

بررسی تغییرات دما و بارش تهران طی نیم قرن اخیر

دکتر زهرا حجازی زاده^۱ / دکتر نادر پروین^۲

چکیده

هدف از این تحقیق بررسی تغییرات دما و بارش ایستگاه هواشناسی سینوپتیک تهران و مطالعه انحراف احتمالی آن از حالت نرمال می‌باشد. بدین منظور ابتدا سری زمانی داده‌های دمای میانگین، ماکزیمم و مینیمم و بارش ماهانه طی دوره ۱۹۵۱-۲۰۰۵ جمع‌آوری و تنظیم گردید. نواقص آماری برخی از سری‌ها با روش جرم مضاعف برطرف گردید. به منظور بررسی و شناخت تغییرات سری‌های زمانی روش آماری-گرافیکی من-کندال استفاده شد. سپس نوع و زمان تغییر داده‌ها مشخص گردید. نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که، با توجه به آماره آزمون‌های نیکویی برازش و آماره t من-کندال و مولفه U آزمون آماری-گرافیکی من کندال فرض تصادفی بودن داده‌ها به شدت رد شد و روند افزایشی معنی‌داری بویژه بر متغیرهای مربوط به دما حاکم است. بر اساس بررسی نمودارهای گرافیکی، دما و بارش در طی ۵۵ سال اخیر تغییراتی در عنصر دما اتفاق افتاده است. بیشتر این تغییرات از نوع نوسانات کوتاه مدت اقلیمی و روند می‌باشد که در سری‌های مربوط به دمای سالانه و دمای سالانه و دماهای حداکثر سالانه عمدتاً در اوایل دهه ۲۰۰۰ بیشتر مشهود است. تغییرات از نوع روند برای دمای سالانه، دماهای حداقل و حداکثر سالانه افزایشی و در جهت مثبت بوده است. اما تغییرات سری‌های مربوط به بارش نوسانات پی‌درپی داشته است. بیشترین تغییرات ناگهانی در سری‌های سالانه و فصلی در اوایل دهه ۲۰۰۰ می‌باشد که معنی‌دار نمی‌باشند.

کلیدواژه: دما، بارش، تغییر اقلیم، من-کندال، تهران.

مقدمه

اخیراً یکی از مباحث بسیار مهم در بحث مربوط به آب و هوای مناطق مختلف موضوع اقلیم و تغییر آن به عنوان یک وضعیت برگشت ناپذیر بوده و بسیاری از محققان به ابعاد مختلف این مهم پرداخته‌اند. یکی از مظاهر و پیامدهای این پدیده تغییر در عناصر اقلیمی بویژه دما و بارش مناطق مختلف است. به هم خوردن اندکی از تعادل اقلیم جهان موجب شده متوسط درجه حرارت کره زمین تمایل به روند افزایش را نشان دهد (IPCC, 2001, a:1875). به طوری که، هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم در سال ۲۰۰۱ گزارش داد که اقلیم در حال تغییر و گرمایش جهانی در حال وقوع است (دراکوپ

^۱- استاد دانشگاه تربیت معلم تهران

^۲- استادیار دانشگاه پیام نور naderpn1353@yahoo.com

و ویکن، ۲۰۰۵: ۴۸۳). این پدیده به علت افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر می‌باشد (دیتینگر و همکاران، ۲۰۰۴: ۳۱۲).

روند دما و بارش در سراسر جهان یک‌سو نیست. تغییرات اقلیم الزاماً به معنی تغییر توأمان بارش و دما نمی‌باشد (کلارک، ۲۰۰۳: ۲۰۸). از طرفی، اثبات وجود روند معنی‌دار در یک سری زمانی بارندگی به تنهایی نمی‌تواند دلیل قاطعی بر وقوع تغییر اقلیم در یک منطقه باشد بلکه فرض رخداد آن را تقویت می‌نماید (سیرانو و همکاران، ۱۹۹۹، ۸۶). از این‌رو، با توجه به اهمیت موضوع، بررسی کمی و کیفی دما و بارش ایستگاه تهران جایگاه ویژه‌ای داشته و شناخت رفتار سری‌های زمانی مذکور و کشف وجود تغییرات احتمالی در آن هم به روش آماری - گرافیکی مطمئن و معمول در محافل علمی جهان ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. هدف از این تحقیق، شناخت رفتار بلندمدت سری زمانی دما و بارش ایستگاه تهران به منظور ارائه تصویری روشن از تغییرات در رفتار داده‌ها و نوع و زمان تغییرات احتمالی آن به کمک روش آماری - گرافیکی من-کندال می‌باشد. چرا که بدون شناخت و آگاهی از وضعیت اقلیمی حال و آینده، مدیران و برنامه‌ریزان قادر به اجرای برنامه‌های مختلف نخواهند بود.

پیشینه تحقیق

در ادبیات اقلیم‌شناسی جهان تاکنون مطالعات فراوانی پیرامون اقلیم و تغییرات آن در مناطق مختلف صورت گرفته است. بسیاری از مطالعات بر محوریت بررسی و تحلیل رفتار بلند مدت دما و بارش و تغییرات آنها در ارتباط با روند افزایش متوسط دمای جهانی و منطقه‌ای صورت گرفته و روش‌های آماری پارامتریک و ناپارامتریک بویژه روش من-کندال به کرات مورد استفاده قرار گرفته است^۳. بسیاری از بلاهای طبیعی به‌طور مستقیم و غیر مستقیم در ارتباط با تغییر اقلیم قابل توجه هستند. به‌طوری‌که، بر اساس نتایج حاصل از مطالعات تغییر اقلیم در حوضه دریای مدیترانه وجود رابطه بین کاهش دما و بارش و کمبود آب و افزایش خطر آتش‌سوزی جنگل‌های منطقه به اثبات رسیده است (پاینل و همکاران، ۱۹۹۸: ۳۵۶)، (مارنگو و کامارگو، ۲۰۰۸: ۹۰۳). پس از بررسی سری‌های زمانی ماکزیمم و مینیمم

^۳ - (لتن‌مایر و همکاران؛ ۱۹۹۴؛ نورث و کیم، ۱۹۹۵؛ کیلی و همکاران، ۱۹۹۸؛ کورتزال و همکاران، ۱۹۹۸؛ انگلهارت، ۲۰۰۳؛ روی و جی ار، ۲۰۰۴؛ هو و همکاران، ۲۰۰۳؛ سلسی و زنگ، ۲۰۰۴؛ آلبرت و همکاران، ۲۰۰۴؛ ریو و همکاران، ۲۰۰۴؛ پیکارتا و همکاران، ۲۰۰۴؛ زویرس و استورچ، ۲۰۰۴؛ ها و همکاران، ۲۰۰۵؛ تورکی و ارکن، ۲۰۰۵؛ میر و همکاران، ۲۰۰۶؛ ولف میر و مولر، ۲۰۰۶؛ اورلند و همکاران، ۲۰۰۶؛ دجانخ و همکاران، ۲۰۰۶ و ها و ها، ۲۰۰۶؛)

درجه حرارت ایستگاه‌های جنوب برزیل طی سال‌های ۲۰۰۲-۱۹۶۰ به این نتیجه رسیدند که روند دمای مینیمم افزایش شیب داشته، اما روند دمای ماکزیمم دارای شیب ملایم بوده است.

در ادبیات جغرافیایی ایران در خصوص بررسی تغییر اقلیم به روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک می‌توان به کارهای ارزشمند کویانی و عساکره؛ رحیم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۳؛ کتیرایی بروجردی و همکاران، ۱۳۸۴؛ حجام و همکاران، ۱۳۸۷؛ اشاره کرد. بر اساس مطالعه اخیر بر روی دما و بارش ایستگاه‌های سواحل جنوب دریای خزر طی دوره ۹۴-۱۹۵۵ به منظور بررسی وجود انحراف احتمالی و شناسایی تغییرات داده‌ها و نوع و زمان آن با استفاده از روش من-کندال چنین نتیجه شد که، زمان شروع بیشتر تغییرات ناگهانی و از هر دو نوع روند و نوسان بوده است. بعلاوه، در اکثر ایستگاه‌ها دمای حداقل روند مثبت و دمای حداکثر روند منفی را نشان می‌دهد (عزیزی و روشنی، ۱۳۸۷: ۲۶).

منطقه مورد مطالعه

ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مهرآباد تهران با موقعیت جغرافیایی $35^{\circ}41'$ شمالی و $51^{\circ}19'$ شرقی و ارتفاع ۱۱۹۱ متر از سطح دریا در مرکز نیمه شمالی کشور قرار گرفته است. طبق سرشماری سال ۱۳۸۵ شهر تهران با ۷۰۸۸۲۸۷ نفر جمعیت، اولین شهر پرجمعیت ایران محسوب گردید.

از نظر تقسیمات کلی اقلیمی، خصوصیات آب و هوایی منطقه مذکور جزو ناحیه اقلیمی نیمه خشک بوده و ژوئن تا آگوست ماه تقریباً خشک بوده و بقیه ماه‌های سال مرطوب می‌باشد. متوسط بارش سالانه طی دوره ۵۵ سال (۲۰۰۵-۱۹۵۱) ۳۳۳ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالانه $17/2$ درجه سانتیگراد است. بخش مهمی از ریزش-های جوی طی ماه‌های دسامبر تا ماه می می‌بارد. دمای متوسط ژانویه به عنوان سردترین ماه $3/3$ درجه سانتیگراد است (جدول شماره ۱).

جدول شماره ۱. میانگین بلند مدت دما و بارش ماهانه و سالانه ایستگاه هواشناسی ارومیه

شاخص	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	سالانه
دما	۳/۳	۵/۵	۱۰/۲	۱۶/۶	۲۲/۱	۲۷/۸	۳۰/۶	۲۹/۷	۲۵/۵	۱۸/۷	۱۱/۱	۵/۴	درجه $17/2$ C
بارش	۳۴/۶	۳۲/۲	۴۰/۸	۳۰/۷	۱۵/۴	۳	۲/۳	۱/۸	۱/۱	۱۰/۹	۲۶	۳۴	۳۳۳mm

ویژگی عمده بارش ماهانه تهران، بی‌ثباتی آن از سالی به سال دیگر است. ضریب تغییر زمانی بارش ماهانه در هیچ ماهی کمتر از ۵۵ درصد نیست. این ضریب برای بارش‌های سالانه ۳۱ درصد محاسبه شد. سهم تابستان از بارش سالانه در کل بسیار ناچیز بوده و اعتبار و ثبات بارش‌های تابستانه بسیار کم است.

مواد و روش‌ها

بر اساس توصیه سازمان هواشناسی جهانی، بررسی آمارهای بلند مدت اقلیمی می‌تواند تغییرات و خصوصیات آن را تا حد زیادی نمایش دهد بنابراین، داده‌های بلندمدت دمای سالانه^۴ و مجموع بارش فصلی، سالانه ایستگاه هواشناسی سینوپتیک تهران طی دوره آماری ۵۵ ساله (۲۰۰۵-۱۹۵۱) از سایت اینترنتی سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. با استفاده از روش جرم مضاعف برخی از نواقص آماری سری‌ها بازسازی شد.

به منظور امکان استفاده از آزمون‌های پارامتریک و ناپارامتریک نمودارهای توزیع فراوانی داده‌ها همراه با نمودار منحنی نرمال ترسیم و مورد بررسی قرار گرفت. و انجام آزمونهای رتبه‌ای یا ناپارامتریک مناسب‌تر تشخیص داده شد.

برای اطلاع از همگنی و تصادفی بودن داده‌ها و احتمال وجود هر گونه روند در سری‌های زمانی از آزمون ناپارامتریک Run Test استفاده شد. سپس، نمودار پراکنش داده‌ها با متغیر زمان ترسیم گردید. از آنجا که رسم نمودارها به تنهایی نمی‌تواند نوع رابطه بین متغیرها را معین کند و معیاری عددی (ضریب همبستگی خطی) برای محاسبه قدرت رابطه لازم بود. از این‌رو، آزمون معنی‌دار ضرایب همبستگی به روش کندال تیوب انجام شد. علامت ضرایب همبستگی مذکور جهت رابطه و روند کمی سری را نشان می‌دهد. در ادامه، جهت شناخت رفتار خطی و ترسیم خط روند و محاسبه شیب آن از رگرسیون خطی بر اساس حداقل مربعات استفاده شد. نمودار توابع مختلفی به نمودار پراکنش متغیرهای دما و بارش برازش داده شد. از آنجا که معیار R-Square یا مربع ضریب همبستگی خطی با رابطه (۱) بیشترین مقدار را داشت، مدل Cubic (مدل درجه ۳) با معادله $y=b_0+b_1x^1+b_2x^2+b_3x^3$ برای کل سری داده‌ها پذیرفته شد و نمودار مدل مذکور بر روی نمودار پراکنش داده‌ها ترسیم گردید.

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} \quad \text{رابطه (۱)}$$

^۴ - میانگین، حداکثر، حداقل، حدافل دوره سرد «نوامبر-دسامبر-ژانویه-فوریه-مارس-آوریل» و دوره گرم «می-ژوئن-ژولای-اگوست-سپتامبر-اکتبر»، اختلاف بین ماکزیمم و مینیمم دما

اما از آنجا که رابطه متغیرها در نمودارهای پراکنش به شکل منحنی دیده می‌شد در این صورت برای بررسی این رابطه و جهت آن استفاده از ضریب همبستگی بین متغیرها و زمان معیار چندان مناسبی نبود (شرکت آمارپردازان، ۱۳۷۷: ۷۹). از این رو، از آزمون رتبه‌ای استفاده شد. این قبیل آزمون‌ها بسیار زیاد بوده و هر یک توانایی‌ها و ضعف‌های خاص خود را دارند. یکی از این آزمون‌ها جهت بررسی انحراف احتمالی و نوع و زمان تغییر در سری‌های اقلیمی دما و بارش به روش ناپارامتری من-کندال معروف است که در این مقاله نیز استفاده گردید.

این آزمون نیاز به توزیع فراوانی نرمال یا خطی بودن رفتار داده‌ها نداشته و در برابر مقادیر داده‌هایی که چولگی و کشیدگی زیاد دارند (بویژه داده‌های بارندگی) و داده‌هایی که از رفتار خطی انحراف چشم‌گیری دارند، بسیار قوی بوده و به منظور ارزیابی روند به‌کار می‌رود. مراحل اجرای آزمون به‌طور اختصار به شرح زیر است: ابتدا آزمون تصادفی بودن داده‌ها به روش من-کندال (پیشنهاد سازمان هواشناسی جهانی) نیز برای وجود یا عدم وجود هر گونه روند در داده‌ها انجام شد. برای انجام این آزمون ابتدا سری‌های آماری رتبه‌بندی می‌شوند و برای میزان تغییر یا روند از رابطه (۲) استفاده می‌شود.

$$T = \frac{4p}{n(n-1)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن T آماره من-کندال و n تعداد کل سؤالهای آماری و p حاصل جمع تعداد رتبه‌های بزرگتر از هر رده n_i که بعد از آن قرار دارد و از رابطه $p = \sum_{i=1}^n n_i$ به دست می‌آید. برای سنجش معنی دار بودن آماره T از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$(T)_i = \pm t g \sqrt{\frac{4n+10}{9n(n-1)}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

مقدار ناحیه بحرانی برای ۵۵ سال آمار ایستگاه مهرآباد تهران معادل ± 0.18 شد. اگر $(T)_i - 0.18 < T < 0.18 + (T)_i$ باشد، هیچگونه روند مهمی در سری‌ها مشاهده نمی‌شود و سری‌ها تصادفی هستند. همچنین اگر $(T)_i < T < -0.18$ یا $(T)_i > T > 0.18$ باشد، نشان دهنده روند منفی در سری و در صورتی که $(T)_i > T > 0.18$ یا $(T)_i < T < -0.18$ باشد روند مثبت در سری غالب خواهد بود. برای تعیین جهت روند، نوع و زمان تغییر نیاز به آزمون گرافیکی کندال می‌باشد. بدین منظور معمولاً از جدول ویژه‌ای استفاده می‌شود. به طوری که، ابتدا داده‌ها را رتبه‌بندی نموده و آماره t_i (نسبت رتبه i به رتبه‌های ماقبل)

محاسبه می‌شود، سپس، فراوانی تجمعی آماره t_i ($\sum t_i$) را به دست می‌آوریم. در ادامه، امید ریاضی، واریانس و شاخص من‌کندال بر اساس رابطه‌های زیر محاسبه می‌شوند.

$$E_i = \frac{n_i(n_i - 1)}{4} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$V_i = \frac{n_i(n_i - 1)(2n_i + 5)}{72} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$U_i = \frac{(\sum t_i - E_i)}{\sqrt{V_i}} \quad \text{رابطه (۶)}$$

زمانی مقادیر u معنی‌دار است که روند افزایشی یا کاهش‌ی در آن مشاهده شود و این بستگی دارد که مقدار آن به ترتیب از صفر بزرگتر یا کوچکتر ($u_i > 0$ یا $u_i < 0$) باشد. در روابط شماره ۵ و ۶ ترتیب زمانی داده‌ها می‌باشد. این شاخص دارای توزیع نرمال است، لذا جهت شناسایی معنی‌دار بودن از جدول منحنی نرمال استفاده می‌شود. برای بررسی تغییرات باید شاخص u_i نیز تعیین شود. مراحل محاسبه u_i بدین شرح است: داده‌ها را رتبه‌بندی نموده و آمار t_i (نسبت رتبه i به رتبه‌های ما بعد) را مشخص کرده و سپس فراوانی تجمعی t_i ($\sum t_i$) محاسبه می‌شود. امید ریاضی، و شاخص u_i به صورت فرمولهای زیر محاسبه می‌شوند:

$$E'_i = \frac{[N - (n_i - 1)](N - n_i)}{4} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$V'_i = \frac{[N - (n_i - 1)](N - n_i)[2(N - (n_i - 1))] + 5}{72} \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$U'_i = \frac{-(\sum t'_i - E'_i)}{\sqrt{V'_i}} \quad \text{رابطه (۹)}$$

در روابط شماره (۷ و ۸) N حجم نمونه آماری مورد مطالعه است (تورکش، ۲۰۰۲: ۳۶۷). از نقطه نظر آماری، زمان تغییر در یک سری زمانی جایی است که از آن به بعد توزیع آماری دیگری بر داده‌ها حاکم شود (ها و ها، ۲۰۰۶: ۶۰۸). محل تلاقی دو نمودار u و u' بیانگر نقطه چشم‌گیر تغییر و وجود روند می‌باشد به طوری که اگر خطوط مذکور در داخل محدوده بحرانی (± 1.96) همدیگر را قطع کنند، نشانه زمان آغاز تغییر ناگهانی در داده‌هاست و در صورتی که خارج از محدوده بحرانی همدیگر را قطع نمایند بیانگر وجود روند در سری زمانی است (سیورس، ۱۹۹۰:

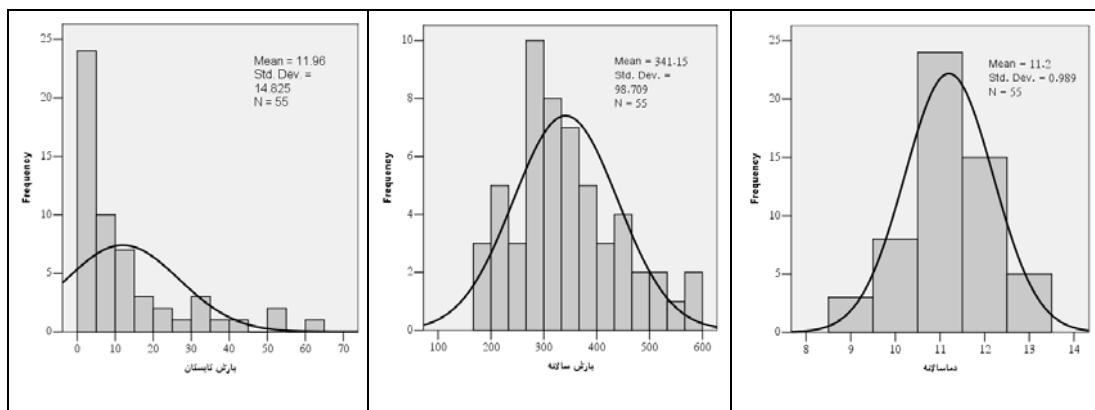
۸). رفتار U_i بعد از محل تلاقی وضعیت روند (کاهش یا افزایش) سری را نشان می‌دهد. عدم تلاقی دو شاخص معرف عدم وقوع تغییر در سری زمانی می‌باشد (تورکش و همکاران، ۲۰۰۲: ۹۵۰).

بحث و نتیجه‌گیری

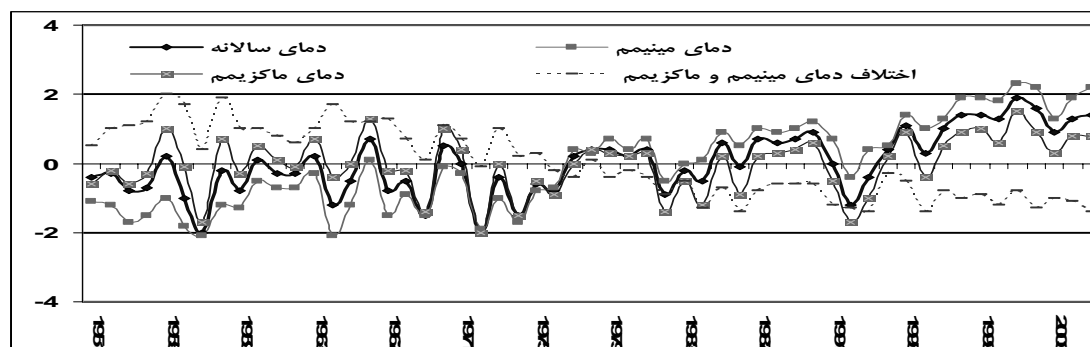
بطور کلی پس از ترسیم و بررسی بصری نمودارهای پراکنش و توزیع فراوانی داده‌های دما و بارش می‌توان چنین استنباط کرد که به استثنای داده‌های بارش فصل تابستان، نمودار بقیه سری‌ها تقریباً شبیه نمودار توزیع نرمال بود (شکل ۱). اما جهت حصول اطمینان، با انجام آزمون نیکویی برازش بر داده‌ها و بررسی سطح معنی‌داری آن، فرض صفر نرمال بودن داده‌ها برای بارش فصل تابستان و کل متغیرهای مربوط به عنصر دما و به تنهایی به شدت رد شد. جدول ۲ سطح معنی‌داری نتایج آزمون مذکور را نشان می‌دهد.

یکی از فرض‌های اساسی در اغلب پردازش‌های آماری تصادفی بودن مشاهدات است و انحراف از فرض تصادفی بودن می‌تواند به دلیل تغییر تدریجی خطی (روند افزایشی یا کاهش)، تغییر ناگهانی، وجود رفتارهای دوره‌ای و یا افزایش تغییرپذیری، نوسانات زمانی و برخی علل دیگر باشد (شهابفر و همکاران، ۱۳۸۲: ۷۹). نمودار تغییرات واریانس سری‌های زمانی مربوط به دما نیز نشان می‌دهد که دماهای متوسط، مینیمم و ماکزیمم سالانه روند افزایش را نشان می‌دهد. از طرفی اختلاف بین دمای مینیمم و ماکزیمم سالانه در طی دوره آماری مورد بررسی روند کاهش معنی‌داری را نشان می‌دهد (شکل ۲).

همچنان‌که از جدول ۲ پیداست، نتایج حاصل از آزمون همگنی داده‌ها حاکی از عدم همگنی در داده‌های بارش پاییز و کل متغیرهای مربوط به دما (به استثناء دمای حداکثر سالانه) است. به طوری‌که، با بررسی سطح معنی‌داری آزمون، فرض صفر (تصادفی بودن داده‌ها) به شدت رد شد و احتمال وجود روند در سری‌های مذکور قوت گرفت.

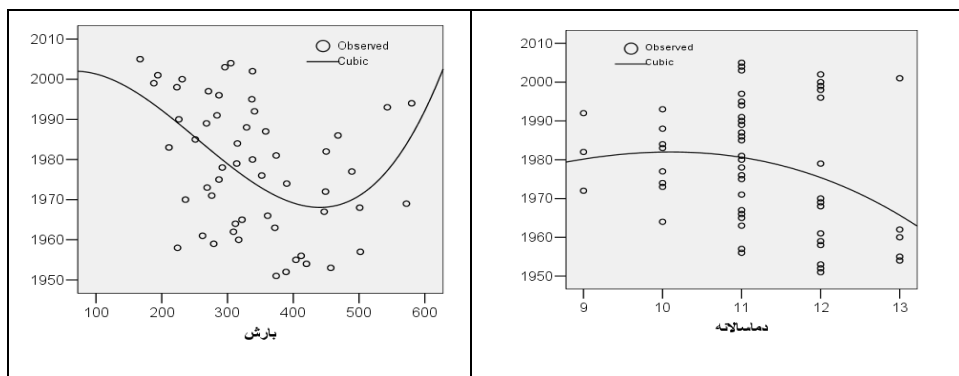


شکل ۱. نمودار توزیع فراوانی داده‌های دمای سالانه، بارش سالانه و بارش تابستان همراه با نمودار منحنی نرمال



شکل ۲. نمودار تغییرات واریانس داده‌های دمای متوسط، مینیمم و ماکزیمم ایستگاه مهرآباد تهران

اولین مرحله در بررسی رابطه میان دو متغیر رسم نمودار پراکنش یا نمودار تغییرات مقادیر این دو متغیر در ارتباط با یکدیگر است. از این رو، به منظور تحلیل همبستگی بین سری‌های اقلیمی با متغیر زمان، نمودار پراکنش داده‌ها بررسی گردید. نتایج بررسی بصری حاکی از آن بود که هیچ‌گونه رابطه خطی بین زوج‌های مرتب متغیر بارش و زمان وجود ندارد زیرا پراکندگی نقاط در نمودار پراکندگی بسیار زیاد بود و پیوند بین متغیرها با زمان بسیار ضعیف بود (شکل ۳).



شکل ۳. نمودار تغییرات مقادیر دما و بارش در ارتباط با زمان همراه با نمودار منحنی شکل معادله خطی درجه سوم

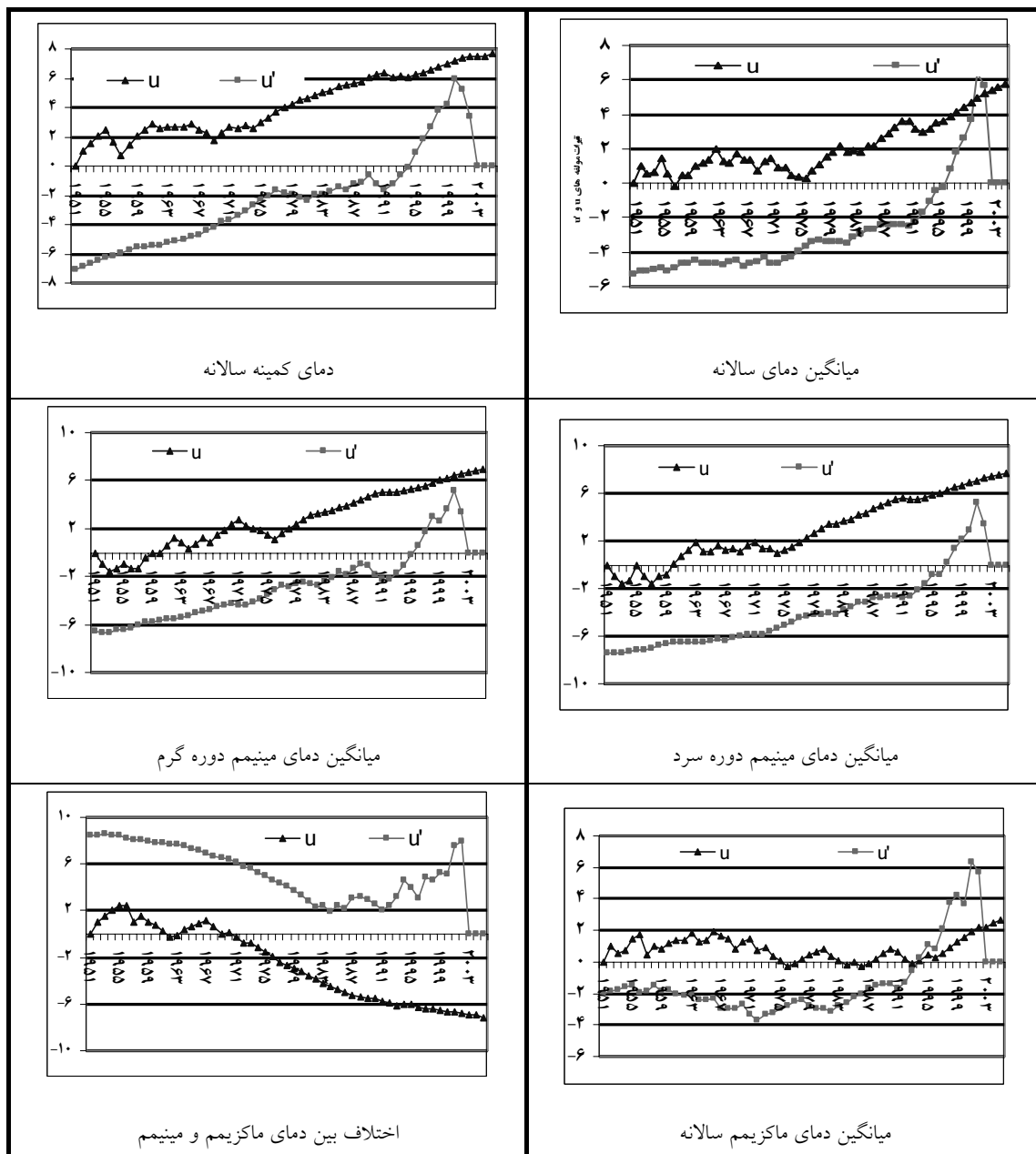
چنان که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، علامت ضرایب همبستگی کندال تیوب جهت رابطه و روند کمی سری را نشان می‌دهد. به‌طور کلی، اگر چه پیوند قوی بین متغیرها با زمان متصور نیست، اما با توجه به سطح معنی‌داری ضرایب آزمون همبستگی کندال تیوب، کل متغیرهای مربوط به دمای ایستگاه مهرآباد تهران طی ۵۵ سال اخیر روند افزایشی معنی‌داری را در سطح اطمینان ۰/۰۱ نشان می‌دهد. اگرچه در این بین، مقدار ضریب آزمون مذکور برای سری زمانی تفاوت دمای حداقل و حداکثر سالانه منفی و روند کاهشی آن نیز معنی‌دار می‌باشد. این امر نشان دهنده افزایش بیشتر دمای حداقل سالانه می‌باشد. نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های گرایش مرکزی بویژه میانگین-گیری از مؤلفه u بر روی سری‌های زمانی دما و بارش نیز حاکی از افزایش چشمگیر دمای متوسط، حداقل و حداکثر سالانه و کاهش زیاد اختلاف بین دمای حداقل و حداکثر سالانه می‌باشد. در ارتباط با بارش نیز بارش‌های زمستانه بیشتر شده، اما میزان بارش‌های بهاره و پاییز ایستگاه مذکور کاهش، نشان می‌دهد.

جدول ۲. نتایج آزمون معنی‌داری بر روی سری‌های زمانی دما و بارش ایستگاه مهرآباد تهران

معنی‌داری آزمون	دمای متوسط سالانه	دمای حداقل سالانه	دمای حداکثر دوره سرد	دمای حداقل دوره گرم	دمای حداکثر سالانه	اختلاف دمای حداقل و حداکثر	بارش سالانه	بارش زمستان	بارش بهار	بارش تابستان	بارش پاییز
نیکویی برازش	۰/۰۰۷	۰/۰۰۴	۰/۰۲۹	۰/۰۱۲	۰/۰۴۴	۰/۰۵۱	۰/۶۳۳	۰/۹۲۴	۰/۴۷۲	۰/۰۲۲	۰/۸۳
ران تست	۰/۰۰۴	۰	۰	۰	۰/۰۷۷	۰	۰/۸۹۰	۰/۸۹۰	۰/۸۹۴	۰/۸۹۰	۰/۰۴۱
همبستگی کندال تیوب	۰/۵۳۵	۰/۷۱۲	۰/۷۱۶	۰/۶۶۷	۰/۵۳۵	-۰/۶۶۲	۰/۸۴۱	۰/۳۵	۰/۰۰۵	۰/۱۳۳	۰/۰۸۳
سطح معنی‌داری	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۱۲۹	۰/۱۴۹	۰/۹۵۹	۰/۸۸۴	۰/۲۷۲
آماره t و آماره بحرانی (T) من-کندال	۱/۱	۱/۱	۱	۱/۱	۱/۱	۰/۳	۱/۳	۱/۷	۱/۷	۱/۷	۱/۵
میانگین مؤلفه u	۲/۲	۴/۳	۲	۲/۸	۰/۹	-۲/۷	۰/۳	۰/۷	-۰/۳	۰/۸	-۰/۴

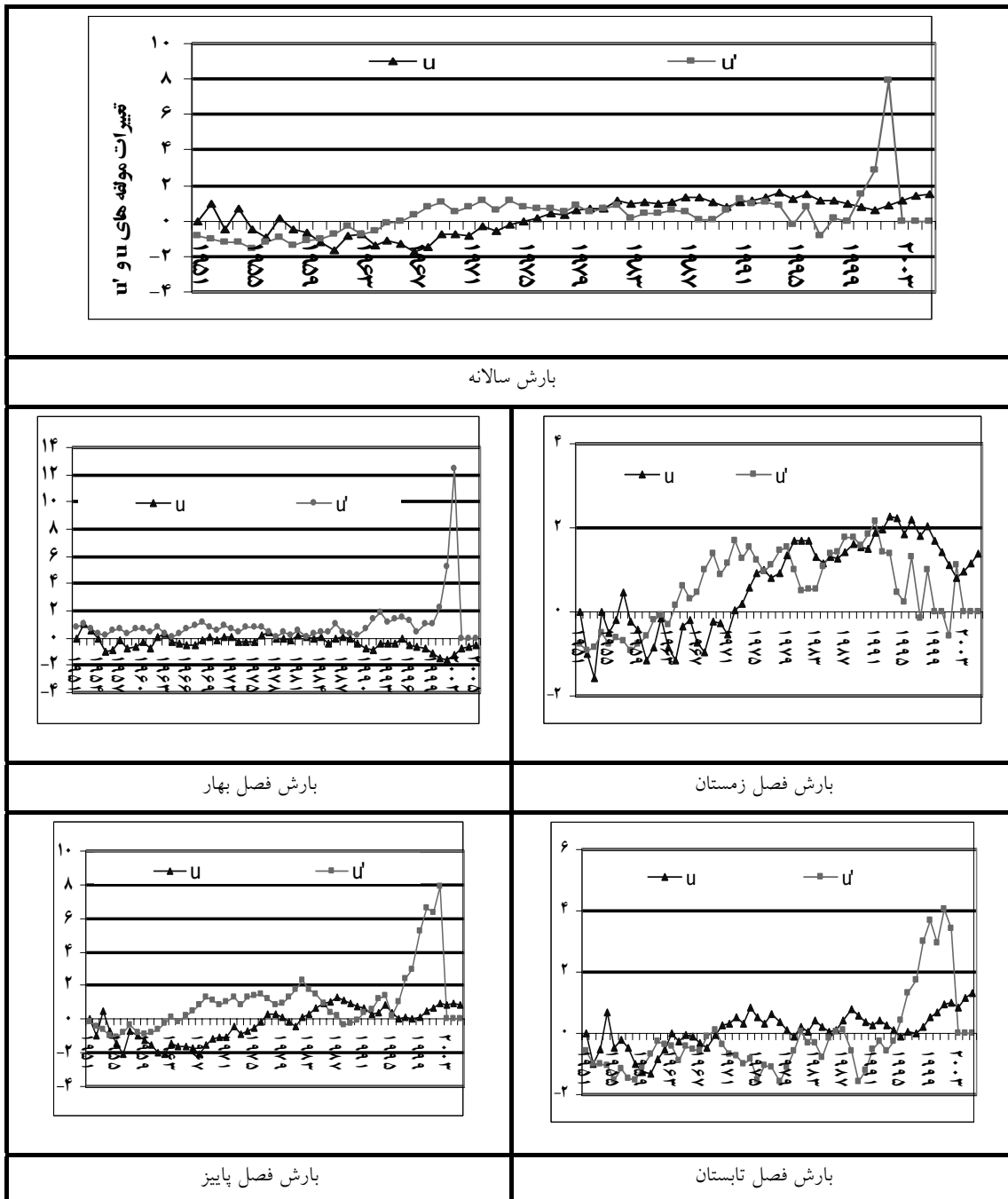
همچنان که از شکل ۴ پیداست، نمودارهای u و u' مربوط به دمای سالانه در داخل محدوده بحرانی (± 1.96) همدیگر را در سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۲ قطع کرده‌اند این وضعیت بیانگر آغاز تغییر ناگهانی در داده‌های دمای سالانه می‌باشد. به‌طوری‌که، دما نیز روندی افزایشی و معنادار پیدا کرده است. بررسی نمودارهای دمای مینیمم و ماکزیمم دوره‌های سرد و گرم سال نیز نشان می‌دهد که اگرچه دو منحنی مذکور هیچگونه تلاقی در طول زمان پیدا

نکرده‌اند، اما تغییراتی در سری زمانی مذکور اتفاق افتاده است که روند افزایشی مشخصی را نشان می‌دهد. این در حالی است که، نمودار دو مولفه u و u' دمای حداکثر سالانه در اوایل دهه ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ تلاقی پیدا کرده است. به-طوریکه محل تلاقی آنها برای سال ۲۰۰۲ در خارج از باند اطمینان مورد نظر است و یک تغییر چشمگیر آغاز شده و روند افزایشی معنی‌داری در این سری از مشاهدات قابل مشاهده است. در خصوص نمودار مؤلفه‌های مذکور برای اختلاف بین دمای حداقل و حداکثر سالانه می‌توان نتیجه‌گیری کرد که، این نمودار از سال ۱۹۷۷ به بعد روند نزولی معنی‌داری پیدا کرده است و تاکنون هم ادامه دارد.



شکل ۴. نمودارهای تغییرات مولفه u و u' عنصر دمای ایستگاه مهرآباد تهران

نتایج حاصل از بررسی نمودارهای تغییرات مؤلفه u و u' مربوط به عنصر بارش ایستگاه مهرآباد تهران نیز نشان می‌دهد که طی ۵۵ سال گذشته بیشتر تغییرات در مشاهدات بارش سالانه به صورت نوسان ظاهر شده است (شکل ۵).



شکل ۵. نمودارهای تغییرات مؤلفه u و u' عناصر اقلیمی مربوط به بارش ایستگاه مهرآباد تهران

چنانکه در شکل ۵ مشاهده می‌شود به استثنای وجود چند نقطه تغییر در سری‌های مذکور هیچگونه تغییر و روندی در این عناصر پیدا نیست و تغییرات مؤلفه u عمدتاً در داخل باند اطمینان می‌باشد. همچنانکه از نمودارهای

بارش زمستان پیداست، تغییر معنی‌داری در داده‌های مذکور مشاهده نمی‌شود و تغییر روندی بر بارش زمستان مشاهده نمی‌شود. نتایج حاصل از بررسی رفتار نمودارها U و U' مربوط به بارش فصل بهار نیز حاکی از وجود چندین تغییر ناگهانی بی‌معنی در سری زمانی مذکور می‌باشد. تغییرات ناگهانی به صورت نوسان دوره‌ای ظاهر شده است. در بین سری‌های مربوط به بارش بیشترین تغییرات ناگهانی در عنصر بارش فصل زمستان اتفاق افتاده است. اما، هیچکدام از تغییرات چشم‌گیر مذکور، معنی‌دار نمی‌باشد. در سری زمانی بارش بهار نیز چند نقطه تغییر ناگهانی بی‌معنی مشاهده می‌شود.

جمع بندی و پیشنهادات

به‌طور کلی پس از جمع‌آوری داده‌های مربوط به دما و بارش ایستگاه مهرآباد تهران، طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۵۱، آزمونهای مختلفی به منظور بررسی داده‌های مذکور انجام شد و برای بررسی احتمال وجود هر گونه تغییرات ناگهانی و روند معنی‌دار در مشاهدات عناصر اقلیمی مذکور روش آماری- گرافیکی من- کندال مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی‌ها مشخص کرد که عمدتاً دما در طی ۵۵ سال اخیر تغییر کرده است. این تغییر از نوع نوسانات کوتاه مدت اقلیمی و روند می‌باشد که در سری‌های مربوط به دمای سالانه و دماهای حداقل و حداکثر سالانه عمدتاً در اواخر دهه ۱۹۷۰ بیشتر مشهود است. در بررسی سری‌های زمانی مربوط به عنصر بارش چنین نتیجه‌گیری شد که، بیشتر تغییرات احتمالی از نوع نوسانات کوتاه مدت آب و هوایی و بدون روند معنی‌دار می‌باشد. تغییرات از نوع روند برای عنصر دمای سالانه، دماهای حداقل و حداکثر سالانه افزایشی و در جهت مثبت بوده است. در این بین، پدیده افزایش برای دمای سالانه و دماهای حداقل سالانه شدیدتر بوده است.

اما تغییرات سری‌های مربوط به بارش مستقل از سایر سری‌های زمانی عمل کرده و نوسانات پی‌درپی داشته است. بیشترین تغییرات ناگهانی در سری‌ها مربوط به بارش سالانه و فصلی بی‌معنی می‌باشد. از آنجا که تغییر اقلیم پدیده‌ای بسیار پیچیده است و نیاز به مطالعات جامعی دارد، پیشنهاد می‌شود به منظور برنامه‌ریزی و تصمیمات دقیق‌تر روش‌های آماری و مدل‌های مختلف دیگر بررسی تغییر اقلیم بر روی کلیه عناصر اقلیمی و در مقیاس منطقه‌ای انجام گردد.

فهرست منابع

۱. حجام، سهراب؛ خشخو، یونس؛ شمس‌الدین‌وندی، رضا (۱۳۸۷) تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه ایستگاه منتخب در حوزه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری؛ پژوهش‌های جغرافیایی: صص ۱۵۷-۱۶۸.
۲. رحیم‌زاده، فاطمه؛ خوشکام، محبوبه؛ عسگری، احمد (۱۳۸۳)، بررسی تغییرات سری‌های رطوبت در ایستگاه‌های سینوپتیک کشور؛ نیوار، شماره ۵۴-۵۵: صص ۱۹-۳۹.
۳. شرکت آمار پردازان (۱۳۸۳) راهنمای کاربران SPSS 6.0 for Windose، ج دوم؛ تهران: مرکز فرهنگی انتشاراتی حامی: صص ۵۳۳.
۴. شهابفر، علیرضا؛ محمدنیاقرائی، شهاب؛ جاودانی‌خلیفه، ناصر (۱۳۸۲) بررسی تغییرات زمانی روزهای یخبندان در مشهد؛ دانشگاه اصفهان: سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم: صص ۸۱-۷۴.
۵. عزیزی، قاسم؛ روشنی، محمود (۱۳۸۷) مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من- کندال؛ پژوهش‌های جغرافیایی: صص ۲۸-۱۳.
۶. عساکره، حسین (۱۳۸۳) تحلیلی آماری بر تغییرات میانگین سالانه دمای شهر زنجان طی دهه‌های اخیر؛ نیوار، شماره ۵۳-۵۲: صص ۳۰-۹.
۷. کاویانی، محمدرضا؛ عساکره، حسین (۱۳۸۲)، بررسی آماری روند بلند مدت بارش سالانه اصفهان؛ دانشگاه اصفهان: سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم: صص ۲۶۰-۲۵۱.
۸. کتیرایی بروجردی، پیام؛ حجام، سهراب؛ ایران‌نژاد، پریسا (۱۳۸۴) بررسی روند تغییرات بارندگی در ایران طی دوره ۱۹۶۰ الی ۲۰۰۱؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات: رساله دکتری هواشناسی.
9. Albert, p. Osetinsky, I. Ziv, B. & Safir, H., (2004), "Semi- objective Classification for Daily Synoptic Systems: Application to the Eastern Climate Change" *Int. J. Climatol*, 24: 1001-1011.
10. Clarke, T.S., (2003), "Regional Climate Change: Trend Analysis of Temperature and Precipitation Series at Canadian Sites", *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 48: 194-210.
11. Cortreal, J. Qian, B. & Xu, H., (1998), "Regional Climate Change in Portugal: Precipitation Variability Associa with Large- Scale Atmospheric Circulation" *Int. J. Climatol*, 18: 619- 635.
12. Dejongh , M.I. Verhoest, C.N., & Troch, D.F., (2006), " Analysis of a 105- Year Time Series of Precipitation Observed at Uccle, Belgium" *Int. J. Climatol*, 26: 2023-2039.
13. Dettinger, M.D. Cayan, D.R. Meyer, M. & Jeton A.E., (2004), "Simulated hydrologic responses to climate variations and change in the Merced, Carson, and American River basins, Sierra Nevada, California, 1900-2099." *Climate Change*, 62: 283-317.
14. Dracup, J.A. & Vicuna, S., (2005), "An Overview of Hydrology and Water Resources Studies on Climate Change: the California Experience." Proc. EWRI 2005: Impacts of Global Climate Change.
15. Englehart, J. P., (2003), "Urbanization and Seasonal Temperature Trends: Observational Evidence from a Data- Sparce Part of North America" *Int. J. Climatol*, 23:1253- 1263.
16. Ha, J.K. Park, S. & Kim, K., (2005), "On inter annual characteristics of Climate Prediction Center merged analysis precipitation over the Korean peninsula during the summer monsoon season". *International journal of climatology*, 25, 99-116.
17. Ha, J.K, Ha, E., (2006), "Climatic Change and Inter annual Fluctuation in the Long-term Record of Monthly Precipitation for Seoul" *Int. J. Climatol*, 26: 607-618.
18. Ho, C.Y.L.J. Hwan A.M., Sang L.H., (2003), "On A sudden change in summer rainfall characteristics in Korea during the late 1970s". *International journal of climatology*, 23, 117-128.
19. IPCC: (2001b), "Climate change 2001: The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental panel on Climate Change(IPCC)" *Houghton, J.T. Dinggs. Y. Noguier, M.P.J. Linden, V.X. Maskell, D.K. & Johnson, C.A., Cambridge University Press, Cambridge, UK.881.*
20. Keily, G., Albertson, J. D., Parlange, M.B., (1998), "Recent Trends in Diurnal variation of Precipitation at Valentia on the west coast of Ireland. *Journal of Hydrology. Vol. 207, No. 34: 270-279.*
21. Lettenmaier, D.P. Wood, E.F. & Wallis, J.R. (1994), "Hydro-climatological Trends in the Continental United States, 1948- 88." *Journal of Climate*, 7:586 607.
22. Marengo, J.A. & Camargo, C.C., (2008), "Surface air Temperature Trends in Southern Brazil for 1960-2002" *Int. Journal of Climatol*, 28: 893- 904.
23. Miro, J. J., Estrela, J.M., & Millan, M., (2006), " Summer Temperature Trends In A Mediterranean Area (Valencia Region)" *Int. Journal of Climatol*, 26: 1051- 1073.

24. North, G.R., & Kim, K.Y., (1995), "Detection of Forced Climate Signals" Part II: Simulation results", *Journal of Climate*, 6: 409-417.
25. Onoz, B., & Bayazit, M., (2003), "The Power of Statistical Tests for Trend Detection" *Turkish J. Eng. Env. Sci.* 27: 247-251.
26. Overland, J. M., Percival, B. D., & Mofjeld, O. H., (2006) "Shortb Communication Change in the Arctic Influence on Bering sea Climate During the Twentieth Century" *Int. Journal of Climatol*, 26: 531- 539.
27. Panol, T.J. & Lloret, F., (1998), "Climatic warning hazard and wildfire occurrence in coastal eastern Spain" *Climate Change*, 38: 345-357.
28. Piccarreta, M., Capolongo, D. & Boenzi, F., (2004), "Trend Analysis of Precipitation and Drought in Basilicata from 1923 to 2000 within Southern Italy Context". *International journal of climatology*, 24, 907-922.
29. Roy, S.S. & Jr, B.R., (2004), "Trends in Extreme Daily Precipitation Indices in India" *Int. Journal of Climatol*, 24: 457-466.
30. Ryoo, B.S., Kwon, T.W. & Jhun, G.J., (2004), "Characteristics of Wintertime Daily and Extreme Minimum Temperature Over South Korea" *Int. Journal of Climatol*, 24: 145-160.
31. Seleshi, Y. & Zanke, U., (2004), "Resent Changes in Rainfall and Rainy Days in Ethiopia" *Int. Journal of Climatol*, 24: 973-983.
32. Serrano, A. Mateos, V.L. & Garcia, J.A., (1999), "Trend Analysis of Monthly Precipitation Over the Iberian Peninsula for the Period 1921-1995" *phys. Chem. EARTH (B)*, 24: 85-90.
33. Sueyers, R., (1990), "On the Statistical Analysis of Series of Observation" *WMO*, 415: 2-15.
34. Takeuchi, Z.X.Xu.K. & Ishidiara, H., (2003), "Monitoring Trend Step Changes in Precipitation in Japanese Precipitation" *Journal of hydrology*. 279: 144-150.
35. Turgay, P. & Ercan, K. (2005), "Trend Analysis in Turkish Precipitation data", Hydrological processes published online in Wiley Inter science (www. Inter science. Wiley.com).
36. Turkes, M., (1999), "Vulnerability of Turkey to desertification with respect to precipitation and aridity condition" *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science* 23: 363-380.
37. Turkes, M. Sumer, U.M. & Demir, I., (2002), "Re- Evaluation of Trends and Changes in mean. Maximum and Minimum Temperatures of Turkey for the Period 1929-1999" *Int. Journal of Climatol*, 22:947-977.
38. WMO, (1966), "climate change" *Tech Note No 79 WMO Geneva 1996*.
39. Wulfmeyer, V. & Muller, H. I., (2006), "The Climate Station of the University of Hohenheim: Analyses of air Temperature and Precipitation time Series Since 1878" *Int. Journal of Climatol*, 26: 113 – 138.
40. Zweirs, W.F. & Storch, V.H., (2004), "On the of Static's in Climate Research" *Int. Journal of Climatol*, 24: 665- 680. ■