری، استاو و همکاران (نقل از چاتوپادها و هولم (۱۰)) نیز روند منفی دما را در شمال  $23^\circ N$  در هندوستان گزارش کرده‌اند (دوره تحت بررسی در مقاله چاتوپادها و هولم گزارش نشده است). آمار ۱۲۲ ساله (۱۸۷۸-۱۹۹۹) ایستگاه هواشناسی دانشگاه پیزا در ایتالیا هیچ علائمی از تغییر در میانگین دمای سالانه نشان نداد (۲۱).

آزمون والد-وولفویتز (۸): برای یک سری به طول  $N$  (که  $X_1, X_2, \dots, X_N$  است) آماره  $R = \sum_{i=1}^{N-1} x_i x_{i+1} + x_1 x_N$  در صورتی که اعضای نمونه مستقل باشند، از توزیع نرمال با میانگین و پراش زیر تبعیت می‌کند:

$$\bar{R} = (S_1^2 - S_r^2) / (N-1) \quad [6]$$

$$\text{Var}(R) = (S_1^2 - S_r^2) / (N-1) - \bar{R}^2 + (S_1^2 - 4S_1^2 S_r^2 + 4S_1^2 S_r + S_r^2 - 2S_r^2) / (N-1)(N-2) \quad [7]$$

که در آن  $S_r = Nm'_r$  و  $m'_r$  گشتاور  $r$ ام نمونه حول مبدأ است. مقدار  $u = \frac{R - \bar{R}}{\sqrt{\text{Var}(R)}}$  از توزیع نرمال استاندارد (میانگین صفر و پراش یک) تبعیت می‌کند و برای آزمون فرضیه استقلال در سطح  $\alpha$  می‌توان  $|u|$  را با  $u_{\alpha/2}$  متناظر با احتمال تجاوز  $\alpha/2$  مقایسه نمود.

#### انتخاب ایستگاه

طول دوره آماری عامل بسیار مهمی در بررسی‌های آماری می‌باشد. به طوری که هر اندازه طول دوره آماری بیشتر و در واقع آمار طولانی مدت از یک پارامتر در اختیار باشد، تجزیه و تحلیل انجام شده از دقت و اعتبار بیشتری برخوردار خواهد بود. ایستگاه‌های سینوپتیک در ایران در مقایسه با ایستگاه‌های کیماتولوژی از طول دوره آماری بیشتری برخوردارند. بنابراین نخست لیست کلیه ایستگاه‌های سینوپتیک از پژوهشکده اقلیم شناسی مشهد اخذ شد. بر اساس آمار ارائه شده، تعداد کل ایستگاه‌های سینوپتیک ایران ۱۶۰ ایستگاه می‌باشد. دوره آماری این ایستگاه‌ها با هم یکسان نبوده و به طور کلی بین ۱۰ تا ۴۸ سال (مختوم به سال ۱۹۹۸ که جمع آوری آمار مقدور بود) متغیر است. به طور مسلم بررسی روند با طول دوره آماری کم قابل اعتماد نمی‌باشد، از این رو حداقل طول دوره آماری ۳۰ سال انتخاب شد. این دوره در بررسی‌های اقلیم‌شناسی نیز غالباً مورد توجه است. بنابراین از میان کلیه ایستگاه‌های سینوپتیک،

برازش داده شده  $S_b$  انحراف معیار داده‌ها (رابطه ۱) است، تعریف می‌شود.

$$S_b^2 = \frac{S^2}{\sum (X - X_i)^2} \quad [1]$$

که در آن  $S^2$  از رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$S^2 = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 / (n-2) \quad [2]$$

فرضیه‌های صفر و مقابل به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$H_0: b = 0, \quad H_1: b \neq 0 \quad [3]$$

اگر قدر مطلق  $t = b/S_b$  از  $t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-2}$  از جدول  $t$ -student بزرگ‌تر باشد، فرض  $H_0$  رد خواهد شد، در این صورت شیب خط اختلاف معنی‌داری با صفر خواهد داشت و از آن به عنوان روند در سری زمانی یاد می‌شود.

آزمون من-کندال (۲۵): اگر  $y_t$  سری مقادیر سالانه عامل مورد نظر (دما در این جا) به طوری که  $t = 1, 2, \dots, N$  باشد  $N$  تعداد سال‌های آماری است)، هر مقدار  $y_t$  (به طوری که  $t = 1, 2, \dots, N-1$  با کلیه مقادیر بعدی از  $y_t$  (به طوری که  $t = t' + 1, t' + 2, \dots, N$  مقایسه می‌شود و سری جدید  $z_k$  با مقادیر  $0, 1$  و  $-1$  به ترتیب در ازای  $y_t > y_{t'}$ ،  $y_t = y_{t'}$  و  $y_t < y_{t'}$  ساخته می‌شود به طوری که در آن  $k = (t' - 1)(2N - t') / 2 + (t - t')$  می‌باشد. آماره من-کندال ( $u_c$ ) از رابطه ۴ به دست می‌آید که در آن  $S$  مجموع کلیه  $z_k$ ها (رابطه ۵)،  $V(S)$  پراش (رابطه ۶) بوده و مقدار  $m$  برحسب این که  $S$  منفی یا مثبت باشد، به ترتیب  $1$  یا  $-1$  خواهد بود.

$$u_c = \frac{S + m}{\sqrt{V(S)}} \quad [4]$$

$$V(S) = \frac{1}{18} \left[ N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^n e_i(e_i-1)(2e_i+5) \right] \quad [5]$$

که در آن  $n$  تعداد گروه‌های جفتی و  $e_i$  تعداد مشاهدات در  $i$ امین گروه می‌باشد. در این روش فرض می‌شود که در ازای  $S=0$ ، آماره  $u_c=0$  خواهد بود. سپس اگر  $|u_c| > u_{1-\alpha/2}$ ، به طوری که  $u_{1-\alpha/2}$  چندک  $1-\alpha/2$  از توزیع نرمال استاندارد است، باشد فرض روند نمی‌تواند رد شود.

ج) دوره‌های آماری متوالی: به منظور بررسی چگونگی تغییرات روند دمای متوسط سالانه در دوره‌های آماری متوالی، از ابتدا به ترتیب نسبت به حذف هریک از سال‌ها اقدام و روند در دوره‌های متوالی با طول کوتاه‌تر محاسبه می‌گردد. کوتاه‌ترین طول دوره باقیمانده ۵ سال در نظر گرفته شد.

## نتایج و بحث

### کل دوره آماری

شیب خط روند درازمدت دمای متوسط سالانه در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است. به‌طور کلی نتایج نشان داد که از مجموع ۳۴ ایستگاه تحت بررسی، در ۲۰ ایستگاه شیب خط روند دراز مدت دمای متوسط سالانه مثبت و در ۱۴ ایستگاه منفی می‌باشد. به بیان دیگر در ۵۹ درصد ایستگاه‌های مورد بررسی شیب خط مذکور مثبت و در ۴۱ درصد نیز منفی است. با این وجود این نسبت در اقلیم‌های چهارگانه یکسان نبود. جهت پرهیز از اطاله کلام ما نتایج را در جدول ۲ خلاصه کردیم. به‌طور کلی ایستگاه‌ها در اقلیم‌های مختلف نیز تمایل به افزایش دما را نشان می‌دهند. جدول ۲ نشان می‌دهد که در مجموع اقلیم بیابانی بالاترین روند مثبت (۷۱٪) و اقلیم‌های مرطوب (معتدل و سرد) بالاترین روند منفی (۵۰٪) را دارا هستند.

با این وجود چنانچه معنی دار بودن شیب‌ها مد نظر قرار گیرد، نتیجه‌گیری‌ها متفاوت خواهد بود. نتایج به دست آمده در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی در کل دوره آماری نشان داد که از مجموع ۳۴ ایستگاه مورد مطالعه، ۱۳ ایستگاه (۳۸٪) فاقد روند معنی داری در سطح ۵ درصد است. ولی ۲۱ ایستگاه باقیمانده (۶۲٪) روند معنی‌داری را از خود نشان دادند به‌طوری‌که در ۱۲ ایستگاه (۳۵٪) روند مثبت و در ۹ ایستگاه (۲۷٪) نیز روند منفی می‌باشد (جدول ۳). مطالعات قبلی عمدتاً حاکی از روند مثبت درجه حرارت در کلیه ایستگاه‌های مطالعه شده در نقاط مختلف جهان بود (۶ و ۱۴). هم چنین برخی از پیش‌بینی‌های انجام شده نیز افزایش دما در آینده را

تعداد ۳۴ ایستگاه که دارای شرایط مذکور بودند انتخاب گردید. این تعداد ایستگاه در حال حاضر بیشترین تعدادی است که با توجه به کمیت آمار می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد.

در شکل ۱ ایستگاه‌های انتخابی روی نقشه اقلیمی به روش کوپن (۵) مشخص و ارائه شده است. به طور کلی ما توانستیم ۲ ایستگاه (۶٪ از کل ایستگاه‌ها) در اقلیم سرد و مرطوب، ۱۴ ایستگاه (۴۱٪) در اقلیم معتدل و مرطوب، ۱۱ ایستگاه (۳۲٪) در اقلیم استپی و ۷ ایستگاه (۲۱٪) در اقلیم بیابانی که ویژگی‌های لازم برای ادامه بررسی‌ها را داشتند انتخاب کنیم.

### محاسبه روند

به منظور محاسبه روند دراز مدت دمای متوسط سالانه، نخست دمای متوسط ماهانه از متوسط‌گیری بین دمای حداقل و حداکثر ماهانه به دست می‌آید و سپس دمای متوسط سالانه نیز از متوسط‌گیری بین دمای متوسط ماهانه برای هریک از ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه حاصل خواهد شد. به منظور انجام آزمون روند، ابتدا سال‌های آماری در یک ستون و دمای متوسط سالانه در ستون دیگر در محیط اکسل ۹۷ وارد شدند و سپس شیب خط و عرض از مبدأ خطی که با روش کمترین مربعات خطا به دست آمده بود، معین گردید. به منظور انجام آزمون معنی‌دار بودن شیب خط با عدد صفر، یا آزمون روند آماره  $t$  (معادله  $t = \frac{b}{s_b}$ ) محاسبه گردید.

آزمون روند یا معنی‌دار بودن تفاوت شیب خط با صفر در سه مرحله به قرار زیر انجام می‌گردد:

الف) برای کل طول دوره آماری: یعنی طول دوره آماری از سالی که ایستگاه مورد نظر دارای آمار می‌باشد تا سال ۱۹۹۸ در نظر گرفته می‌شود.

ب) دوره آماری مشترک: به منظور نگرش یکسان به وضعیت روند دمای متوسط سالانه در هر یک از ایستگاه‌ها، یک دوره آماری مشترک انتخاب می‌شود. این دوره آماری مشترک طولانی‌ترین دوره‌ای خواهد بود که کلیه ایستگاه‌ها دارای آمار باشند و از سال ۱۹۶۸ تا ۱۹۹۸ انتخاب گردید.

جدول ۱. شیب خط روند درازمدت دمای متوسط سالیانه در کل دوره و دوره مشترک آماری (۱۹۶۸-۱۹۹۸) در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در اقلیم‌های مختلف ایران

| ایستگاه                        | کل دوره | دوره مشترک | ایستگاه                      | کل دوره | دوره مشترک |
|--------------------------------|---------|------------|------------------------------|---------|------------|
| <b>اقلیم بیابانی (Bw)</b>      |         |            |                              |         |            |
| آبادان                         | ۰/۰۱    | ۰/۰۲*      | رامسر                        | ۰/۰۱    | ۰/۰۲       |
| اهواز                          | ۰/۰۳*   | ۰/۰۶*      | رشت                          | ۰/۰۲    | ۰/۰۵*      |
| بندر عباس                      | ۰/۰۳*   | ۰/۰۲       | زنجان                        | -۰/۰۳*  | -۰/۰۲      |
| بوشهر                          | ۰/۰۲*   | ۰/۰۴*      | شیراز                        | ۰/۰۳*   | ۰/۰۶*      |
| زابل                           | ۰/۰۰    | ۰/۰۰       | قزوین                        | -۰/۰۳*  | -۰/۰۱      |
| کرمان                          | -۰/۰۲   | ۰/۰۳*      | کرمانشاه                     | ۰/۰۲*   | ۰/۰۵*      |
| یزد                            | ۰/۰۲*   | ۰/۰۴*      | گرگان                        | -۰/۰۱   | -۰/۰۱      |
|                                |         |            | مشهد                         | ۰/۰۳*   | ۰/۰۸*      |
|                                |         |            | همدان                        | -۰/۰۲   | ۰/۰۲       |
| <b>اقلیم استپی (Bs)</b>        |         |            |                              |         |            |
| اصفهان                         | ۰/۰۲*   | ۰/۰۲       | <b>اقلیم سرد و مرطوب (D)</b> |         |            |
| بم                             | ۰/۰۳*   | ۰/۰۳*      | سنندج                        | ۰/۰۰    | ۰/۰۱       |
| بیرجند                         | ۰/۰۳*   | ۰/۰۳*      | شهرکرد                       | ۰/۰۳    | -۰/۰۴*     |
| تربت حیدریه                    | -۰/۰۱   | -۰/۰۲      |                              |         |            |
| تهران                          | ۰/۰۳*   | ۰/۰۵*      |                              |         |            |
| زاهدان                         | ۰/۰۰    | ۰/۰۱       |                              |         |            |
| سبزوار                         | ۰/۰۶*   | ۰/۰۷*      |                              |         |            |
| سمنان                          | ۰/۰۱    | ۰/۰۲       |                              |         |            |
| شاهرود                         | ۰/۰۱    | ۰/۰۵*      |                              |         |            |
| فسا                            | ۰/۰۴*   | -۰/۰۵*     |                              |         |            |
| کاشان                          | -۰/۰۳   | -۰/۰۳*     |                              |         |            |
| <b>اقلیم معتدل و مرطوب (C)</b> |         |            |                              |         |            |
| اراک                           | -۰/۰۳*  | -۰/۰۲      |                              |         |            |
| ارومیه                         | -۰/۰۴*  | ۰/۰۱       |                              |         |            |
| بابلسر                         | ۰/۰۲*   | ۰/۰۳*      |                              |         |            |
| تبریز                          | ۰/۰۲*   | ۰/۰۴*      |                              |         |            |
| خرم آباد                       | -۰/۰۵*  | -۰/۰۷*     |                              |         |            |

\*: معنی‌دار در سطح ۵ درصد

بخش‌هایی از ایلینویز هیچ نشانه‌ای از گرم شدن را در چندین دهه اخیر نشان ندادند بلکه برخی از بخش‌های آن از یک روند سرد شدن نیز برخوردار بودند. نویسندگان دلیل آن را گزارش نکردند و تنها به عوامل احتمالی چون تغییر در توزیع و مقدار سولفات (ذرات ریز ناشی از سوختن سوخت‌های فسیلی مثل زغال سنگ)، تغییر کاربری از مراتع و جنگل‌ها به اراضی کشاورزی، افزایش در مقدار پوشش ابری آسمان و تغییراتی در

پیشگویی می‌نمود (۳۰)، گرچه گزارش‌هایی مبنی بر کاهش دما نیز وجود دارد. به طور کلی این بررسی نشان داد که امکان دارد در برخی از نقاط به صورت محلی خلاف چنین روند کلی دیده شود. احتمالاً خصوصیات خرد اقلیمی ممکن است موجب چنین پدیده‌ای شده باشد. نتایج این بررسی با سایر مطالعات مبنی بر این که یک ناحیه عمومی از یک روند یک جهته برخوردار نباشد نیز تأیید می‌شود. آنجل (۷) نشان داد که نه تنها

جدول ۲. تعداد و تراکم ایستگاه‌های سینوپتیک با روند مشخص برای دمای متوسط سالانه در اقلیم‌های مختلف ایران

| اقلیم                    | جهت روند | کل دوره |       | دوره مشترک |       |
|--------------------------|----------|---------|-------|------------|-------|
|                          |          | تعداد   | تراکم | تعداد      | تراکم |
| بیابانی (۷*)             | مثبت     | ۵       | ۷۱    | ۶          | ۸۱    |
|                          | منفی     | ۲       | ۲۹    | ۱۴         | ۱۴    |
| استپی (۱۱)               | مثبت     | ۷       | ۶۴    | ۷          | ۶۴    |
|                          | منفی     | ۴       | ۳۶    | ۴          | ۳۶    |
| معتدل و مرطوب (۱۴)       | مثبت     | ۷       | ۵۰    | ۹          | ۶۴    |
|                          | منفی     | ۷       | ۵۰    | ۵          | ۳۶    |
| سرد و مرطوب (۲)          | مثبت     | ۱       | ۵۰    | ۱          | ۵۰    |
|                          | منفی     | ۱       | ۵۰    | ۱          | ۵۰    |
| تعداد کل ایستگاه‌ها (۳۴) | مثبت     | ۲۰      | ۵۹    | ۲۳         | ۶۸    |
|                          | منفی     | ۱۴      | ۴۱    | ۱۱         | ۳۲    |

\* : تعداد ایستگاه‌ها

جدول ۳. تعداد و تراکم ایستگاه‌های سینوپتیک با روند معنی‌داری مشخص در سطح ۵ درصد برای دمای متوسط سالانه در اقلیم‌های مختلف ایران

| اقلیم                    | جهت روند  | کل دوره |       | دوره مشترک |       |
|--------------------------|-----------|---------|-------|------------|-------|
|                          |           | تعداد   | تراکم | تعداد      | تراکم |
| بیابانی (۷*)             | مثبت      | ۳       | ۴۲/۸۶ | ۵          | ۱۴/۳  |
|                          | منفی      | ۱       | ۱۴/۳  | ۰          | ۰۰/۰۰ |
|                          | بدون روند | ۳       | ۴۲/۸۶ | ۲          | ۲۸/۵۷ |
| استپی (۱۱)               | مثبت      | ۴       | ۳۶/۳۶ | ۴          | ۳۶/۳۶ |
|                          | منفی      | ۲       | ۱۸/۱۸ | ۳          | ۲۷/۲۷ |
|                          | بدون روند | ۵       | ۴۵/۴۵ | ۴          | ۳۶/۳۶ |
| معتدل و مرطوب (۱۴)       | مثبت      | ۵       | ۳۵/۷۱ | ۶          | ۴۲/۵۶ |
|                          | منفی      | ۵       | ۳۵/۷۱ | ۱          | ۷/۱۴  |
|                          | بدون روند | ۴       | ۲۸/۵۸ | ۷          | ۵۰/۰۰ |
| سرد و مرطوب (۲)          | مثبت      | ۰       | ۰۰/۰۰ | ۰          | ۰۰/۰۰ |
|                          | منفی      | ۱       | ۵۰/۰۰ | ۱          | ۵۰/۰۰ |
|                          | بدون روند | ۱       | ۵۰/۰۰ | ۱          | ۵۰/۰۰ |
| تعداد کل ایستگاه‌ها (۳۴) | مثبت      | ۱۲      | ۳۵/۲۹ | ۱۵         | ۴۴/۱۲ |
|                          | منفی      | ۹       | ۲۶/۴۷ | ۵          | ۱۴/۷۱ |
|                          | بدون روند | ۱۳      | ۳۸/۲۳ | ۱۴         | ۴۱/۱۷ |

\* : تعداد ایستگاه‌ها

تفاوت این دو مقدار شاخصی از چنین وقایع استثنایی تلقی شود. به منظور بی‌بعد کردن برای قابل مقایسه بودن در ایستگاه‌ها (طول دوره آماری ایستگاه‌ها متفاوت است)، ما این تفاوت را بر تعداد سال‌های آماری ایستگاه مربوطه تقسیم کردیم. نتایج نشان داد که این شاخص بی‌بعد شده به‌طور متوسط تنها ۶/۵ درصد است. با این وجود حداکثر انحراف ۹/۵ درصد و مربوط به اقلیم سرد و مرطوب بود که تنها ۲ ایستگاه داشت. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که روند محاسبه شده تحت تأثیر چنین وقایعی قرار نگرفته است. با این حال نتایج در دهه‌های گوناگون نوسانات بیشتری داشت (اطلاعات نشان داده نشد). این نوسانات را بایستی به طول دوره آماری کم (۱۰ سال) منتسب کرد و بنابراین قابل تحلیل نمی‌باشد.

در شکل ۲ پهنه‌بندی روند معنی‌داری دمای متوسط سالانه در کل دوره آماری انجام شده است. بر اساس این پهنه‌بندی می‌توان گفت، مناطقی از استان‌های آذربایجان غربی، گیلان، مازندران، یزد، اصفهان، فارس و بخش‌هایی از شمال و مرکز استان خراسان روند دما مثبت می‌باشد. روند دما در استان هرمزگان، بخش‌هایی از استان مرکزی، زنجان و آذربایجان غربی منفی می‌باشد. در استان سمنان، گلستان، کرمان و سیستان و بلوچستان نیز روند صفر می‌باشد.

### دوره مشترک آماری

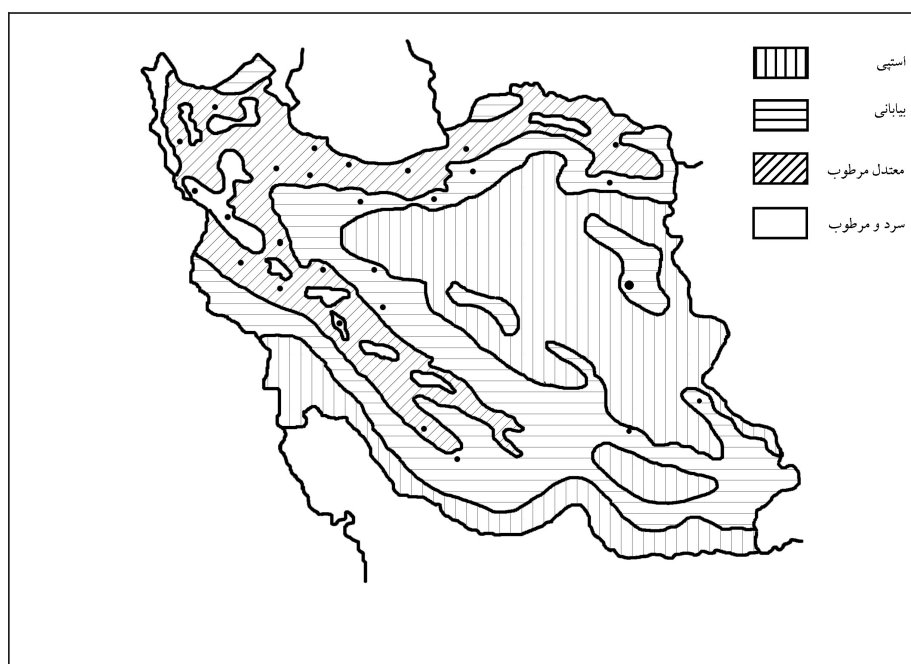
همان‌گونه که قبلاً بیان شد، با توجه به این که دوره آماری ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه با یکدیگر متفاوت است، به منظور نگرش یکسان در تمام ایستگاه‌های سینوپتیک، یک دوره مشترک آماری انتخاب شد. این دوره مشترک که در واقع طولانی‌ترین دوره‌ای است که همه ایستگاه‌ها در آن دارای آمار می‌باشند، از سال ۱۹۶۸ تا ۱۹۹۸ و به طول ۳۱ سال می‌باشد.

نتایج به دست آمده در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در دوره مشترک آماری نشان داد که تغییر طول دوره آماری از کل دوره به دوره مشترک (۱۹۶۸ تا ۱۹۹۸) بعضاً سبب تغییر در

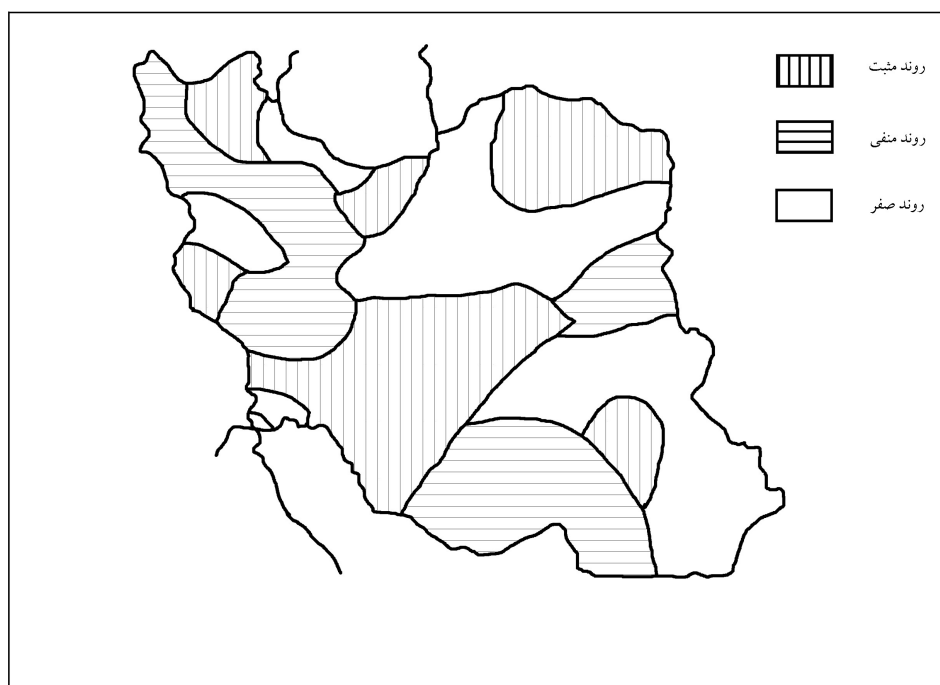
دمای سطح آب در پاسیفیک و آتلانتیک اشاره کرده‌اند. در هندوستان نیز نشانه‌هایی از سرد شدن گزارش شده است (۱۰). نویسندگان ۲۷ ایستگاه را در محدوده زمانی ۱۹۴۰-۱۹۹۰ گرفته و روند دما را در چهار فصل زمستان، مانسون، قبل از مانسون و بعد از آن را بررسی کردند. ما توانستیم سه ناحیه را که در تمامی فصول روند دمای منفی داشت از شکل ۱ مقاله نامبرداران استخراج کنیم. نویسندگان هیچ توجیحی برای روند منفی دمای سالانه و فصلی این سه ناحیه ارائه نکرده‌اند. در سودان نیز روند دمای متوسط سالانه ۲ ایستگاه از ۱۳ ایستگاه تحت مطالعه (۱۹۴۱-۱۹۹۶) منفی بود (۱۱). گرینلند و کیتل (۱۲) ایستگاه‌هایی را در ایالت متحده آمریکا تحلیل کردند (۱۹۵۷-۱۹۹۰). در مقیاس سالانه ۴ ایستگاه از کل ۱۸ ایستگاه روند منفی داشت. با این وجود از آنجایی که روش‌های آماری قطعی نمی‌باشند، امکان دارد که با تغییر روش در تحلیل‌ها، نتایج نیز تغییر کند.

نتایج بررسی در هر یک از اقلیم‌ها در جدول ۳ خلاصه شده است. به‌طور کلی بیشترین روندمعنی‌داری مثبت در ایستگاه‌های با اقلیم بیابانی دیده شده است، به‌طوری‌که در ۴۲/۸۶٪ از ایستگاه‌های مورد بررسی روند مثبت وجود دارد و کمترین آن نیز در اقلیم سرد و مرطوب (۰٪) دیده می‌شود. بیشترین روند معنی‌داری منفی در اقلیم سرد و مرطوب (۵۰٪) و کمترین آن نیز در اقلیم بیابانی (۱۴/۳٪) وجود دارد. هم چنین اقلیم سرد و مرطوب دارای بیشترین ایستگاه‌هایی است که در آنها روند دراز مدت دمای متوسط صفر می‌باشد (۵۰٪) و اقلیم معتدل و مرطوب نیز کمترین رقم (۲۸/۴۵٪) را از این لحاظ به خود اختصاص داده‌است. به‌طور کلی در ۵۷٪ ایستگاه‌ها روند مثبت و در ۴۳٪ نیز روند منفی وجود دارد. به‌طور مشخص نتیجه به دست آمده برای ایستگاه مشهد با نتایج کریم‌زاده و قهرمان (۳) مطابقت دارد.

برای این که مشخص شود که روند محاسبه شده تحت تأثیر یک یا چند واقعه استثنایی نبوده است، تعداد مواقعی که دمای سالانه بیشتر یا کمتر از میانگین بود شمارش شد. ممکن است



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های انتخابی و نواحی اقلیمی ایران



شکل ۲. پهنه بندی روند دمای متوسط سالانه در کل دوره آماری در ایران

شیب خط روند دراز مدت شده است (جدول ۱). به طوری که از مجموع ۳۴ ایستگاه مورد مطالعه، در ۲۳ ایستگاه شیب خط روند دراز مدت دمای متوسط سالانه مثبت و در ۱۱ ایستگاه نیز منفی می باشد. به بیان دیگر در ۶۸ درصد ایستگاه های مورد بررسی شیب خط مذکور مثبت و در ۳۲ درصد نیز منفی است. نکته قابل توجه این که شیب منفی موجود در سه ایستگاه (کرمان، ارومیه، همدان؛ جدول ۱) در کل دوره آماری به مثبت تغییر پیدا کرده است. هم چنین شیب خط در ایستگاه های موجود در اقلیم استپی پس از تغییر دوره آماری بدون تغییر باقی مانده است. ما از بیان نتایج مربوط به اقلیم های مختلف در متن مقاله خودداری کردیم. جدول ۲ این نتایج را نشان می دهد.

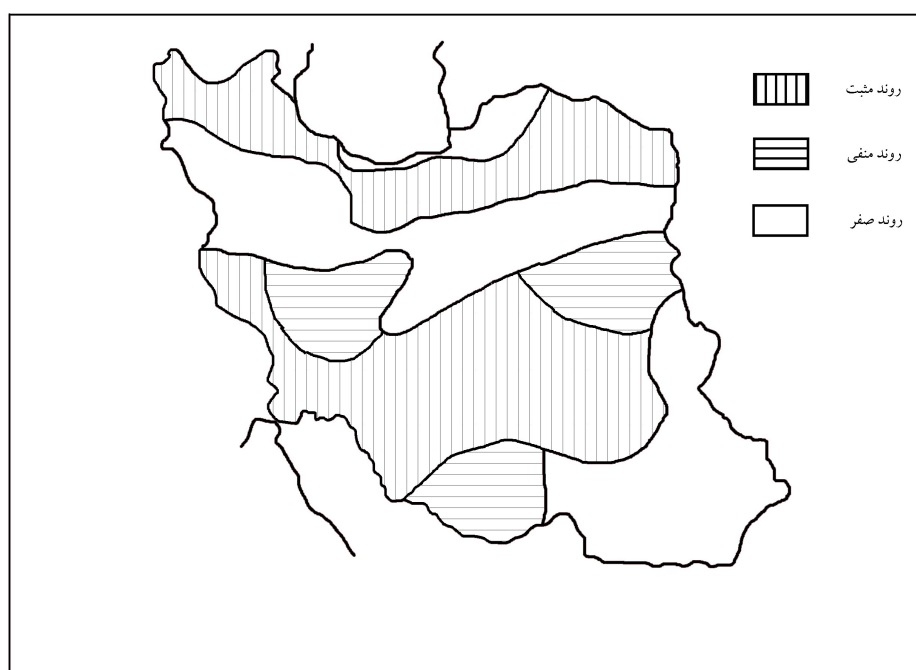
می توان در منابع نیز شواهدی مبنی بر این که تغییر طول دوره آماری موجب تغییر شیب خط روند می شود را یافت. باکس (۹) در گرینلند روند گرم شدن عمومی را در دوره های ۱۸۸۵-۱۹۴۷ و ۱۹۸۴-۲۰۰۱ گزارش کرد در حالی که دوره های ۱۹۵۵-۱۹۸۴ و ۱۹۶۱-۱۹۹۰ دوره های سرد شدن بودند. گرینلند و کیتل (۱۲) نشان دادند که شیب خط درجه حرارت سالانه دو ایستگاه واقع در نیومکزیکو با اقلیم بیابانی و پورتوریکو با اقلیم حاره ای بارانی در دوره زمانی ۱۹۵۷-۱۹۹۰ به ترتیب مثبت و منفی بود. در حالی که با افزایش دوره آماری در این دو ایستگاه (اضافه کردن آمار سال های قدیمی تر) به ترتیب به ۷۶ و ۶۲ سال، علامت این شیب ها تغییر کرد.

بررسی روند تغییرات دما در دوره مشترک آماری نشان داد که تغییر طول دوره آماری از کل دوره به دوره مشترک (۱۹۶۸ تا ۱۹۹۸) بعضاً سبب تغییر در وجود یا عدم وجود معنی دار روند نیز شده است. جدول ۳ یک مقایسه تطبیقی بین تحلیل روند در دو دوره زمانی را نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که در این حالت نیز در ۲۰ ایستگاه (۵۹٪) روند معنی دار مشاهده شده است که در این میان در ۱۵ ایستگاه (۴۴٪) روند معنی دار مثبت، در ۵ ایستگاه (۱۵٪) روند معنی دار منفی و در بقیه نیز

روند صفر حاکم می باشد. علاوه بر این که تعداد ایستگاه هایی که در آنها روند دما معنی دار بوده کمتر شده است. نتایج نشان می دهد که بعضاً جابه جایی هایی نیز اتفاق افتاده است به طوری که برخی از ایستگاه ها که در کل دوره آماری روند در آنها معنی دار نبوده، تغییر دوره آماری باعث معنی دار شدن روند در آنها شده است به طوری که در مجموع ۵ ایستگاه که در کل دوره آماری فاقد روند بوده اند دارای روند شده اند که از این تعداد در ۴ ایستگاه روند مثبت دیده می شود.

در دوره مشترک آماری نیز همانند کل دوره آماری، اقلیم بیابانی دارای بیشترین (۷۱/۴۳٪) و اقلیم سرد و مرطوب دارای کمترین (۰٪) روند معنی داری مثبت می باشند. هم چنین بیشترین روند معنی داری منفی نیز در اقلیم سرد و مرطوب (۵۰٪) و کمترین آن در اقلیم بیابانی (۰٪) دیده می شود. ولی در دوره مشترک آماری دو اقلیم سرد و مرطوب (۵۰٪) و معتدل و مرطوب (۵۰٪) دارای بیشترین و اقلیم بیابانی (۲۸/۵۷٪) دارای کمترین روند صفر می باشند (جدول ۳).

در شکل ۳ پهنه بندی روند دما برای دوره مشترک آماری نشان داده شده است. مقایسه این شکل با شکل ۲ تأثیر جابه جایی در روند مرتبط با طول دوره آماری را نشان می دهد. علی رغم این تغییر ظاهری، نتایج در ایستگاه های تحت مطالعه حاکی از تنها تغییر در ۵ ایستگاه (تقریباً ۱۵٪) بود. توزیع جغرافیایی این ایستگاه ها در شمال غرب و جنوب شرق بوده و شامل ۲ ایستگاه در اقلیم معتدل و مرطوب (ارومیه و همدان) و یک ایستگاه در هریک از اقلیم دیگر (کرمان در بیابانی، زاهدان در استپی و سنندج در سرد و مرطوب) می باشد. مثبت شدن روند دما در دوره مشترک، وجه مشترک این تغییر می باشد. همان گونه که در شکل ۳ مشخص شده است، در بیشتر مناطق شمالی و هم چنین مناطق مرکزی از جمله استان های کرمان و فارس روند دما مثبت است. در مناطق مرکزی و استان های آذربایجان غربی، سمنان و بخش های مرکزی و جنوبی استان خراسان روند منفی دما دیده می شود. در سایر مناطق نیز روند دما صفر می باشد.



شکل ۳. پهنه بندی روند دمای متوسط سالانه در دوره مشترک (۱۹۶۸-۱۹۹۸) آماری در ایران

### روند دمای متوسط با طول دوره‌های متغیر

بررسی روند دمای متوسط با طول دوره‌های متغیر (از سال مشخص تا ۱۹۹۸) انجام گردید. بدین ترتیب که از ابتدا نسبت به حذف سال‌های آماری و کوتاه نمودن طول دوره‌های آماری (حداقل طول دوره ۵ سال) اقدام و روند دو پارامتر فوق‌الذکر محاسبه گردید.

بررسی‌ها نشان داد که رفتار پارامتر دمای متوسط در دوره‌های مختلف آماری متغیر بوده به گونه‌ای که در طی دوره‌های متوالی وجود و یا عدم وجود روند در مقادیر مرتباً در حال تغییر است (جدول ۴). بررسی این جدول مشخص می‌سازد که رفتار ایستگاه‌های تحت بررسی با پدیده روند یکسان نمی‌باشد. به طوری که روند در بعضی از ایستگاه‌ها یک‌جهته است. در چنین ایستگاه‌هایی (۲۲ مورد) تنها روند "معنی‌داری" مثبت حکم فرماست، گرچه سال شروع آن کاملاً متفاوت است، تنها مورد خلاف در این دسته ایستگاه بندر عباس با روند معنی‌دار منفی دما از سال تأسیس می‌باشد. بنابراین نباید از نظر دور داشت که در سال‌های مختلف امکان

تغییر جهت روند، ولو غیر معنی‌دار، کاملاً ممکن می‌باشد (اطلاعات نشان داده نشد). از میان کلیه ایستگاه‌ها، ایستگاه همدان تنها ایستگاهی است که در هیچ سال روند معنی‌داری از خود نشان نداده است. با این وجود، روند در این ایستگاه برای کل دوره آماری مثبت و برای دوره مشترک منفی می‌باشد (جدول ۱). یازده ایستگاه بقیه از رفتار نوسانی برخوردار بودند که از این تعداد در ۱۰ مورد معنی داری منفی اولیه به مثبت تبدیل شده است؛ ایستگاه اصفهان رفتار مخالفی با ۱۰ ایستگاه دیگر دارد. بنابراین نتیجه عمده‌ای که می‌توان از این مبحث گرفت این است که ۳۱ ایستگاه از ۳۴ ایستگاه انتخابی روند معنی‌دار مثبت دما را، چه از ابتدا و چه در سال‌های بعدی، تثبیت نموده‌اند.

این که به چه دلیل در طول سالیان متوالی احتمال تغییر جهت در شیب خط روند، ولو غیر معنی‌دار، وجود دارد ممکن است به دلیل رفتار نوسانی پارامتر باشد. این رفتار نوسانی را می‌توان به طور مشخص در تغییرات میانگین متحرک ۵ ساله مشاهده شد. با توجه به این که میانگین متحرک پنج ساله

جدول ۴. اولین سالی که در ایستگاه مشخصی روند تغییرات متوسط دمای سالیانه معنی دار می شود.

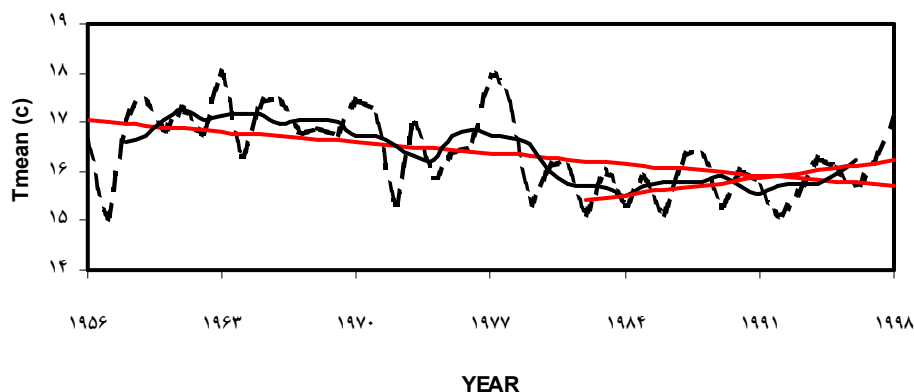
| ایستگاه                        | سال شروع دوره | اولین سال با روند معنی دار مثبت | اولین سال با روند معنی دار منفی | ایستگاه                      | سال شروع دوره | اولین سال روند معنی دار مثبت | اولین سال روند معنی دار منفی |
|--------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------|------------------------------|------------------------------|
| <b>اقلیم بیابانی (Bw)</b>      |               |                                 |                                 |                              |               |                              |                              |
| آبادان                         | ۱۹۵۱          | ۱۹۶۷                            | ---                             | رشت                          | ۱۹۵۶          | ۱۹۵۶                         | ---                          |
| اهواز                          | ۱۹۵۷          | ۱۹۵۷                            | ---                             | زنجان                        | ۱۹۵۵          | ۱۹۸۹                         | ۱۹۵۵                         |
| بندر عباس                      | ۱۹۵۷          | ---                             | ۱۹۵۷                            | شیراز                        | ۱۹۵۱          | ۱۹۵۱                         | ---                          |
| بوشهر                          | ۱۹۵۱          | ۱۹۵۱                            | ---                             | قزوین                        | ۱۹۵۹          | ۱۹۷۳                         | ۱۹۵۹                         |
| زابل                           | ۱۹۶۳          | ۱۹۹۱                            | ---                             | کرمانشاه                     | ۱۹۵۱          | ۱۹۵۱                         | ---                          |
| کرمان                          | ۱۹۵۱          | ۱۹۷۸                            | ۱۹۵۵                            | گرگان                        | ۱۹۵۶          | ۱۹۹۱                         | ---                          |
| یزد                            | ۱۹۵۳۰         | ۱۹۵۳                            | ---                             | مشهد                         | ۱۹۵۱          | ۱۹۵۱                         | ---                          |
|                                |               |                                 |                                 | همدان                        | ۱۹۵۵          | ---                          | ---                          |
| <b>اقلیم استپی (Bs)</b>        |               |                                 |                                 |                              |               |                              |                              |
| اصفهان                         | ۱۹۵۱          | ۱۹۵۱                            | ۱۹۸۷                            | <b>اقلیم سرد و مرطوب (D)</b> |               |                              |                              |
| بم                             | ۱۹۵۷          | ۱۹۵۷                            | ---                             | سنندج                        | ۱۹۶۰          | ۱۹۷۱                         | ---                          |
| بیرجند                         | ۱۹۵۶          | ۱۹۸۱                            | ۱۹۵۶                            | شهرکرد                       | ۱۹۶۰          | ۱۹۹۲                         | ۱۹۶۰                         |
| تربت حیدریه                    | ۱۹۵۹          | ۱۹۹۱                            | ۱۹۷۳                            |                              |               |                              |                              |
| تهران                          | ۱۹۵۱          | ۱۹۵۱                            | ---                             |                              |               |                              |                              |
| زاهدان                         | ۱۹۵۱          | ۱۹۵۵                            | ---                             |                              |               |                              |                              |
| سبزوار                         | ۱۹۵۵          | ۱۹۵۵                            | ---                             |                              |               |                              |                              |
| سمن                            | ۱۹۶۶          | ۱۹۷۲                            | ---                             |                              |               |                              |                              |
| شاهرود                         | ۱۹۵۴          | ۱۹۶۱                            | ---                             |                              |               |                              |                              |
| فسا                            | ۱۹۶۷          | ۱۹۹۲                            | ۱۹۶۷                            |                              |               |                              |                              |
| کاشان                          | ۱۹۶۷          | ۱۹۹۰                            | ---                             |                              |               |                              |                              |
| <b>اقلیم معتدل و مرطوب (C)</b> |               |                                 |                                 |                              |               |                              |                              |
| اراک                           | ۱۹۵۸          | ۱۹۸۹                            | ۱۹۵۸                            |                              |               |                              |                              |
| ارومیه                         | ۱۹۵۳          | ۱۹۷۱                            | ۱۹۵۳                            |                              |               |                              |                              |
| بابل                           | ۱۹۵۱          | ۱۹۵۱                            | ---                             |                              |               |                              |                              |
| تبریز                          | ۱۹۵۱          | ۱۹۵۱                            | ---                             |                              |               |                              |                              |
| خرم آباد                       | ۱۹۵۱          | ۱۹۸۱                            | ۱۹۵۱                            |                              |               |                              |                              |

سیکل هایی بالاتر و پایین تر از میانگین دراز مدت در طول دوره می باشد، بنابراین برحسب این که خط ترسیم شده برای روند دراز مدت در هر یک از دوره های آماری در کدام جهت این سیکل ها تقویت شود، مثبت و یا منفی خواهد بود (شکل ۴).

#### حساسیت نتایج به نوع روش به کار رفته

علاوه بر روش تحلیل شیب خط، دو روش دیگر (والد-وولفویز (۸) و من-کندال (۲۵)) نیز مورد استفاده قرار گرفت. انجام محاسبات مشخص ساخت که بین دو روش شیب خط و من-کندال در کل طول دوره آماری ایستگاه ها روند تغییرات دما

در ایستگاه های تحت مطالعه به طور کامل مشابه می باشد. با این حال تنها در سه ایستگاه (فسا در اقلیم استپی و اراک و قزوین در اقلیم معتدل و مرطوب) تفاوت معنی دار روند دما بین دو روش شیب خط و من-کندال دیده شد. بنابراین در هر سه ایستگاه روش شیب خط روند معنی داری منفی را نشان داد ولی در روش من-کندال روند تنها منفی بود. از طرف دیگر بین این دو روش و برای طول دوره مشترک آماری، دو ایستگاه قزوین و گرگان (در اقلیم معتدل و مرطوب) تفاوت داشتند. بنابراین روند در هیچ کدام از این ایستگاه ها و در هیچ کدام از دو روش معنی دار نبود و بنابراین تفاوت قابل صرف نظر کردن می باشد.



شکل ۴. بررسی روند دمای متوسط سالانه در ایستگاه سینوپتیک بیرجند (اقلیم استپی) در کل دوره آماری. خط مستقیم روند دراز مدت، خط پر میانگین متحرک پنج ساله و خط متقطع نوسانات سالانه می باشد.

کاربری و گسترش شهرها به طور بطئی صورت می پذیرد. بنابراین چنین تغییرات خزنده ای قاعدتاً نمی تواند موجب جهش در درجه حرارت شود. با این وجود ایجاد تأسیساتی در یک منطقه نیز ممکن است موجب جهش و یا روند در درجه حرارت نشود (به طور مثال تأسیسات هیدروالکتریک در منطقه دانوب در اسلواک، لاپین) (۱۷).

دو روش از سه روش مورد بررسی (شیب خط و من-کندال) نتایج یکدیگر را تقریباً به طور کامل تأیید کردند. بر این اساس با توجه به نتایج به دست آمده در خصوص روند دراز مدت متوسط دمای سالانه می توان گفت که بیشتر مناطق در سال های آتی با افزایش دما روبه رو خواهد بود. هرچند شیب خط روند دراز مدت دمای متوسط سالانه در برخی از ایستگاه های به لحاظ آماری معنی دار نشده است، ولی مثبت بودن این شیب بیانگر افزایش دما می باشد. این امر به خصوص در سال های نزدیک به پایان دوره آماری بیشتر نمایان شده است. با این وجود علی رغم این که نتایج روش والد - وولفوویتز با دو روش دیگر نسبتاً ناهم آهنگ بود، ولی دلیلی مبنی بر برتری یک روش نسبت به یک روش دیگر وجود ندارد. بنابراین از آنجایی که ۲ روش از ۳ روش هم را به طور کامل تأیید کردند، ممکن است بتوان نسبت به نتایج به دست

تشابه ضعیفی بین دو روش والد - وولفوویتز با هر کدام از دو روش شیب خط و من-کندال وجود داشت به طوری که در طول کل دوره آماری بدون در نظر گرفتن معنی داری تنها ۵۹٪ اشتراک در نتایج داشتند. با این وجود اتخاذ دوره مشترک آماری این اشتراک در نتایج را به حد ۶۸٪ بهبود بخشید.

## نتیجه گیری

در بسیاری از ایستگاه ها میانگین دما در سال های اخیر بیشتر از میانگین دما در دوره های پیش بود. این یافته با منابع (مثلاً کریم زاده و قهرمان (۳) برای مشهد و لاپین (۱۷) برای منطقه دانوب در اسلواک) هم آهنگی دارد. غالب ایستگاه های تحت مطالعه روند ازدیاد درجه حرارت را نشان دادند. با این وجود از آنجایی که تقریباً تمامی ایستگاه های سینوپتیک ایران در فرودگاه ها و حومه شهرها قرار دارند، نمی توان به طور یقین این یافته را به تغییر اقلیم و گرم شدن عمومی منتسب کرد. تغییر کاربری در حومه شهرها در طول زمان از کشاورزی و مرتع به مسکونی دلیل عمده ای برای افزایش دما به مرور زمان خواهد بود. با این حال نمی توان این دو عامل را از یکدیگر تفکیک کرد و هنوز هم مبنای بسیاری از مطالعات برآورد نیاز آبی کشاورزی ایستگاه های سینوپتیک در ایران است. این تغییر

آمده امیدوار بود. افرون براین ما اعتقاد داریم که روش شیب خط نسبت به دو روش دیگر برتری دارد. در هر دو روش والد- وولفوویتز و من-کندال طول دوره آماری لزوماً بایستی پیوسته باشد. در حالی که در صورت وجود داده‌های مفقود که عموماً در کشورهای در حال توسعه یک قاعده و نه یک استثنا محسوب می‌شود، روش شیب خط به آسانی می‌تواند استفاده شود.

نتایج این بررسی نشان داد که نتایج به طور مشخص ممکن است به سال‌های شروع و ختم دوره آماری حساسیت داشته باشد. از این رو در هر عمل مقایسه‌ای باید به این نکته توجه کرد و نتایج را به صورت مجزا در نظر نگرفت.

اعلام افزایش دما در آینده فقط به عنوان یک پیش آگاهی قابل توجه است ولی در موارد خاص می‌باید سایر پارامترهای

اقلیمی نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند. به عنوان مثال می‌توان روند دراز مدت بارندگی را نیز در مقایسه با روند دراز مدت دمای متوسط سالانه مورد بررسی قرار داد. هم چنین در رابطه با کشاورزی، بررسی روند دراز مدت درجه حرارت در فصول زراعی نیز می‌تواند دیدگاه بهتری را در جهت برنامه‌ریزی در آینده فراهم نماید. (منابع به طور مشخص نشان دادند که شیب تغییر دما در فصول مختلف متفاوت است.) با این وجود افزایش درجه حرارت ممکن است آثار منفی و یک جهته‌ای در نیاز افزایش برای برطرف کردن کمبود رطوبت خاک، کاهش میزان آب در لایه‌های بالایی خاک، کاهش سطح آب زیرزمینی و دبی رودخانه‌ها برجای گذارد.

### منابع مورد استفاده

۱. براتیان، ع. و ف. رحیم زاده. ۱۳۷۷. پارامترهای مؤثر بر تغییر اقلیم. مجله نیوار (۳۷): ۴۷ - ۵۸.
۲. کاویانی، م. ر. ۱۳۷۵. تغییرات محیطی زمین از بدو سنجش‌های مستقیم هواشناسی. خلاصه مقالات اولین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم مرکز ملی اقلیم شناسی، سازمان هواشناسی کشور، تهران، ۱-۳ خرداد، صفحه ۳۹ تا ۴۰.
۳. کریم زاده مقدم، م. و ب. قهرمان. ۱۳۸۰. نگرشی آماری بر افزایش تدریجی تبخیر- تعرق گیاه مرجع در مشهد و پیامدهای احتمالی آن. جلد دوم، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل، ۱۸-۱۹ اسفند، صفحه ۹۵-۱۰۸.
۴. کریمیان، ف. ۱۳۷۵. هوای طوفانی پیش‌رو. آب و خاک و ماشین ۱۸: ۳۹-۴۳.
۵. کوچکی، ع. و م. نصیری محلاتی. ۱۳۷۱. اکولوژی گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
۶. نوریان، ع. م. ۱۳۷۸. تغییر اقلیم جهانی و گرم شدن هوا. مجله نیوار ۸۱: ۱-۳.
7. Angel, J. 2004. Climate Change and Variability in Illinois. Illinois State Water Survey, Illinois University, USA.
8. Bobee, B. and F. Ashkar. 1991. The Gamma Family and Derived Distribution Applied in Hydrology. Water Resources Pub., USA.
9. Box, J.E. 2002. Survey of Greenland and instrumental temperature records: 1873-2001. Int. J. Climatol. 22:1829 - 1847.
10. Chattopadhyay, N. and M. Hulme. 1997. Evaporation and potential evapotranspiration in India under conditions of recent and future climate change. Agric. Forest Meteorol. 87:55-73.
11. Elagib, N. A. and M. G. Mansell. 2000. Climate impacts of environmental degradation in Sudan. GeoJ. 50:311-327.
12. Greenland, D. and T. G. F. Kittel. 2002. Temporal variability of climate at the US long-term ecological research (LTER) sites. Clim. Res. 19:213-231.
13. Haan, C. T. 1977. Statistical Methods in Hydrology. The Iowa Sate Univ. Press, Ames, USA.
14. Hess, T.M. 1998. Trends in reference evapo-transpiration in North East arid zone of Nigeria 1981-91. J. Arid. Environ. 38:99-115.
15. Hunt, B.G. 1998. Natural climatic variability as an explanation for historical climatic fluctuations. Climatic Change 38: 133-57.

16. Karl, T. R., R.W. Knight, D.R. Easterling and R.G. Guayle. 1996. Indices of climate change for the United States. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 77(2):279-292.
17. Lapin M. 1995. Climatological Monitoring of Territory Affected by Construction of the Danube Hydroelectric Power Project and Evaluation of Initial Impact. Gabcyvo Part of the Hydroelectric Power Project - Environmental Impact Review. Faculty of Natural Sciences, Comenius University, Bratislava Slovak.
18. Lettenmaier, D.P., E.F. Wood and J.R. Wallis. 1994. Hydro-climatological trends in the continental United State. *J. Climatol.* 7:586-607.
19. Mander, W.J. 1994. Dictionary of Global Climatic Change. 2<sup>nd</sup> Revised ed., VCL Press, London.
20. Menglin, J. R. and E. Dickinson. 2002. New observational evidence for global warming from satellite. *Geophys. Res. Let.* 29(10):39-42.
21. Moonen, A. C., L. Ercoli, M. Mariotti and A. Masoni. 2002. Climate change in Italy indicated by agrometeorological indices over 122 years. *Agric. Forest Meteorol.* 111:13-27.
22. National Academy. 2000. National Research Council Reconciling Observations of Global Temperature Change. National Academy Press, Washington D.C.
23. Nicholls, N., G. V. Gruza, J. Jouzel, T. R. Karl, L. A. Ogallo and D. E. Parker. 1996. Observed Climate Variability and Change. pp. 133-192. *In: J. J. Houghton, L. G. Meiro Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell (Eds.), The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
24. Perez, J. F., L. Gimeno, P. Ribera, D. Gallego, R. Garia and E. Hernandez. 2000. Influence of the North Atlantic oscillation on winter equivalent temperature. AGU Chapman Conference of "The North Atlantic Oscillation", University of Vigo (Orense campus), Orense, Galicia, Spain.
25. Salas, J.D. 1992. Analysis and modeling of hydrologic time Series. *In: D.R. Maidment (Ed.), Handbook of Hydrology.* McGraw Hill Book Company, U S A.
26. Santer, B. D., K. E. Taylor, T. M. Wigley. 1996. A search for human influences on the thermal structure of the atmosphere. *Nature* 382: 39-46.
27. Tol, R. S. J. 1994. Greenhouse statistics - time series analysis. *Theor. and Appl. Climatol.* 49: 91-102.
28. Tolba, M. K. 1989. Greenhouse and climate change. *Rev. of Geophys.* 27(1):45-48.
29. Vorosmarty, C. J., P. Green, J. Salisbury and R. B. Lammers. 2000. Global water resource: Vulnerability from climate change and population grow. *Bull. Am. Met. Soc.* 289:284-288.
30. Zhang, X., L. A. Vincent, W.D. Hogg and A. Niitsoo. 2000. Temperature and precipitation trends in Canada during the last century. *Atm. Ocean* 38:305-429.