

بررسی سری زمانی دما به منظور آشکار سازی تغییرات روند آن در استان اصفهان با استفاده از روش‌های Mann-Kendall و NRMC

دکتر زهره مریانجی

دکترای اقلیم شناسی دانشگاه اصفهان و کارشناس ارشد هواشناسی اداره کل هواشناسی استان همدان

حسین کریمی جاوید

کارشناس ارشد ژئوفیزیک اداره کل هواشناسی استان همدان

یوسف شیخ الملوکی

اداره کل هواشناسی استان همدان

چکیده

در این مقاله پارامترهای سالانه استان اصفهان به منظور تعیین روندهای زمانی بلندمدت داده‌ها و تغییرات احتمالی آن، طی دوره سی ساله ۱۹۷۶ الی ۲۰۰۵ مورد تجزیه و تحلیل واقع شد. بدین منظور هر یک از سری داده‌های دمای پنج ایستگاه هواشناسی منطقه (اصفهان، شرق اصفهان، کاشان، کبوترآباد و خور) بر اساس آزمون‌های آماری منکندال و منحنی تجمعی باقیمانده‌های نرمال بررسی شدند. با توجه به روش غیر پارامتری منکندال، دمای حداکثر استان در ایستگاه‌های کبوترآباد و خور دارای تغییرات معنی‌دار افزایشی بوده و در بقیه ایستگاه‌ها بدون روند می‌باشند. بررسی تغییرات حداقل سالانه هوا نیز بیانگر افزایش نسبی آنها در ایستگاه شرق اصفهان است و میانگین دما در ایستگاه شرق اصفهان و کبوترآباد دارای روند افزایشی است. روش منحنی تجمعی باقیمانده‌های نرمال که داده‌ها را بدو ناحیه تقسیم می‌نماید دارای نتایجی مشابه روش منکندال می‌باشد. بر اساس این روش دما در ایستگاه‌های کبوترآباد و شرق اصفهان دارای تغییرات معنی‌دار افزایشی بوده است. نتایج این مطالعه که بیانگر گرم‌تر شدن دمای اغلب ایستگاه‌های این استان (به‌خصوص در قسمت‌های میانی آن) است، می‌تواند در پهنه‌بندی و پیش‌بینی خشکسالی‌های آتی و همچنین برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب منطقه بکاربرده شود.

واژه‌های کلیدی: مشخصه‌های دما، استان اصفهان، آزمون منکندال، منحنی تجمعی باقیمانده‌های نرمال شده، روند تغییر اقلیم.

مقدمه

تغییر اقلیم یکی از موضوعات مهمی است که امروزه مورد توجه محققین و مدیران بخش‌های هواشناسی، کشاورزی و منابع کشورهای مختلف قرار گرفته است. این پدیده بدلیل دینامیک پیچیده و استمرار زمانی آن، نه تنها در حال حاضر بلکه در آینده نیز همچنان مورد توجه بیشتر قرار خواهد داشت. بر اساس بررسی‌های انجام شده میانگین عمومی دمای سطح زمین طی قرن نوزدهم به میزان 0.2 ± 0.6 سانتیگراد افزایش یافته است (Ben-Gai, 1999). از سال ۱۹۴۶ الی ۱۹۷۵، در نیمکره شمالی هوا سردتر شده، این در حالی است که در نیمکره جنوبی دمای هوا افزایش یافته است. بررسی‌های وسیعی انجام شده که بیانگر آن است که دماهای متوسط حداکثر

و حداقل هوای سطح خاک، با یک کاهش در دامنه تغییرات روزانه در بسیاری از قسمت‌های جهان توأم می‌باشد. طی سالهای ۱۹۵۰ الی ۱۹۹۳، میزان افزایش دمای حداقل تقریباً دو برابر افزایش دمای حداکثر بوده است. (Folland, 2001)

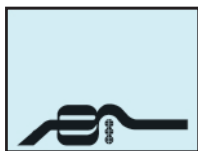
در سنوات اخیر مطالعات زیادی در خصوص تغییر اقلیم صورت گرفته است که از جمله آنها می‌توان به تحقیقات (Ben-Gai, 1999)، (Turkes, 2002) و همچنین (Xie, 1996) اشاره نمود. بر اساس مطالعات (Proedrou, 1997) دمای سالانه و فصلی در منطقه یونان از زمستان ۱۹۵۱ تا ۱۹۹۳ روند کاهشی داشته ولی دمای تابستان تقریباً بعد از سال ۱۹۷۵ در بیشتر ایستگاه‌ها تمایل به گرم شدن داشته است. (Price, 1999) برای دو ایستگاه هواشناسی در قبرس روند افزایش را به میزان ۱ درجه سانتیگراد در ۱۰۰ سال دمای متوسط سالانه گزارش نمودند. با توجه به مطالعات انجام شده در ترکیه، یک کاهش عمومی دما در مقیاس‌های سالانه و فصلی در اغلب نقاط ترکیه گزارش شده است (Huth, 1999).

در ایران نیز مطالعاتی در خصوص تغییر اقلیم صورت گرفته است، از جمله آنها می‌توان به تحقیقات (کوچکی، ۱۳۷۸)، (علیچانی، ۱۳۷۸) و (مشکاتی، ۱۳۷۸) اشاره نمود. (نورمحمدی، ۱۳۷۸) سری زمانی متوسط درجه حرارت سالانه فشار ۷۰۰ میلی‌باری اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی مهرآباد تهران را مورد بررسی قرار داد. با توجه به این بررسی گرچه مقدار میانگین در طول سری و در طی سال‌های ۱۹۹۷-۱۹۶۵ ثابت بوده است، اما واریانس داده‌ها پس از سال ۱۹۸۲ به شدت افزایش یافته است. بر اساس این مطالعه، سال ۱۹۸۲ را به عنوان یک نقطه تغییر سطح در سری زمانی متوسط حرارت سالانه فشار ۷۰۰ میلی‌باری تهران معرفی کرد.

در این تحقیق سعی شده با استفاده از آزمون منکندال و NRMC تغییرات موجود برای پارامتر متوسط دمای سالانه در استان اصفهان بررسی شود.

مواد و روش‌ها

استان اصفهان با مساحت ۱۰۵،۲۶۳ کیلومتر مربع در قسمت مرکزی ایران واقع شده است که در حد فاصل عرض جغرافیایی شمالی ۳۱°۳۶' تا ۳۴°۳۰'



و ۴۹۳۰ تا ۵۵۵۰ طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. در این مطالعه از آمار ۵ ایستگاه مختلف هواشناسی استان (اصفهان، شرق اصفهان، کاشان، کبوترآباد و خور) که دارای طول دوره مشترک آماری ۳۰ ساله (۱۹۷۶ الی ۲۰۰۵) بودند، استفاده گردید. در جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های مذکور آورده شده و در نگاره ۱ نیز موقعیت آنها نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه

نام	نوع	ارتفاع (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
شرق اصفهان	سینوپتیک	۱۵۴۳	۵۱/۵۲	۳۲/۴۰
اصفهان	سینوپتیک	۱۵۵۰	۵۱/۴۰	۳۲/۳۷
کبوتر آباد	سینوپتیک	۱۵۴۵	۵۱/۵۱	۳۲/۳۱
خور	سینوپتیک	۸۴۵	۵۵/۵	۳۳/۴۷
کاشان	سینوپتیک	۹۸۲	۵۱/۲۷	۳۳/۵۹



نگاره ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش کار و یافته‌ها

به منظور آشکارسازی تغییرات دما و روند افزایش آن در منطقه مورد مطالعه، از داده‌های دمای سالانه ایستگاه‌های مورد نظر استفاده گردید. بدین منظور، ابتدا داده‌های اولیه و خام که بصورت ماهیانه ثبت شده‌اند در محیط نرم افزار Excel وارد شده و سپس مراحل ذیل انجام گردید:

۱- بررسی صحت داده‌ها و کنترل آنها: قبل از انجام هر گونه محاسبه، به منظور بررسی صحت و همگنی داده‌ها آزمون همگنی یا ران تست^۲ انجام گردید.

۲- انجام آزمون‌های آماری: جهت دستیابی به اهداف این مطالعه، آزمون‌های آماری منکندال^۳ و منحنی تجمعی باقیمانده‌های نرمال شده^۴ به کار برده شد.

الف- آزمون منکندال: آزمون غیرپارامتری منکندال به منظور تشخیص هر گونه روند^۵ احتمالی در سری آماری دما و همچنین بررسی سطح معنی‌داری روندهای موجود به کار برده شد (Folland, 2001).

در این آزمون آماره $u(t)$ مقداری است که جهت و بزرگی روند را مشخص می‌نماید. در صورتی که مقدار $u(t) < 0$ در سطح ۵% معنی‌دار باشد، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که آیا نوع روند، کاهشی $u(t) < 0$ یا افزایشی $u(t) > 0$ است. در مواردی نیز ممکن است مقدار ۱% به عنوان سطح معنی‌داری در نظر گرفته شود. روندهای جزئی (کوتاه‌مدت)، تغییر موقعیت یا نقطه شروع روند در سری دما نیز بوسیله نمودارهای سری‌های زمانی مقادیر $u(t)$ و $\bar{u}(t)$ مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در این مطالعه به منظور دستیابی به سری‌های زمانی فوق‌الذکر، مقادیر متوالی $u(t)$ و $\bar{u}(t)$ توسط آزمون منکندال مورد مقایسه قرار گرفتند. بر اساس مطالعات (Sneyers, 2001) جهت انجام آزمون منکندال مراحل زیر باید صورت گیرد:

- ابتدا داده‌های مشاهده شده اولیه با رتبه y_i که دارای روند افزایشی است، مرتب می‌شوند.

- سپس برای هر مرتبه از y_i ، تعداد n_k مواردی که قبل از آن $(y_j > y_i)$ باشند، محاسبه می‌گردد $(y_j > y_i)$.

- در مرحله آخر، آماره آزمون از طریق رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$t_i = \sum_{k=1}^i n_k \quad \text{رابطه (۱)}$$

تابع توزیع آماره t_i دارای مقادیر متوسط (E) و واریانس $(Var.)$ می‌باشد که به صورت زیر محاسبه میشود:

$$E(t_i) = i(i-1)/4 \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$Var.(t_i) = [i(i-1)(2i+5)]/72 \quad \text{رابطه (۳)}$$

همچنین مقدار آماره $u(t_i)$ بوسیله رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$E(t_i) = i(i-1)/4 \quad \text{رابطه (۴)}$$

در نهایت مقدار آماره $u(t_i)$ از طریق روش مشابهی^۶ که از انتهای سری‌ها شروع می‌شود، محاسبه می‌گردد.

چنانچه این منحنی‌ها تقاطع داشته باشند، از آن نقطه به بعد، شروع یک روند، مشخص می‌شود. بدون هیچ روندی، سری‌های زمانی $u(t)$ و $\bar{u}(t)$ دارای انحناء و همپوشانی در نقاط متعدد می‌باشد.

ب- منحنی تجمعی باقیمانده‌های نرمال شده: از این روش به منظور آشکارسازی تغییرات معنی‌دار دما در مقیاس سالانه استفاده می‌شود (رسولی، ۱۳۸۱). بدین منظور شاخص‌های اولیه و ثانویه به شرح زیر محاسبه می‌گردد:

شاخص‌های اولیه: پس از صحت‌سنجی داده‌ها، بر اساس روش‌های گرافیکی شاخص‌های اسموت شده^۷ (بعنوان منعکس کننده تغییرات سیستماتیک موجود در مشاهدات دما)، تغییرپذیری^۸ (نشان دهنده تغییرات کوتاه مدت دما) و میانگین متحرک^۹ (بیانگر تغییرات درازمدت دما) مورد بررسی قرار گرفتند.



شاخص‌های ثانویه: به منظور تحلیل دقیق‌تر، مولفه‌های اصلی از قبیل روند، چرخه‌ای^{۱۱} و نامنظم^{۱۲} از سری زمانی داده‌های مورد نظر استخراج گردید. مقدار روند از طریق تابع خطی و روش حداقل مربعات^{۱۳} بدست می‌آید. روابط مربوطه بشرح زیر می‌باشد:

$$Y = a + bX \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$b = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$a = \bar{Y} - n\bar{X} \quad \text{رابطه (۷)}$$

در واقع روش NRMC را می‌توان به عنوان اختلاف تراکمی بین مقادیر واقعی دما در هر سال و متوسط مقادیر مشاهده شده در طول دوره آماری مورد مطالعه دانست، که بر میانگین مشاهدات تقسیم شده است. رابطه مورد استفاده در این روش، به ازای همه سال‌های آماری به صورت زیر است:

$$NRMC_{T_r_n} = \frac{\text{Sum} [NRMC_{T_{r_{n-1}}} + (T_{i_n} - T_m)]}{T_m} \quad \text{رابطه (۸)}$$

در این معادله:

T_m : میانگین دما ۳۰ ساله (۱۹۷۶-۲۰۰۵)، T_{in} : معرف مقدار مشاهدات در هر سال و $NRMC_{T_m}$: مقدار باقیمانده نرمال شده در سال n میباشد.

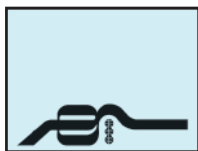
نتایج

۱- **آزمون منکنندال**: اساس نتایج و گراف‌های بدست آمده از آزمون من کنندال (u, u') در ایستگاه‌های مورد مطالعه (نگاره ۲ تا ۴) در سری‌های زمانی دما در ایستگاه اصفهان، شرق اصفهان، کاشان، کبوترآباد هیچگونه روند معناداری دیده نمی‌شود. اگر منحنی u, u' در این آزمون همدیگر را قطع کنند و u از حد معنادار بگذرد ($\pm 1/96$) سری زمانی دارای روند است و به عبارت دیگر روند معنادار است.

بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت در سری زمانی حداکثر دما در داده‌های ایستگاه اصفهان، شرق اصفهان، کاشان، کبوترآباد و خور روند افزایشی با شیب ملایم دیده می‌شود که بر اساس آزمون من کنندال روند افزایشی ایستگاه شرق اصفهان و کاشان معنادار نیست اما روند افزایشی ایستگاه کبوترآباد و خور معنادار است. در ایستگاه اصفهان نیز حداکثر دما دارای روند افزایشی معنادار است که آن می‌تواند مربوط به جابه جایی این ایستگاه در سال ۱۹۹۴ باشد. در حداقل دما نیز داده‌های ایستگاه شرق اصفهان طبق مدل من کنندال دارای روند افزایشی معنادار است. اما چهار ایستگاه اصفهان، کاشان، کبوترآباد و خور روند افزایشی با شیب ملایم دارند که بر اساس آزمون من کنندال می‌توان گفت این روند معنادار نمی‌باشد و میانگین حداقل در این ایستگاه‌ها دارای نوسان وافت و خیزهای ناگهانی است. البته لازم به ذکر است که اگر طول دوره آماری بیش از ۳۰ سال باشد این روند مشخص‌تر می‌گردد. در متوسط دما داده‌های ایستگاه اصفهان، کاشان و خور روند معنادار نیست اما داده‌های ایستگاه شرق اصفهان و کبوترآباد دارای روند افزایشی است که بر

اساس آزمون من کنندال این روند معنادار است.

۲- **آزمون منحنی تجمعی باقیمانده‌های نرمال**: بر اساس روش‌های گرافیکی شاخص‌های سه گانه ذکر شده در قسمت مواد و روش‌ها، داده‌های مربوطه مورد بررسی قرار گرفتند. بر اساس این روش، سال ۱۹۹۰ به عنوان محور تقسیم داده‌های مورد نظر تعیین گردیده و داده‌ها به دو بخش تقسیم شدند. فراوانی تعداد دفعات حادث شده در بالا و پایین خط نرمال دو بخش مذکور، بیانگر وجود یا عدم وجود تغییرات می‌باشد. نتایج مربوطه در نگاره‌های ۵ تا ۷ ارائه شده است. با توجه به این نگاره‌ها، در ایستگاه اصفهان در سری حداکثر دما فراوانی تعداد دفعات حادث شده در بالای خط نرمال بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰ چهار مورد در حالیکه در نیمه دوم سال‌های مشاهده‌ای ۲۰۰۵-۱۹۹۰ ده مورد بالای خط نرمال است که این نوع رفتار را می‌توان نوعی گرم شدن هوا قلمداد نمود و نشان‌دهنده روند افزایشی در سری زمانی می‌باشد. همچنین در ایستگاه شرق اصفهان در سری حداکثر دما فراوانی تعداد دفعات حادث شده در بالای خط نرمال بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰ هشت مورد در حالیکه در نیمه دوم سال‌های مشاهده‌ای ۲۰۰۵-۱۹۹۰ وجود روند معنادار در یک سری زمانی قلمداد کرد. در ایستگاه کاشان در سری حداکثر دما فراوانی تعداد دفعات حادث شده در بالای خط نرمال بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰ دو مورد و در نیمه دوم سال‌های مشاهده‌ای ۸ مورد بالای خط نرمال است که این وضعیت نشان‌دهنده روند افزایشی در سری زمانی می‌باشد. در ایستگاه خور سری حداکثر دما فراوانی تعداد دفعات حادث شده در بالای خط نرمال بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰ چهار مورد و در نیمه دوم سال‌های مشاهده‌ای ۱۰ مورد بالای خط نرمال است که این وضعیت نشان‌دهنده روند افزایشی در سری زمانی می‌باشد. در ایستگاه اصفهان در سری حداقل دما فراوانی تعداد دفعات حادث شده در بالای خط نرمال بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰ چهار مورد در حالیکه در نیمه دوم سال‌های مشاهده‌ای ۲۰۰۵-۱۹۹۰ هشت مورد بالای خط نرمال است نشان دهنده روند افزایشی در این سری زمانی می‌باشد که البته آن می‌تواند مربوط به جابه جایی این ایستگاه در سال ۱۹۹۴ باشد. همچنین در ایستگاه شرق اصفهان در سری حداقل دما فراوانی تعداد دفعات حادث شده در بالای خط نرمال بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰ یک مورد در حالیکه در نیمه دوم سال‌های مشاهده‌ای ۲۰۰۵-۱۹۹۰ سیزده مورد بالای خط نرمال است که این نوع رفتار نشان دهنده روند افزایشی در این سری زمانی می‌باشد. در ایستگاه کاشان در سری حداقل دما فراوانی تعداد دفعات حادث شده در بالای خط نرمال بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰ شش مورد و در نیمه دوم سال‌های مشاهده‌ای نیز هشت مورد بالای خط نرمال است که این وضعیت هم نشانگر عدم وجود روند در داده‌های حداقل دمای این ایستگاه می‌باشد. در ایستگاه کبوترآباد (سری حداقل دما) فراوانی تعداد دفعات حادث شده در بالای خط نرمال

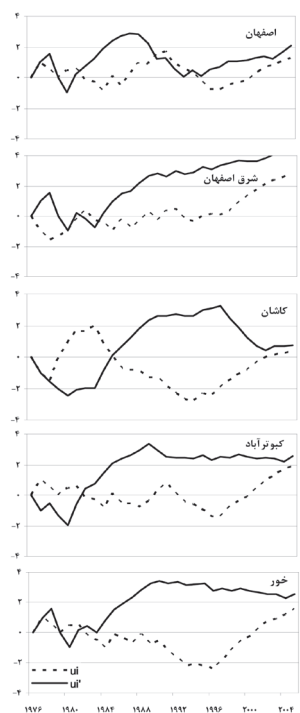


تغییرات مکانی آن در سطح منطقه باشد.

نگاره ۲: منحنی‌های U_{II} برای حداقل دما در ایستگاه‌های استان اصفهان (۲۰۰۵-۱۹۷۶)



نگاره ۳: منحنی‌های U_{II} برای حداکثر دما در ایستگاه‌های استان اصفهان (۲۰۰۵-۱۹۷۶)



نگاره ۴: منحنی‌های U_{II} برای میانگین دما در ایستگاه‌های استان اصفهان (۲۰۰۵-۱۹۷۶)

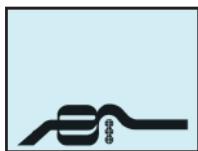
بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰ یازده مورد در نیمه دوم سال‌های مشاهده‌ای مورد بالای خط نرمال است که این وضعیت نشان‌دهنده روند کاهشی باشیب ملایم است. در ایستگاه خور فراوانی تعداد دفعات حادث شده در بالای خط نرمال بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰ سه مورد و در نیمه دوم سال‌های مشاهده‌ای ۸ مورد بالای خط نرمال است که این وضعیت نشان‌دهنده عدم وجود روند افزایشی در این سری زمانی می‌باشد. اگر در ایستگاه اصفهان سال ۱۹۹۰ به عنوان محور تقسیم مشاهدات در ۳۰ ساله مورد مطالعه قلمداد شود فراوانی تعداد دفعات حادث شده در بالای خط نرمال بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰ هفت مورد در حالیکه در نیمه دوم سال‌های مشاهده‌ای ۲۰۰۵-۱۹۹۰ هشت مورد بالای خط نرمال است که نشان‌دهنده عدم وجود روند در این داده‌ها است. همچنین در ایستگاه شرق اصفهان فراوانی تعداد دفعات حادث شده در بالای خط نرمال بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰ دو مورد در حالیکه در نیمه دوم سال‌های مشاهده‌ای ۲۰۰۵-۱۹۹۰ هشت مورد بالای خط نرمال است که این نوع رفتار را می‌توان وجود روند معنادار در یک سری زمانی قلمداد کرد.

در ایستگاه کاشان در سری میانگین دما فراوانی تعداد دفعات حادث شده در بالای خط نرمال بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰ شش مورد و در نیمه دوم سال‌های مشاهده‌ای نیز هشت مورد بالای خط نرمال است که این وضعیت هم نشانگر عدم وجود روند در داده‌های دمای این ایستگاه می‌باشد. در ایستگاه کبوترآباد فراوانی تعداد دفعات حادث شده در بالای خط نرمال بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰ پنج مورد و در نیمه دوم سال‌های مشاهده‌ای ۸ مورد بالای خط نرمال است که این وضعیت نشان‌دهنده روند افزایشی باشیب ملایم در این سری زمانی می‌باشد. در ایستگاه خور فراوانی تعداد دفعات حادث شده در بالای خط نرمال بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰ هفت مورد و در نیمه دوم سال‌های مشاهده‌ای ۸ مورد بالای خط نرمال است که این وضعیت نشان‌دهنده عدم وجود روند در سری زمانی می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه تغییرات دمای هوای پنج ایستگاه مختلف هواشناسی استان اصفهان با توجه به آزمون منکندال و روش ترسیمی منحنی تجمعی باقیمانده‌های نرمال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این دور روش که دارای ساختاری متفاوت هستند، در پیش‌بینی تغییرات دمای هوای استان اصفهان یکنواخت می‌باشد.

بر اساس این روش‌ها، دمای حداکثر استان در ایستگاه‌های کبوترآباد و خور دارای تغییرات معنی‌دار افزایشی بوده و در بقیه ایستگاه‌ها بدون روند می‌باشند. بررسی تغییرات حداقل سالانه هوا نیز بیانگر افزایش نسبی آنها در ایستگاه شرق اصفهان است و در میانگین دما در دو مدل دو ایستگاه شرق اصفهان و کبوترآباد دارای روند افزایشی است. این نتایج اگرچه نشان‌دهنده گرم‌تر شدن و در نتیجه بحرانی‌تر شدن وضعیت منابع آب در آینده می‌باشند و می‌بایست مورد توجه مسئولان ذیربط (در بخش‌های کشاورزی و آب) قرار گیرد، ولی احتیاج به بررسی‌های بیشتر و تکمیلی دارد. استفاده از داده‌های طولانی‌تر و تعداد ایستگاه‌های بیشتر (که البته امری سهل‌الوصول نمی‌باشد)، می‌تواند بیانگر وضعیت واقعی تغییر اقلیم، پهنه‌بندی و تعیین



منابع و مآخذ

۱. رسولی، ع. ۱۳۸۱. تحلیل مقدماتی سری‌های زمانی دمای هوای شهر تبریز، مجله نیوار، شماره ۴۶ و ۴۷.
۲. علیجانی، ب. ۱۳۷۸. اقلیم ایران در صد سال گذشته تغییر نکرده است، خبرنامه اقلیم، مرکز ملی اقلیم‌شناسی، شماره ۲۲.
۳. مشکاتی، م. ۱۳۷۱. مدل‌های استوکاستیک عوامل اقلیمی شهر تهران، مجله نیوار، شماره ۱۳.
۴. نورمحمدی، م. ۱۳۷۸. تعیین نقاط تغییر در دمای جو بالای تهران به منظور بررسی تغییرات احتمالی اقلیم با استفاده از مدل‌های خطی پویا، پایان‌نامه (کارشناسی ارشد)، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم ریاضی، ۱۱۷ ص.
۵. کوچکی، ع. ۱۳۷۸. بررسی اثرات تغییرات اقلیم بر خصوصیات زراعی محصولات ریشه‌ای تحت شرایط تبریز، دومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم. سازمان هواشناسی کشور.

6. Ben-Gai, T., A. Bitan, A. Manes, P. Alpert and S. Rubin. 1999. Temporal and spatial trends of temperature patterns in Israel. *Tech. Appl. Climatol.* 64: 163-177.

7. Folland, C. K., T. R. Karl, J. R. Christy, R. A. Clarke, G. V. Gruza, J. Jouzel, M. E. Mann, J. Oerlemans, M. J. Salinger and S. W. Wang. 2001. Observed climate variability and change. In *Climate Change*, J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. Van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C. A. Johnson, (Eds.), PP. 99-181. Cambridge University Press, Cambridge.

8. Huth, R. 1999. Testing for trends in data unevenly distributed in time. *Theo. App. Climatol.* 64: 151-162.

9. Price, C., S. Michaelides, S. Pashiardis and P. Alpert. 1999. Long term changes in diurnal temperature range in Cyprus. *Atmos. Res.* 51: 85-98.

10. Proedrou, M., G. Theoharatos and C. Cartalis, 1997. Variations and trends in annual and seasonal air temperature in Greece determined from the ground and satellite measurements. *Theo. App. Climatol.* 57: 65-78.

11. Sneyers, R. 1990. On the statistical analysis of series of observation. World Meteorological Organization (WMO). Technical Note. No. 143, Geneva. 192 pp.

12. Turkes, M., U. M. Sumer and I. Demir. 2002. Re- Evaluation of trends and changes in mean, maximum and minimum temperatures of Turkey for the period 1929-1999. *Inter. J. Climatol.* 22: 947-977.

13. Xie, Z. and X. H. Cao. 1996. Asymmetric Changes in Maximum and Minimum Temperature in Beijing. *Theo. App. Climatol.* 55: 151-156.

پی‌نوشت

1- Northern Hemisphere

2- Run test

3- Mann-Kendall

4- Normalised Residual Mass Curve (NRMC)

5- Trend

6- Back-ward

7- Smoothing

8- Fluctuating Component

9- Moving Average

10- Cyclical

11- Irregular

12- Least Squares



نگاره ۵: منحنی تجمعی باقیمانده نرمال شده (NRMC) برای حداقل دما ایستگاه‌های مورد مطالعه (۱۹۷۶-۲۰۰۵)



نگاره ۶: منحنی تجمعی باقیمانده نرمال شده (NRMC) برای حداکثر دما ایستگاه‌های مورد مطالعه (۱۹۷۶-۲۰۰۵)



نگاره ۷: منحنی تجمعی باقیمانده نرمال شده (NRMC) برای میانگین دما ایستگاه‌های مورد مطالعه (۱۹۷۶-۲۰۰۵)