

آشکارسازی روند تغییرات دما و بارش سالانه و فصلی تهران طی دوره ۱۹۸۴-۲۰۱۴

نگین بینش^{۱*}، محمدحسین نیک سخن^۲، امین سارنگ^۳

۱- دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست - منابع آب، دانشگاه تهران

۲- دانشیار دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

۳- استادیار دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۰۹، تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۱/۲۹)

چکیده

فرایند تغییر اقلیم، به ویژه تغییر دو کمیت مهم دما و بارندگی از مهمترین مباحث مطرح در علوم محیطی است. هدف از این پژوهش، بررسی تغییرات دما و بارش ایستگاه هواشناسی همدید (سینوپتیک) تهران (مهرآباد) و مطالعه انحراف احتمالی آن از حالت نرمال می‌باشد. بدین منظور، پس از گردآوری داده‌های ماهانه بارش و دما و بررسی کیفیت و همگنی آن‌ها، با استفاده از آزمون‌های رگرسیون و من-کندال گرافیکی به بررسی روند فصلی و سالانه تغییر اقلیم استان تهران پرداخته شده و بدین منظور از آمار ایستگاه هواشناسی فرودگاه مهرآباد استفاده شده است. سپس ناهنجاری‌های دما و بارش متوسط سالانه نیز محاسبه شده و از طریق برآورد میانگین متحرک، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که طی سه دهه اخیر، روند افزایشی ناچیز و غیرمعناداری بر دمای تهران حاکم بوده و تغییرات دما با شیب ملایمی صورت گرفته است. دما در دهه اول از دوره مورد بررسی، کمتر از میانگین بلند مدت آن بوده، اما در دو دهه اخیر، در مجموع، دما بیشتر از میانگین بلندمدت (نرمال) آن بوده است. در رابطه با متغیر بارش، هیچ‌گونه روند معناداری در دوره مورد بررسی مشاهده نشد و می‌توان گفت که اکثر تغییرات بارش تهران طی سه دهه اخیر، به صورت نوسان ظاهر شده است.

کلمات کلیدی: دما، بارش، روند، ناهنجاری، شهر تهران

مقدمه

نتایج پژوهش‌های صورت گرفته پیشین نشان از افزایش دما در نقاط مختلف جهان دارد، در حالی‌که در رابطه با پیش‌بینی بارش نمی‌توان به یک نتیجه واحد دست یافت، چرا که با توجه به متفاوت بودن جزئیات مدل‌های موجود برای پیش‌بینی‌های اقلیمی و بسته به سناریوی در نظر گرفته شده برای انتشار گازهای گلخانه‌ای، نتایج متفاوتی به لحاظ پیش‌بینی وضع بارش در مناطق مختلف- به ویژه در عرض‌های میانی و حاره‌ای- ارائه شده است (WMO, 1997). از طرفی روند تغییرات دما و بارش، در سراسر جهان یک سو نیست. تغییر اقلیم الزاماً به معنای تغییر توأم دما و بارش نمی‌باشد (Clarke, 2003).

از جمله پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه می‌توان به مطالعه وانگ و همکاران اشاره کرد. نتایج پژوهش‌های آن‌ها نشان داد که روندی افزایشی در ناپایداری‌ها و نوسانات بارندگی طی نیمه دوم قرن بیستم در غرب چین وجود داشته؛

گرمایش جهانی در چند دهه اخیر در مقیاسی وسیع، منجر به تغییر در چرخه آب شده است که از جمله پیامدهای آن تغییر در الگوی بارش و شدت و حد نهایی آن، کاهش پوشش برف و در سطح وسیع ذوب یخ‌ها و تغییر در رطوبت خاک و میزان رواناب را می‌توان نام برد. از آنجا که اقلیم یکی از مهمترین اجزای اکوسیستم محسوب می‌شود، تغییرات هر چند ناچیز آن می‌تواند اجزای مختلف اکوسیستم را به درجات مختلف تحت تأثیر خود قرار دهد. به همین جهت بررسی تغییرات پارامترهای مختلف اقلیمی، علل و تأثیر آن بر اکوسیستم و ابعاد مختلف حیات بشر، از مواردی است که در بخش‌های مختلف کشاورزی، منابع طبیعی و مدیریت اراضی جایگاه ویژه داشته و مدل‌سازی‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (کوثری و همکاران، ۱۳۸۷).

می‌شود. به علاوه نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که روند تغییر دمای کمینه و بیشینه افزایشی است و در اغلب زیرحوضه‌ها، تغییرات مذکور به صورت معنادار دیده می‌شود. آنها در نهایت نشان دادند که افزایش دمای حوضه دریاچه نمک را می‌توان معلول عوامل مختلفی چون افزایش گازهای گلخانه‌ای، به ویژه در شهرهای بزرگی مانند تهران، قم، اراک، کاشان، همدان و قزوین دانست (ابطحی و همکاران، ۱۳۹۳).

طبق گزارش IPCC، در دهه‌های اخیر اقلیم جهانی از وضعیت تعادل خود خارج شده است که موجب گردیده تا میانگین دمای کره زمین، تمایل به روند افزایشی نشان دهد. بر اساس این گزارش، زمین طی قرن بیستم ۰/۶ درجه سلسیوس گرم‌تر شده و بر اساس برآورد تجمع گازهای گلخانه‌ای، افزایش دمایی معادل ۱ تا ۳/۵ درجه سلسیوس تا آغاز قرن ۲۲ پیش‌بینی می‌شود (IPCC, 2001). گرم شدن زمین تا پایان قرن ۲۱، بیش از آنچه طی ۱۰۰۰۰ سال گذشته رخ داده است، خواهد بود (کارآموز و عراقی نژاد، ۱۳۸۴).

با توجه به مطالب فوق، واضح است که بررسی تغییرات دما و بارش شهر تهران به منظور برنامه‌ریزی‌های بلندمدت در بخش‌های مختلف، جایگاه ویژه‌ای دارد و شناخت رفتار سری‌های زمانی دما و بارش و آشکارسازی نقاط تغییر و جهش ناگهانی در آن‌ها از اهمیت بسیاری برخوردار است. روش‌های آماری متنوعی برای تشخیص و کمی‌سازی این گونه روندها در سری‌های زمانی متغیرهای اقلیمی پیشنهاد شده که به طور کلی به دو دسته روش‌های پارامتری و ناپارامتری تقسیم می‌شوند. تفاوت اصلی روش‌های مذکور آن است که در روش‌های ناپارامتری، در رابطه با داده‌های مورد بررسی، نیاز به پیروی از یک توزیع خاص نیست. همچنین این روش‌ها در مقایسه با روش‌های پارامتری، به مقادیر حدی و داده‌های پرت زمانی مورد مطالعه حساسیت کمتری نشان می‌دهند (Xu, et al., 2003). از جمله پرکاربردترین روش‌های ناپارامتری، آزمون من-کندال است (Wang et al., 2011). با این حال، اگر چه روش‌های

در حالی که بخش شرقی چین، از چنین روندی برخوردار نبوده است (Wang et al, 2004). در ایران نیز بر اساس نتایج طرح آشکارسازی تغییر اقلیم، در اکثر ایستگاه‌های کشور، روندی رو به افزایش برای کمیّت دما مشاهده شده است (Rahimzadeh et al., 2003). خسروی و همکاران تغییرات دمای ایستگاه مشهد را در یک دوره ۱۱۳ ساله با استفاده از مدل رگرسیون نمایی مورد ارزیابی قرار دادند و دریافتند که روند افزایش دمای مشهد همبستگی معناداری با تغییرات دمای کره زمین دارد. این پژوهشگران، افزایش قابل توجه دما را نسبت به میانگین بلندمدت ایستگاه مشهد از سال ۱۹۹۰ به بعد، نشانه‌ای از مطابقت تغییر اقلیم بر اساس سناریوی منطقه‌ای IPCC برای منطقه جنوب غربی آسیا قلمداد کردند (Khosravi et al., 2003). کاویانی و عساکره در تحلیل روند بلندمدت بارش سالانه اصفهان، عدم وجود روند را در دوره ۱۰۳ ساله برای بارش اصفهان اثبات کردند (Kavyani and Asakareh, 2005). دلجو و همکاران (۲۰۱۳) تغییرات متغیرهایی نظیر دمای خشک، دمای بیشینه و کمینه، بارش و تعداد روزهای بارانی و برفی را در مقیاس سالانه برای حوضه دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که در ۴۰ سال گذشته، بارش حدود ۹ درصد کاهش و دما حدود ۰/۸ درجه سلسیوس افزایش یافته و دوره‌های خشکسالی حوضه در دهه اخیر، با شدت بیشتری به وقوع پیوسته است (Delju et al., 2013). همچنین ابطحی و همکاران (۱۳۹۳) روند دما و بارش در حوضه دریاچه نمک کاشان را طی نیم سده گذشته با استفاده از آزمون‌های رگرسیون خطی و من-کندال مورد بحث و بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که به جز در زیرحوضه اراک که روند تغییر بارش آن کاهش و معنا دار بود، در مجموع روند معناداری در بارش استاندارد شده حوضه دریاچه نمک و سایر زیر حوضه‌های آن وجود نداشته است. همچنین بررسی بارش ماهانه نشان داد که در زیر حوضه‌های اراک، رود شور و کرج، خشکسالی‌های شدید در دوره ۵۰ ساله مورد بررسی (۱۹۵۶-۲۰۰۵) مشاهده

ضریب تغییر زمانی بارش ماهانه در هیچ ماهی کمتر از ۵۵ درصد نیست. این ضریب برای بارش‌های سالانه ۳۱ درصد محاسبه شده است. سهم تابستان در بارش سالانه در کل بسیار ناچیز بوده و اعتبار و ثبات بارش‌های تابستانه بسیار کم است (حجازی زاده و پروین، ۱۳۸۸).

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، داده‌های ماهانه دما و بارش از ایستگاه همدید مهرآباد واقع در شهر تهران، طی ۳۱ سال اخیر (۲۰۱۴-۱۹۸۴) از سازمان هواشناسی کشور اخذ شده و با توجه به آن میانگین دمای سالانه و فصلی و نیز مجموع بارش سالانه و بارش‌های فصلی محاسبه شده است. همگنی داده‌ها توسط آزمون Run-Test مورد سنجش قرار گرفت و در مورد داده‌های مفقود مربوط به تعدادی از سال‌های آماری، با استفاده از روش نسبت‌ها (داده‌های بارش) و تفاضل‌ها (داده‌های دما) به بازسازی داده‌ها اقدام شد. در ادامه برای شناخت رفتار خطی و ترسیم خط روند و محاسبه شیب آن، از رگرسیون خطی بر اساس کمینه مربعات استفاده شد. همچنین آزمون من-کندال گرافیکی برای بررسی انحراف احتمالی و نوع و زمان تغییر در سری‌های اقلیمی دما و بارش مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که در این مطالعه، سطح معنی‌داری در آزمون‌ها ۵ و ۱۰ درصد در نظر گرفته شده است. جدول ۱ مشخصات ایستگاه همدید مهرآباد، و شکل ۱ موقعیت این ایستگاه هواشناسی را در استان تهران نشان می‌دهد.

ناپارامتری وجود روند در سری‌های زمانی را مشخص می‌کنند اما قادر به کمی‌سازی مقدار تغییرات آن‌ها نیستند (فرخ نیا و مرید، ۱۳۹۳)، که بدین منظور می‌توان از روش‌های پارامتری مانند شیب رگرسیون خطی نیز در کنار روش‌های ناپارامتری استفاده کرد.

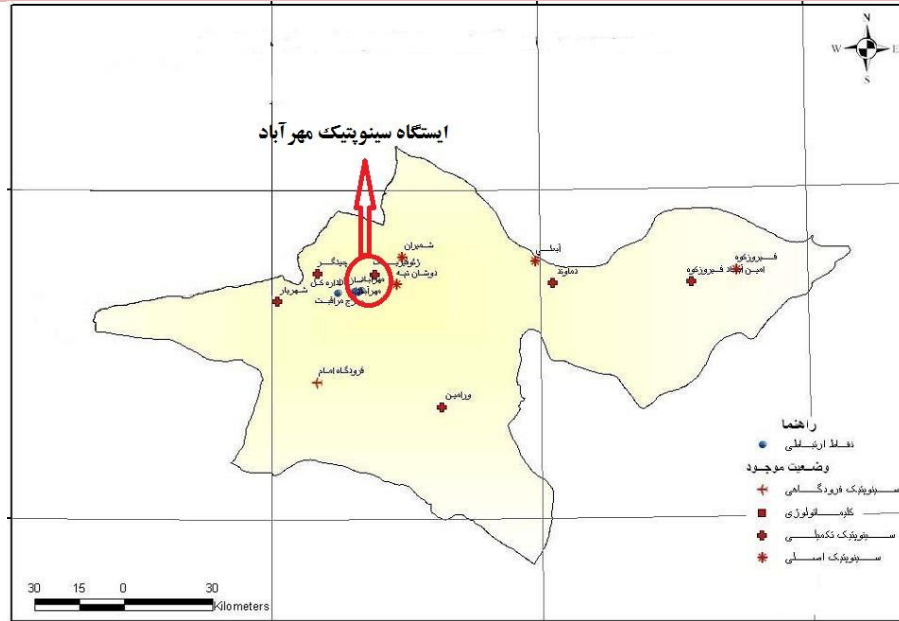
بر این اساس در این مطالعه، به تحلیل روند و شناسایی نقاط جهش و تغییر در داده‌های بارش و دمای سالانه و فصلی تهران طی سه دهه اخیر پرداخته شده است و بدین منظور از دو آزمون گرافیکی من-کندال و رگرسیون خطی استفاده می‌شود. همچنین ناهنجاری‌های دما و بارش سالانه مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است تا بتوان به صورت دقیق‌تری به نتیجه‌گیری پرداخت.

منطقه مورد مطالعه

شهر تهران طبق سرشماری سال ۱۳۸۵، با ۷۰۸۸۲۸۷ نفر جمعیت، پرجمعیت‌ترین شهر ایران محسوب می‌شود. از نظر تقسیمات کلی اقلیمی و خصوصیات آب و هوایی، منطقه مذکور جزء ناحیه اقلیمی نیمه خشک محسوب می‌شود و از حدود تیر ماه تا شهریور ماه، تقریباً خشک و در سایر ماه‌های سال، مرطوب است. میانگین بارش سالانه، طی دوره ۵۵ ساله (۲۰۰۵-۱۹۵۱)، ۳۳۳ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۷/۲ درجه سلسیوس است. بخش مهمی از بارش‌های جوی این منطقه، طی ماه‌های دی تا خرداد رخ می‌دهد. ویژگی عمده بارش‌های ماهانه تهران، بی‌ثباتی آن از سالی به سال دیگر است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه هواشناسی مهرآباد

ارتفاع از سطح دریا (m)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نام ایستگاه همدید
۱۱۹۱	۳۵°۴۱'	۵۱°۱۹'	ایستگاه مهرآباد



شکل ۱- موقعیت ایستگاه هواشناسی همدید مهرآباد در استان تهران (مأخذ: اداره تحقیقات اقلیمی و هواشناسی کاربردی استان تهران، ۱۳۹۰)

معرفی آزمون گرافیکی من-کندال

آزمون من-کندال یکی از متداول‌ترین روش‌های ناپارامتری تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به شمار می‌رود. این آزمون ابتدا توسط من^۱ در سال ۱۹۴۵ ارائه و سپس توسط کندال^۲ در سال ۱۹۴۸ توسعه یافت (خلیلی و بذرافشان، ۱۳۸۳؛ Serrano et al., 1999). از جمله مزایای این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره کرد. از دیگر نقاط قوت این روش، اثرپذیری ناچیز آن از مقادیر حدی است که در برخی سری‌های زمانی مشاهده می‌شود (حجم و همکاران، ۱۳۸۷، ص ۱۵۷-۱۶۸). فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و رد فرض صفر (پذیرش فرض یک) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد (معروفی و طبری، ۱۳۹۰، ص ۱۳۲).

محاسبه ناهنجاری‌های دما و بارش سالانه، با استفاده از روابط زیر صورت گرفت. آنومالی (ناهنجاری) به معنای میزان تغییرات سالانه یک پارامتر اقلیمی از مقدار نرمال آن است (عربی یزدی و همکاران، ۱۳۹۲) که برای دو کمیت دما و بارش سالانه با استفاده از روابط (۱) و (۲) محاسبه شد:

$$P_a = \frac{(P - \bar{P})}{\bar{P}} \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن P_a درصد آنومالی متغیر مربوطه، P مقدار سالانه آن، و \bar{P} میانگین بلندمدت متغیر مورد نظر، n طول دوره آماری، و $i = 1, 2, \dots, n$ است (Gibbs and Maher, 1967).

در ادامه، آزمون من-کندال به اختصار معرفی می‌شود. از توضیح آزمون رگرسیون خطی به دلیل سادگی آن صرف‌نظر شده است.

1- Mann

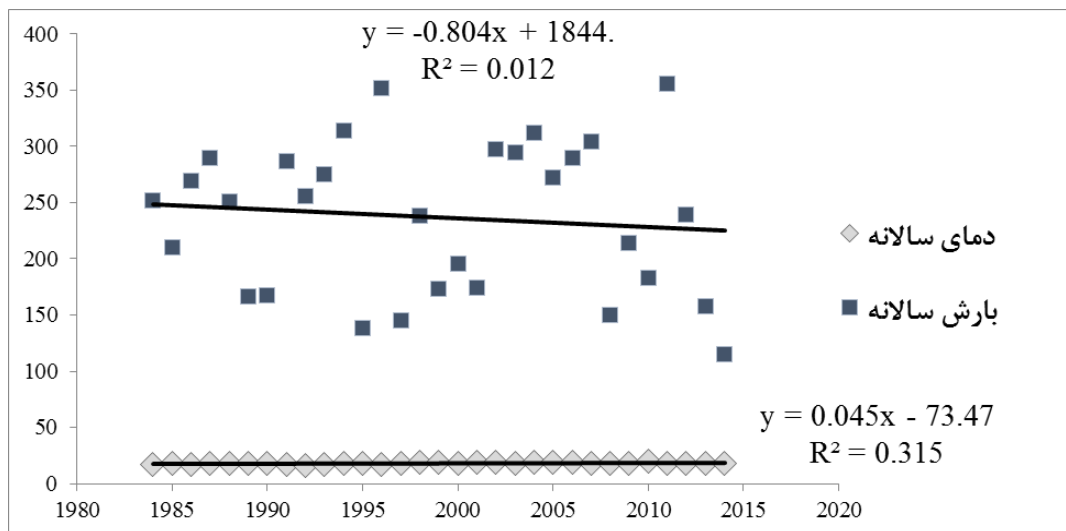
2- Kendall

و یا با چند بار برخورد، به طوریکه به تغییر جهت آنها منجر نشود، حرکت می‌کنند (خوشحال دستجردی و قوبدل رحیمی، ۱۳۸۷، ص ۲۱-۳۸).

نتایج و بحث

در شکل ۲ روند تغییرات دما و بارش سالانه بر اساس آزمون رگرسیون خطی مورد بررسی قرار گرفته است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، داده‌های بارش نسبت به داده‌های دمای سالانه دارای همبستگی کمتری بوده و پراکندگی بیشتری را نشان می‌دهد. نتایج آزمون رگرسیون خطی بیانگر آن است که میانگین دمای سالانه تهران طی سه دهه اخیر با شیب اندکی رو به افزایش بوده است؛ در حالیکه مجموع بارش سالانه، کاهش روند را طی این سال‌ها نشان می‌دهد. جداول ۲ و ۳ نتایج آزمون رگرسیون خطی را برای سری‌های زمانی دما و بارش فصلی و سالانه ارائه می‌دهند.

در این روش، دو عامل U_i و U'_i محاسبه و جهت بررسی روند، در کنار یکدیگر ترسیم می‌شود تا با توجه به موقعیت آن‌ها نسبت به یکدیگر، بتوان معناداری یا بی‌معنی بودن روند را مشخص کرد. در صورتی که مقادیر آن‌ها از دو مقدار عددی آستانه $\pm 1/96$ (در سطح احتمال ۵ درصد) یا $\pm 1/64$ (در سطح احتمال ۱۰ درصد) تجاوز کند، روند معنی‌دار بوده و در صورتی که میان این دو آستانه قرار گیرند، روند غیر معنادار است. در شرایطی که دو خط U_i و U'_i یکدیگر را قطع کنند، نقطه تقاطع، نقطه جهش محسوب می‌شود، که اگر پس از این جهش، دو خط مذکور در داخل یک حریم و محدوده باشند، جهش معنادار نخواهد بود، اما چنانچه از حریم یکدیگر تجاوز کرده و محدوده را کلاً یا موقتاً ترک کنند، جهش معنادار خواهد بود. همچنین در صورت معناداری روند، معمولاً دو نمودار در نقطه آغازین یکدیگر را قطع و در جهات مخالف یکدیگر حرکت می‌کنند. در حالیکه در شرایط عدم وجود روند، دو دنباله U_i و U'_i تقریباً به صورت موازی حرکت کرده



شکل ۲- رگرسیون خطی برازش داده شده از میان داده‌های دما و بارش سالانه تهران طی دوره (۱۹۸۴-۲۰۱۴)

جدول ۲- نتایج آزمون رگرسیون خطی برای دمای فصلی و سالانه تهران طی دوره (۱۹۸۴-۲۰۱۴)

دمای سالانه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
۰/۰۴۶	۰/۰۸۷	۰/۰۴۶	۰/۰۲۸	۰/۰۱۹

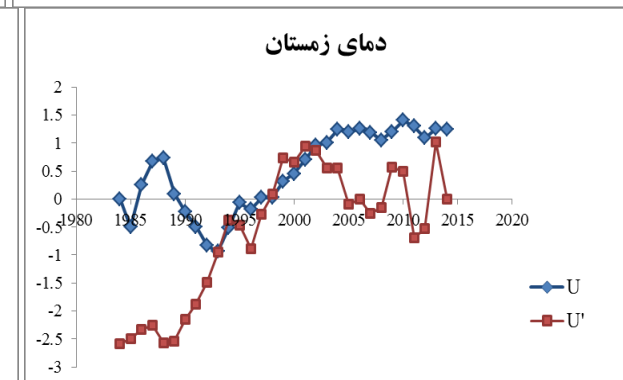
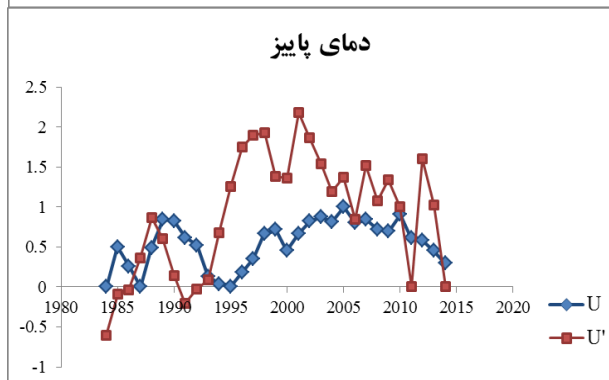
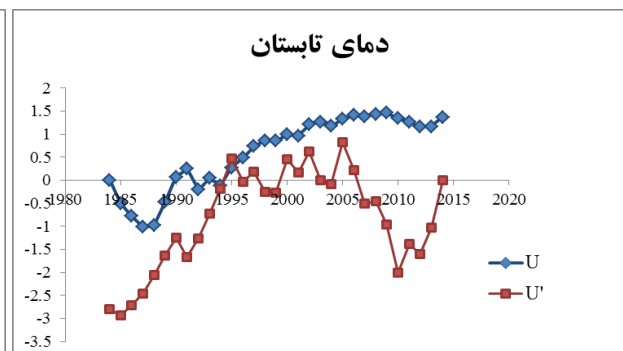
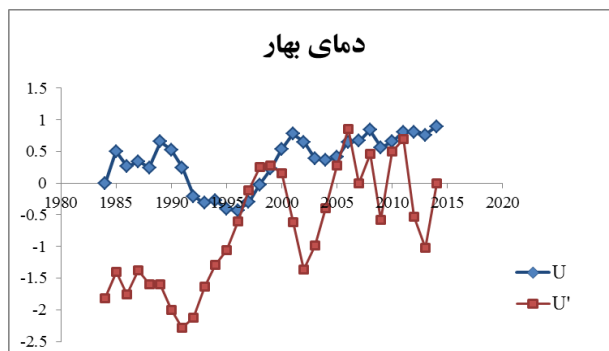
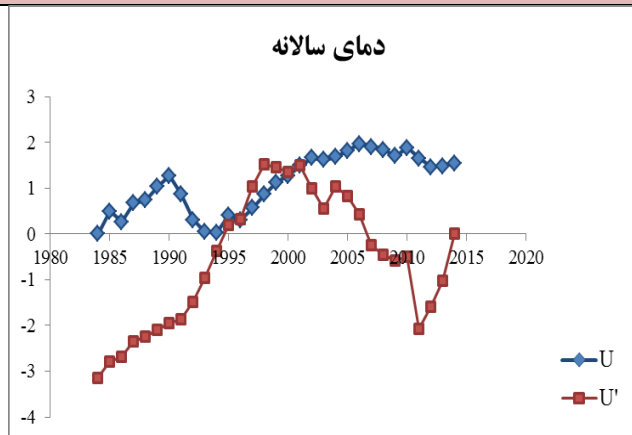
جدول ۳- نتایج آزمون رگرسیون خطی برای بارش فصلی و سالانه تهران طی دوره (۱۹۸۴-۲۰۱۴)

بارش سالانه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
-۰/۸	-۰/۳۷	۰/۰۱۶	۰/۰۳۳	۰/۰۵۳

دمای سالانه، تنها دو جهش در سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۰۰ صورت گرفته است. شکل ۳ نشان می‌دهد که از سال ۱۹۸۴ تا ۱۹۹۰، دما روندی رو به افزایش داشته، سپس با همان سرعت، رو به کاهش گذاشته و با جهش رخ داده در سال ۱۹۹۵ مجدداً تغییری در روند دمای سالانه ایجاد شده که سبب افزایش آن تا حدود سال ۲۰۰۷ گردیده و پس از آن دما با نوسانات کوچکی روند کاهشی با شیبی ملایم در پیش گرفته است. سری زمانی دمای فصل بهار با چندین جهش مواجه بوده است که اغلب آنها معنادار نمی‌باشد. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که این تغییرات از محدوده بحرانی خارج نشده و روندی غیر معنادار طی شده است، و تنها تغییرات رخ داده به صورت نوسان بوده است. در فصل تابستان از سال ۱۹۸۴ تا ۱۹۸۷ روند دما کاهشی بوده، اما پس از آن می‌توان گفت که روند دما تا انتهای دوره در مجموع رو به افزایش بوده است. در این فصل تنها یک جهش غیر معنادار در داده‌های دمای سالانه اتفاق افتاده است. سری زمانی فصل پاییز در ابتدای دوره دارای نوسانات متعدد بوده، اما از حدود سال ۲۰۰۵ به بعد، روندی رو به کاهش (و غیر معنادار) را طی کرده است. در فصل زمستان نیز دو جهش در دهه ۱۹۹۰ رخ داده که سبب افزایش دما تا انتهای دوره مورد بررسی گردیده است.

همان‌طور که در جداول ۲ و ۳ مشاهده می‌شود، بر اساس آزمون رگرسیون خطی، هیچ یک از سری‌های زمانی سالانه و فصلی دما و بارش، دارای روند معنادار نمی‌باشد، چرا که شیب خط رگرسیون برازش داده شده بسیار ملایم و اندک است. در این جداول مشاهده می‌شود که دمای تمام فصول و نیز دمای سالانه طی سه دهه اخیر روند مثبت و رو به افزایشی داشته است. در مورد بارش نیز سری زمانی بارش سالانه و نیز بارش فصل زمستان روند کاهشی داشته، حال آنکه بارش در فصول بهار، تابستان و پاییز تغییرات مثبتی را نشان می‌دهند، هر چند این تغییرات معنادار نمی‌باشد. در ادامه برای بررسی دقیق‌تر روند و نیز مشخص کردن نقاط جهش و تغییر ناگهانی در سری‌های زمانی دما و بارش سالانه از آزمون گرافیکی من-کندال استفاده شده است.

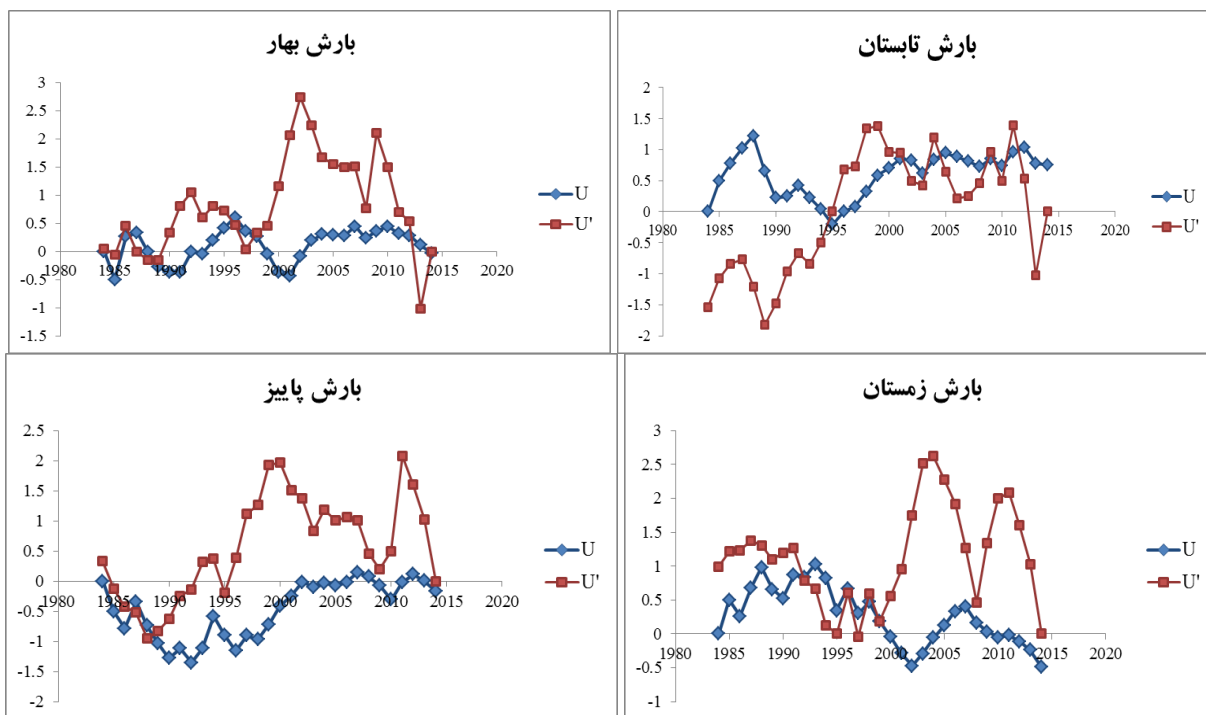
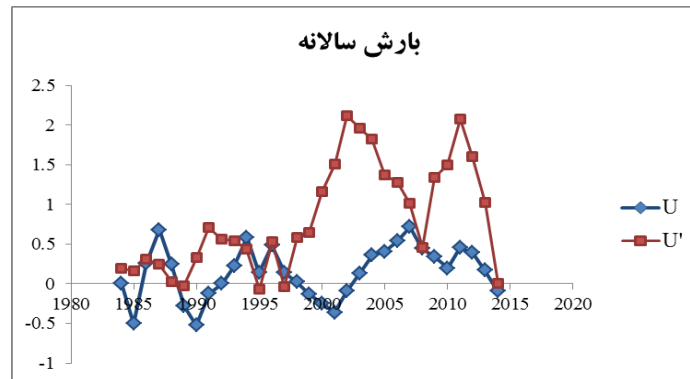
شکل ۳ نمودار من-کندال دمای سالانه و فصلی ایستگاه مهرآباد تهران را طی دوره (۱۹۸۴-۲۰۱۴) نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، دمای هیچ یک از فصول در هیچ یک از سطوح ۵ و ۱۰ درصد معنی‌دار نیست. دمای سالانه نیز در اکثر سال‌های دوره مورد بررسی معنادار نبوده و تنها در فاصله سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۱، روند مثبت معناداری را در سطح اطمینان ۵ درصد نشان می‌دهد. در داده‌های مربوط به میانگین



شکل ۳- نمودار من-کندال دمای فصلی و سالانه تهران طی دوره (۱۹۸۴-۲۰۱۴)

فصول سال نیز روند معناداری در بارش سه دهه اخیر اتفاق نیفتاده و نمودارهای U از محدوده بحرانی خارج نشده است. در فصول بهار و تابستان، مانند سری زمانی بارش سالانه، اکثر تغییرات به شکل نوسان بوده است. بارش فصل زمستان، در سال‌های اخیر، رو به کاهش بوده و بارش فصل پاییز در دو دهه اخیر روند افزایشی غیر معناداری را داشته است.

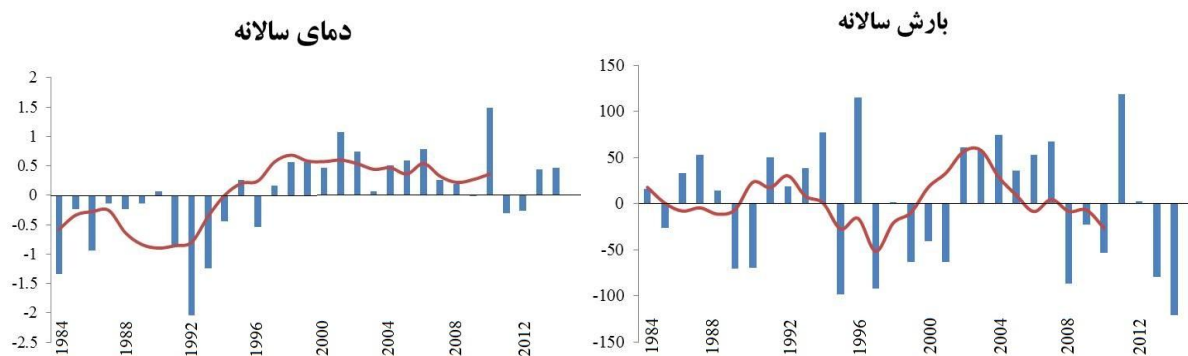
در شکل ۴ نمودار من-کندال بارش فصلی و سالانه تهران طی دوره (۱۹۸۴-۲۰۱۴) نشان داده شده است. مطابق این شکل، بارش سالانه در هیچ یک از سطوح احتمال ۵ و ۱۰ درصد دارای روند معنادار نبوده و نمودار U کاملاً در داخل محدوده بحرانی قرار گرفته است. هیچ‌گونه روند افزایشی یا کاهش در سری زمانی بارش سالانه در دوره مورد بررسی مشاهده نمی‌شود و تمام تغییرات در محدوده قابل نوسان رخ داده است. در تمام



شکل ۴- نمودار من-کندال بارش فصلی و سالانه تهران طی دوره (۱۹۸۴-۲۰۱۴)

سالانه از میانگین بلندمدت منطقه است. در رابطه با بارش سالانه، انحراف از مقدار بارش نرمال (میانگین بلند مدت) با نوسانات بیشتری نسبت به دما همراه بوده است، به طوریکه حدود ۵ بار تغییر علامت ناهنجاری‌های مجموع بارش سالانه از منفی به مثبت و به عکس مشاهده می‌شود. این مسأله بیانگر آن است که طی سه دهه اخیر، دمای سالانه از ثبات و پایداری بیشتری نسبت به بارش سالانه برخوردار بوده است.

شکل ۵ ناهنجاری‌های دما و بارش سالانه تهران را طی دوره ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۴ نشان می‌دهد. به منظور تفسیر بهتر نتایج، نمودار متحرک آنومالی‌ها نیز رسم شده است. شکل ۵ نشان می‌دهند که میانگین دمای سالانه در دهه ابتدایی (سال‌های ۱۹۸۴ تا ۱۹۹۴) کمتر از میانگین بلند مدت یا مقدار نرمال دمای تهران بوده است. اما از آن به بعد، آنومالی‌های دما از منفی به مثبت تغییر علامت داده و به جز چند مورد استثنائی، در اغلب موارد آنومالی مثبت وجود داشته که نشانگر افزایش دمای



شکل ۵- ناهنجاری‌های دما و بارش سالانه تهران به همراه میانگین متحرک آن‌ها طی دوره (۱۹۸۴-۲۰۱۴)

نتیجه‌گیری

در این مطالعه تغییرات دما و بارش تهران طی سه دهه اخیر توسط روش‌ها و آزمون‌های رگرسیون خطی و من-کندال مورد بحث و بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در مجموع روندی مثبت و اغلب غیرمعنادار در سری زمانی دمای تهران طی این دوره وجود داشته است. سری زمان بارش سالانه تهران، طی این سه دهه با نوسانات زیادی همراه بوده و در مجموع می‌توان گفت که شیبی ملایم و رو به کاهش داشته است؛ هر چند این تغییرات روند معنی‌داری را ایجاد نمی‌کند. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که دمای تابستان و زمستان تهران طی سال‌های اخیر در مجموع رو به افزایش بوده، اما دمای پاییز در چند سال اخیر روند کاهشی داشته است. در بهار تغییرات دما اغلب به شکل نوسان بروز کرده و در هیچ یک از فصول سال، روند تغییرات دما معنادار نبوده است. در سال‌های اخیر، بارش فصل زمستان رو به کاهش بوده و بارش فصل پاییز در دو دهه اخیر روند افزایشی غیر معناداری را داشته است. در سایر فصول سال نیز بارش تهران فاقد روند بوده و تنها به صورت نوسان ظاهر شده است. ناهنجاری‌های بارش سالانه نیز بر نوسانات بارش طی سه دهه مورد بررسی صحنه می‌گذارد و ناهنجاری‌های دمای سالانه نیز نشانگر آن است که از دهه ۱۹۹۰ دما به طور قابل ملاحظه‌ای از میانگین بلندمدت آن بیشتر شده که با نتایج حاصل از تغییر اقلیم بر اساس سناریوی منطقه‌ای IPCC برای منطقه جنوب غربی آسیا نیز منطبق است.

منابع

- ۱- ابطحی، سید مرتضی؛ سیف، عبد...؛ و خسروشاهی، محمد؛ ۱۳۹۳، فصل‌نامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۲۱؛ شماره ۱، ص. ۱-۱۲.
- ۲- اداره تحقیقات اقلیمی و هواشناسی کاربردی استان تهران (گزارش سالانه)، ۱۳۹۰، ماهنامه هواشناسی اداره کل هواشناسی استان تهران.
- ۳- حجازی زاده، ز. و پروین، ن.، ۱۳۸۸، بررسی تغییرات دما و بارش تهران طی نیم قرن اخیر، جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای (پیش‌شماره پاییز و زمستان)، ص ۴۳-۵۶.
- ۴- حجام، س.، خوشخو، ی.، و شمس‌الدین وندی، ر.، ۱۳۸۷، تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در خوزه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری، پژوهش‌های جغرافیایی، جلد ۴۰، شماره ۶۴، ص ۱۵۷-۱۶۸.
- ۵- خلیلی، ع.، و بذرافشان، ج.، ۱۳۸۳، تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های سالانه، فصلی، و ماهانه پنج ایستگاه قدیمی ایران در یکصد و شانزده سال گذشته، بیابان، جلد ۹، شماره ۱، ص ۲۵-۳۳.

- Bulletin No. 48, Commonwealth of Australia, Melbourne.
- 15- IPCC, 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), Houghton, J.T. Dinggs. Y. Noguer, M.P.J. Linden, V.X. Maskell, D.K. & Johnson, C.A., Cambridge University Press, Cambridge, UK.881.
- 16- Kavyani, M. and Asakareh, H., 2005, Statistical investigation of long trend of annual rainfall in Esfahan, research magazine of Esfahan University (Humanism), 18:143-162. (In Persian)
- 17- Khosravi, M., Javdani Khalifeh, N. and Mohammadnia Gharaei, S., 2003, Investigation of coincidence temperature time series in Mashad with fluctuation of earth temperature, Collection of articles in the third national conference of climate change, Esfahan. (In Persian)
- 18- Rahimzadeh, F., Asgari, A. and Nouhi, K., 2003, The theory on difference in rate of increase of maximum and minimum temperature and decrease of diurnal temperature range (DTR) in Iran. 3rd Regional Conference and 1st national institute of climate change. (In Persian)
- 19- Serrano, A., Mateos, V.L., and Garcia, J.A., 1999, Trend Analysis of Monthly Precipitation Over the Iberian Peninsula for the Period 1921-1995. Phys. Chem. EARTH (B), 24 (1-2): 85-90.
- 20- Wang, S.W., Zhu J.H., and Cai, J.N., 2004, Interdecadal variability of temperature and precipitation in China since 1880. Advanced Atmospheric Science. 21: 307-313.
- 21- Wang, W., Shao, Q., Peng, S., Zhang, Z., Xing, W., An, G., and Yong, B., 2011, "Spatial and temporal characteristics of changes in precipitation during 1957-2007 in the Haihe River basin, China." Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 25(7): 881-895.
- 22- WMO, 1997, Progress Reports to CCL on Statistical Methods. WCDMP-No. 32. WMO /TD. No. 834.
- 23- Xu, Z. X., Takeuchi, K., and Ishidaira, H., 2003, Monotonic trend and step changes in Japanese precipitation. J. of Hydrology, 279(1-4): 144-150.
- ۶- خوشحال دستجردی، ج.، و قویدل رحیمی، ی.، ۱۳۸۷، کاربرد آزمون ناپارامتری من-کندال در برآورد تغییرات دمایی (مطالعه موردی: اصفهان)، فصلنامه فضای جغرافیایی، سال هشتم، شماره ۲۲، ص ۲۱-۳۸.
- ۷- عربی یزدی، اعظم؛ ثنایی نژاد، سید حسین؛ و بنایان، محمد؛ ۱۳۹۲، برآورد آنومالی بارش و دمای سالانه در شمال شرق ایران و تأثیر آن بر عملکرد محصول گندم دیم؛ نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۴، جلد ۷، ص ۵۵۴-۵۵۸.
- ۸- فرخ نیا، ا.؛ و مرید، س.، ۱۳۹۳، ارزیابی اثر تغییرات بارش و دما بر روند جریان رودخانه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه، مجله آب و فاضلاب، شماره ۳، ص ۸۶-۹۷.
- ۹- کارآموز، م.، و عراقی نژاد، س.، ۱۳۸۴، هیدرولوژی پیشرفته، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
- ۱۰- کوثری، م.ر.؛ اختصاصی، م.ر.؛ تازه، م.؛ صارمی نائینی، م.ع. ۱۳۸۷، بررسی روند تغییرات بارش، دما، و رطوبت نسبی در ۲۶ ایستگاه سینوپتیک کشور، پژوهش و سازندگی، دوره ۲۱، شماره ویژه نامه (منابع طبیعی)، ص ۱۹۶-۲۰۷.
- ۱۱- معروفی، ص. و طبری، ح.، ۱۳۹۰، آشکارسازی روند تغییرات دبی رودخانه مارون با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری، مجله تحقیقات جغرافیایی، شماره ۱۰۱، ص ۱۲۵-۱۴۶.
- 12- 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.
- 13- Delju, A. H., Ceylan, A., Piguët, E., and Rebetz, M., 2013, Observed climate variability and change in Urmia Lake Basin, Iran. Theoretical and Applied Climatology, 111: 285-296.
- 14- Gibbs, W.J. and Maher. J.V., 1967, Rainfall declines as drought indicators. Bureau of Meteorology