

بررسی وضعیت همگنی و شکست سری زمانی مقادیر بارش و دما در محدوده تعدادی از شهرهای کشور

ابوالفضل مساعدی*، استاد دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد
غزاله کواکبی، دانشجوی دوره دکتری هواشناسی کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
سمانه محمدی مقدم، دانشجوی دوره دکتری علوم و مهندسی مرتع داری دانشگاه محقق اردبیلی
سیده زهرا عدنانی، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه فردوسی مشهد
*تلفن نویسنده اصلی: ۰۵۱۳۳۸۸۰۴۷۵۰، شماره: ۰۵۱۳۳۸۷۸۸۸۰۵، پست الکترونیکی: mosaedi@um.ac.ir

چکیده

در این تحقیق جهت بررسی وضعیت همگنی و شکست سری زمانی مقادیر بارش و دما در محدوده چند شهر با وضعیت آب و هوایی متفاوت در مناطق مختلف کشور، هشت ایستگاه سینوپتیک اصفهان، اهواز، بابلسر، تبریز، تهران، خرم آباد، زاهدان و مشهد مورد بررسی قرار گرفت. دوره آماری شامل سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۴ می‌باشد که به دو دوره سی و دو ساله تقسیم شد. وضعیت همگنی و شکست سری زمانی مقادیر بارش و دما در هر یک از شهرها در سه دوره زمانی شامل: کل دوره، نیمه اول و نیمه دوم مورد بررسی قرار گرفت. به منظور آشکارسازی تغییر در مقادیر بارش و متوسط دما از آزمون من ویتنی و به منظور بررسی روند از آزمون من-کندال، استفاده شد. به منظور بررسی وضعیت شکست و پیوستگی در داده‌ها از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. نتایج آزمون‌ها نشان می‌دهند میانگین دمای سالانه در تمامی شهرهای مورد بررسی جز اصفهان دارای نقطه شکست می‌باشد. ضمن آن که دما در همه شهرهای مورد بررسی، به جز خرم آباد دارای روند افزایشی می‌باشد. اما بارش در مقیاس سالانه، در تبریز و زاهدان دارای روند منفی می‌باشد و در سایر شهرها تغییر معنی‌داری را نشان نداده است.

کلید واژه‌ها: همگنی داده‌ها، نقطه شکست، روند، دما، بارش، ایران

۱- مقدمه

افزایش گازهای گلخانه‌ای و تغییر شرایط اقلیمی یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های بین‌المللی شناخته شده است. اگر چه نظریه‌های متفاوتی در این مورد وجود دارد، اما به‌طور کلی پذیرفته شده است که زمین در حال گرم شدن و احیانا شرایط آب و هوایی در حال تغییر است. عواملی مانند بالا آمدن سطح آب دریاها، افزایش درجه حرارت کره زمین و تغییرات زیست محیطی وقوع این پدیده را تایید می‌کنند [1]. دما و بارش دو پارامتر مهم آب و هوایی هستند و به دلیل تأثیر فوری که در شرایط آب و هوایی و بخش‌های مختلف اجتماعی، اقتصادی و محیطی دارند، بیش از سایر عوامل در تعیین اقلیم و مطالعات تغییر اقلیم مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج اکثر تحقیقات انجام شده در زمینه تغییرات اقلیمی حاکی از این است که دما در حال افزایش است، اما در مورد بارندگی نتایج متفاوت می‌باشد. به گونه‌ای که در برخی مناطق کاهش بارندگی، در برخی از مناطق افزایش بارندگی و در مناطقی دیگر تغییر ناچیز در مقدار بارندگی سالانه، گزارش شده است [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. علاوه بر این، تغییر در دما و بارندگی، تغییر در سایر عوامل آب و هوایی و پدیده‌های مربوط به آن‌ها را باعث می‌شود. از این رو، تغییر این عوامل باعث تغییر در شرایط اکوسیستم‌ها و جوامع و در نتیجه ایجاد تغییر و چالش در قابلیت‌های هر منطقه می‌شود [11, 12, 13, 14, 15, 16].

نتایج پژوهش پیرنیا و همکاران [17] نشان می‌دهد که تغییرات میانگین پنج دوره‌ی ده ساله نسبت به میانگین دراز مدت و رابطه کلی تغییرات دما و بارندگی در سه ایستگاه رامسر، بابلسر و گرگان به گونه‌ای است که بطور کلی با کاهش دما، شاهد کاهش بارندگی و با افزایش دما شاهد افزایش بارندگی هستیم. انصاری و همکاران [18] هم در مطالعه خود نشان دادند که در یک دوره ۲۰ آماری ساله، بارش منطقه دارای روندی نزولی، دما دارای روندی صعودی، و دبی رودخانه طی این دوره آماری دارای روندی کاهشی است. صالحی و همکاران [19] به منظور پیش بینی تغییرات دما و بارش در دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و دهه ۲۰۵۰ (۶۰۴۶-۲۰۶۵) در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نشان دادند که بارش ۸ درصد کاهش و دما ۳ درجه سلیسیوس افزایش خواهد داشت. ژاکوب و والد [20] هم با بررسی وقایع حدی دما و بارش ۵۸ ایستگاه در استرالیا در یک دوره ۱۰۰ ساله به این نتیجه رسیدند که وقایع حدی ذکر شده تحت تاثیر تغییرات درازمدت اقلیمی و نوسانات کوتاه مدت آب و هوایی قرار دارند. گالاگر و لوند [21] هم به منظور تعیین نقطه تغییر در متوسط دمای سالانه در آمریکا داده‌های دما از سال ۱۸۹۵ تا ۲۰۱۱ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که نقطه آغاز تغییر در داده‌های دما، سال ۱۹۹۷ می‌باشد که دما قبل و بعد آن در سطح ۹۵ درصد دارای ناهمگنی می‌باشد.

با توجه به موارد ذکر شده به نظر می‌رسد که دما و بارش طی چند دهه اخیر در نقاط مختلف کره زمین دچار تغییراتی شده باشد. از این رو، هدف از انجام این پژوهش، بررسی وضعیت همگنی و شکست در مقادیر دما و بارش در محدوده هشت ایستگاه سینوپتیک کشور در طی یک دوره آماری ۶۴ ساله می‌باشد.

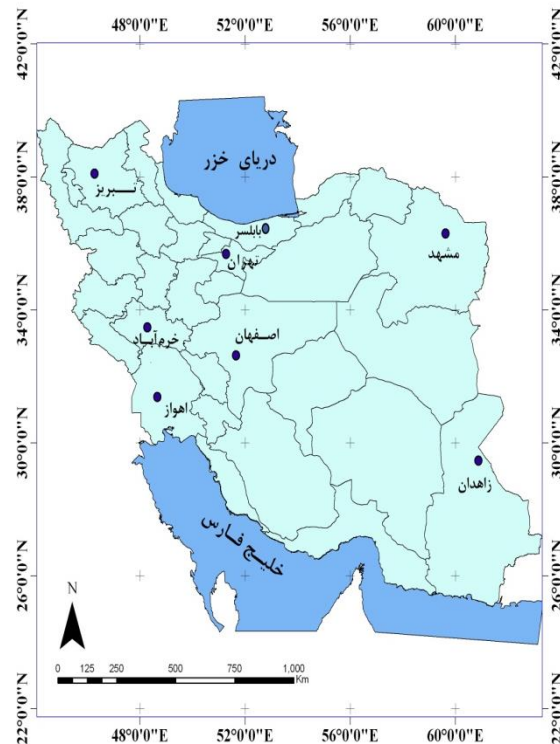
۲- مواد و روش‌ها

معرفی مناطق مورد مطالعه

کشور ایران با مساحتی حدود ۱۶۴۵۰۰۰ کیلومتر مربع، تقریباً بین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۴ درجه طول شرقی قرار گرفته است. به علت پانزده درجه اختلاف عرض جغرافیایی که بین جنوبی‌ترین و شمالی‌ترین مناطق آن وجود دارد و اختلاف ارتفاع چند هزار متری بین جلگه‌های پست هم تراز دریا تا نواحی مرتفع و کوهستانی، این کشور دارای شرایط آب و هوایی و اقلیم‌های مختلف می‌باشد. در این مطالعه وضعیت تغییرات دما و بارش در محدوده هشت ایستگاه سینوپتیک اصفهان، اهواز، بابلسر، تبریز، تهران، خرم‌آباد، زاهدان و مشهد که در موقعیت‌های مختلف جغرافیایی و آب و هوایی کشور واقع شده‌اند، در دو بازه زمانی مورد بررسی قرار گرفته است. برخی از ویژگی‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در کشور در شکل ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. مناطق مورد مطالعه و برخی ویژگی‌های جغرافیایی و آب و هوایی آن‌ها

شماره ردیف	نام شهر	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)	متوسط بارندگی سالانه (mm)	متوسط درجه حرارت سالانه (°C)
۱	اصفهان	۵۱° ۴۰'	۳۲° ۳۷'	۱۵۵۰/۴۰	۱۲۲/۹۴	۱۶/۲۱
۲	اهواز	۴۸° ۴۰'	۳۱° ۲۰'	۲۲/۵۰	۲۲۳/۶۰	۲۶/۱۶
۳	بابلسر	۵۲° ۳۹'	۳۶° ۴۳'	-۲۱/۰۰	۸۹۴/۷۸	۱۶/۹۵
۴	تبریز	۴۶° ۱۷'	۳۸° ۰۵'	۱۳۶۱/۰۰	۲۸۹/۳۰	۱۲/۰۷
۵	تهران	۵۱° ۱۹'	۳۵° ۴۱'	۱۱۹۰/۸۰	۲۳۳/۹۱	۱۷/۲۷
۶	خرم‌آباد	۴۸° ۱۷'	۳۳° ۲۶'	۱۱۴۷/۸۰	۵۱۱/۰۶	۱۷/۲۱
۷	زاهدان	۶۰° ۵۳'	۲۹° ۲۸'	۱۳۷۰/۰۰	۸۹/۲۶	۱۸/۶۶
۸	مشهد	۵۹° ۳۸'	۳۶° ۱۶'	۹۹۹/۲۰	۲۵۳/۴۰	۱۴/۰۲



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در کشور

داده‌های مورد بررسی

مقادیر بارندگی و دماهای حداقل، حداکثر و متوسط ماهانه طی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۴ (دوره ۶۴ ساله) در مورد ایستگاه‌های سینوپتیک شهرهای ذکر شده از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. در ابتدا بررسی اولیه داده‌ها به منظور اطمینان از عدم وجود داده پرت و یا نقص آماری در بین آن‌ها صورت گرفت. پس از آن، دوره آماری ۶۴ ساله، به دو دوره مساوی هر یک شامل ۳۲ سال تقسیم شد. نیمه اول یا دوره شماره ۱، شامل سال‌های: ۱۹۵۱-۱۹۸۲ و نیمه دوم یا دوره شماره ۲، شامل سال‌های: ۲۰۱۴-۱۹۸۳ می‌باشند. در هر یک از دوره‌ها، داده‌ها در ۲۰ پیروود زمانی مختلف تقسیم‌بندی شدند. این پیروودهای زمانی شامل موارد زیر می‌باشند: سالانه، ماهانه (شامل هر یک از ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می، جون، جولای، اگوست، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر)، فصلی (شامل هر یک از فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان) و فصل زراعی (شامل هر یک از دوره‌های آوریل الی سپتامبر، اکتبر الی مارس و اکتبر الی جون). پس از آن وضعیت همگنی و روند در مورد هر یک از این پیروودها در این دوره‌ها تعیین شد.

آزمون‌های همگنی، شکست و روند

به‌منظور آشکارسازی تغییر در مقادیر بارش و متوسط دما (حداقل، حداکثر و میانگین) از آزمون من‌ویتنی استفاده شد [22]. آزمون رتبه‌ای دو نمونه‌ای را می‌توان برای مساوی بودن میانگین‌های دو جمعیت با استفاده از آزمون من‌ویتنی انجام داد که فرض‌ها به‌صورت H_0 : فرض مساوی بودن میانگین‌ها در مقابل H_1 : فرض نامساوی بودن میانگین‌ها می‌باشد. از مفروضات آزمون من‌ویتنی این است که داده‌ها، نمونه‌های تصادفی مستقل از دو جمعیت با واریانس یکسان هستند و مقیاس داده‌ها به‌صورت پیوسته است یا اگر به‌صورت گسسته باشد، دارای ترتیب طبیعی است. سپس همگنی داده‌ها بر

اساس آزمون من-وینتی در مورد هر یک از این بیست پریرود زمانی بر اساس مقایسه نیمه اول (۱۹۸۲-۱۹۵۱) با نیمه دوم (۱۹۸۳-۲۰۱۴) و همچنین نیمه دوم با کل دوره، در سه سطح اطمینان ۹۰٪، ۹۵٪ و ۹۹٪ مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی روند از آزمون من-کندال استفاده شد [23]. بر این اساس وضعیت روند در مقادیر بارندگی و دمای سالانه در طول دوره آماری مورد بررسی قرار گرفت. از مزیت‌های روش مذکور این است که مناسب سری زمانی داده‌هایی است که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند. در این روش فرض صفر مبنی بر عدم وجود روند و فرض یک به معنای وجود روند معنی‌دار در سری داده‌ها است. مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر است

۱- محاسبه اختلاف بین تک تک جملات سری با همدیگر و اعمال تابع علامت (sgn) و استخراج پارامتر S رابطه:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

N: تعداد جملات سری یا همان تعداد مشاهدات سری، X_j داده jام سری، X_k داده kام سری،

۲- محاسبه تابع sgn

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (X_j - X_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (X_j - X_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (X_j - X_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

بنابراین، تمامی مقادیر به دست آمده از تابع علامت (sgn) یا ۰ یا ۱- است. برای محاسبه واریانس به مقدار t نیاز است. مقدار t بیانگر تعداد تکرار داده‌ها در سری یا فراوانی داده‌های با ارزش یکسان است. چون شرط $n > 10$ برقرار است، بنابراین، از رابطه زیر برای محاسبه واریانس استفاده می‌شود:

$$\text{var}(S) = \frac{n(n-1) - \sum_{i=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (3)$$

n: تعداد داده‌های مشاهده‌ای؛ m: تعداد سری‌هایی که در آن‌ها دست کم یک داده تکراری وجود دارد؛ t: فراوانی داده‌هایی با ارزش یکسان.

۳- استخراج آماره Z

$$Z = \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} \quad (4)$$

S همان تابع علامت (sgn) است که محاسبه شده است.

۴- تحلیل روند

در یک آزمون دو دامنه $(\frac{\alpha}{2})$ برای روند یابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه $|Z| \leq Z_{\frac{\alpha}{2}}$ برقرار باشد. در سطح اطمینان ۹۵ درصد، $Z = 1/96$ و در سطح اطمینان ۹۹ درصد، $Z = 2/54$ در نظر گرفته می‌شود. به طور کلی، اگر نتایج به دست آمده بر وجود روند در سری داده‌ها دلالت کند و آماره Z به دست آمده مثبت

باشد، روند صعودی است و اگر Z منفی باشد، روند نزولی است. به منظور بررسی روند از پکیج Trend در نرم افزار R استفاده شد.

۳- جمع بندی و نتیجه گیری

تغییر در مقادیر دما و بارندگی

دما یکی از مهمترین پارامترهای آب و هوایی در هر اکوسیستم است که به نظر می رسد به شدت تحت تاثیر گرمایش جهانی قرار گرفته است. همانگونه که بیان شد تحقیقات اولیه در زمینه تغییر اقلیم و گرمایش جهانی نیز بر اساس تغییر دما می باشد. در این راستا، مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین دما در دوره های مختلف و پربردهای مختلف زمانی مورد مقایسه قرار گرفتند. با توجه به محدودیت صفحات فقط نتایج مربوط به دمای حداقل در جدول ۲ ارائه شده است. تغییرات در حداقل دما بیشتر از حداکثر و میانگین دما می باشد. در تمام ایستگاه های مورد مطالعه به استثناء ایستگاه خرم آباد متوسط دمای حداقل افزایش یافته است و در اکثر موارد، متوسط حداقل دما در دوره اول با دوره دوم در سطح ۹۹٪ اختلاف معنی دار دارد (جدول ۲). با توجه به جدول ۲ بیشترین افزایش در حداقل دما در مقیاس سالانه با ۲/۳۹ درجه و در مشهد می باشد.

جدول ۲. مقدار اختلاف میانگین و سطح معنی داری تغییر متوسط حداقل دما در مقایسه نیمه اول (۱)، نیمه دوم (۲) و کل دوره آماری (کل) در دوره‌های مختلف زمانی

ایستگاه	اصفهان		اهواز		بابلسر		تبریز		تهران		خرم آباد		زاهدان		مشهد
	۲ و کل	۲ و ۱	۲ و کل	۲ و ۱	۲ و کل	۲ و ۱	۲ و کل	۲ و ۱	۲ و کل	۲ و ۱	۲ و کل	۲ و ۱	۲ و کل	۲ و ۱	
دوره‌های مورد مقایسه															
پریودهای زمانی															
سالانه	۱/۷۲ ^A	۱/۷۴ ^A	۱/۲ ^A	۱/۶ ^A	۰/۸۶ ^A	۰/۴۲ ^A	۱/۹۹ ^A	۱/۰۴ ^A	-۰/۸۴ ^B	-۱/۵۳ ^A	۰/۶ ^A	۲/۳۹ ^A	۱/۱۹ ^B	۲ و کل	
ژانویه	۱/۳۶ ^B	-	۰/۶ ^B	۱/۲ ^A	۰/۸۶ ^A	۰/۴۲ ^A	۲/۰۱ ^A	۱/۰۵ ^A	-۰/۷۵ ^A	-۱/۴۱ ^A	۰/۶ ^A	۱/۷۲ ^B		۲ و کل	
فوریه	۱/۰۷ ^B	-	۱ ^B	-	۰/۸۶ ^A	۰/۴۲ ^A	۱/۸۸ ^A	۰/۹۴ ^B	-۰/۷۳ ^A	-۱/۲۵ ^A	۰/۶ ^A	۱/۱۶ ^A		۲ و کل	
مارس	۰/۸۸ ^B	-	۱/۱ ^C	۰/۵ ^B	۰/۸۶ ^A	۰/۴۲ ^A	۱/۸۱ ^A	۰/۹۰ ^B	-	-۱/۶۳ ^A	۰/۶ ^A	۱/۳۵ ^A	۰/۶۷ ^A	۲ و کل	
آوریل	۱/۷ ^A	۰/۵۳ ^B	۱/۸۶ ^A	۰/۱۷ ^A	۰/۸۹ ^B	۱/۴ ^A	۱/۲۲ ^A	۰/۶۱ ^B	-۰/۸۶ ^A	-۱/۷۸ ^A	۱/۰۷ ^A	۲/۱۴ ^A	۱/۰۱ ^A	۲ و کل	
می	۱/۲۴ ^A	۰/۶ ^B	۱/۸۴ ^A	۰/۷۳ ^A	۰/۸۶ ^A	۱/۳ ^A	۱/۰۹ ^A	۰/۵۴ ^B	-	-۱/۸۳ ^A	۰/۹ ^A	۱/۸ ^A	۱/۴۴ ^A	۲ و کل	
جون	۱/۳۹ ^A	۰/۷ ^B	۱/۸۷ ^A	۱/۶ ^A	۰/۸۷ ^A	۰/۸ ^B	۱/۸۹ ^A	۰/۹۴ ^A	-	-۱/۶۱ ^A	۱/۱۲ ^A	۲/۲۵ ^A	۱/۳۹ ^A	۲ و کل	
جولای	۱/۳۰ ^A	۰/۶۵ ^B	۲/۲۲ ^A	۱/۰۲ ^A	۰/۷۶ ^A	۰/۳۹ ^B	۱/۶۹ ^A	۰/۸۴ ^A	-	-۱/۵۰ ^A	۱/۸۸ ^A	۱/۷۶ ^A	۱/۶۵ ^A	۲ و کل	
اگوست	۱/۴ ^A	۲/۲۲ ^A	۱/۰۴ ^A	۱/۲ ^A	۰/۶ ^A	۱/۴۲ ^A	۰/۷۱ ^A	۱/۰۴ ^A	-	-۱/۷۵ ^A	۱/۰۴ ^A	۲/۰۹ ^A	۱/۵ ^A	۲ و کل	
سپتامبر	۱/۲۱ ^A	۰/۶ ^B	۲/۲۱ ^A	۱/۰۴ ^A	۱ ^A	۰/۵ ^A	۱/۱۴ ^A	۰/۵۷ ^A	-	-۱/۹۶ ^B	۱/۰۴ ^A	۲/۰۹ ^A	۱/۲۸ ^A	۲ و کل	
اکتبر	۱/۴ ^A	۲/۱۷ ^A	۱/۰۲ ^A	۱/۲ ^A	۰/۶ ^B	۱/۱۴ ^A	۰/۵۷ ^A	۲/۶۳ ^A	-	-۱/۲۹ ^A	۱/۱۰ ^A	۲/۶۳ ^A	۱/۴۷ ^A	۲ و کل	
نوامبر	۰/۷۲ ^A	۱/۶۱ ^A	۰/۷۲ ^A	۱/۶ ^A	۰/۸ ^B	۱/۰۸ ^B	۰/۵۴ ^A	۲/۲۰ ^A	-	-۱/۷۰ ^A	۱/۳۱ ^A	۲/۲۰ ^A	۱/۱۴ ^A	۲ و کل	
دسامبر	۰/۴ ^A	۱/۶۲ ^A	۰/۷۶ ^B	۱/۲ ^A	۰/۶ ^B	۱/۲ ^A	۱/۹۷ ^A	۱/۱۸ ^A	-	-۱/۸۰ ^A	۱/۱ ^A	۱/۹۷ ^A	۱/۱۸ ^A	۲ و کل	
بهار	۱/۱۹ ^A	۰/۵ ^B	۲/۰۵ ^A	۰/۹۸ ^A	۱/۶ ^A	۰/۵ ^A	۱/۱۴ ^A	۰/۷ ^A	-	-۱/۷۰ ^A	۱/۰۱ ^A	۱/۹۳ ^A	۱/۰۴ ^A	۲ و کل	
تابستان	۱/۳۶ ^A	۰/۷ ^A	۲/۲۸ ^A	۱/۰۷ ^A	۱/۳ ^A	۰/۷ ^A	۱/۴۲ ^A	۰/۷ ^A	-	-۱/۷۴ ^A	۰/۹۳ ^A	۲/۳۳ ^A	۷ ^A	۲ و کل	
پاییز	۱/۰۳ ^A	۰/۵ ^A	۱/۷۸ ^A	۰/۸۵ ^A	۱/۳ ^A	۰/۷ ^A	۱/۴۲ ^A	۰/۷ ^B	-	-۱/۵۰ ^A	۱/۱۳ ^A	۲/۰۸ ^A	۱/۳ ^A	۲ و کل	
زمستان	۰/۹۶ ^A	۱/۱۰ ^A	۰/۵۴ ^C	۱/۱ ^A	۱/۱ ^B	۰/۹۲ ^B	۲/۰۴ ^A	۰/۴۶ ^A	-	-۱/۴۳ ^A	۱ ^A	۲/۰۴ ^A	۰/۸۷ ^B	۲ و کل	
آوریل الی سپتامبر	۱/۲۷ ^A	۲/۳۴ ^A	۱/۱۲ ^A	۱/۲ ^A	۰/۶ ^A	۱/۳۳ ^A	۱/۹۹ ^A	۰/۵۹ ^A	-	-۱/۴۲ ^A	۰/۹۷ ^A	۱/۹۹ ^A	۱/۲۸ ^A	۲ و کل	
اکتبر الی مارس	۰/۷۳ ^A	۱/۶۳ ^A	۰/۸۱ ^A	۱/۲ ^A	۰/۶ ^A	۰/۶۷ ^B	۲/۱۱ ^A	۱/۰۵ ^A	-	-۱/۷۵ ^A	۱/۰۵ ^A	۲/۱۱ ^A	۱/۰۶ ^A	۲ و کل	
اکتبر الی جون	۰/۱ ^A	۰/۵ ^A	۲/۰۲ ^A	۱/۰۱ ^A	۱/۲ ^A	۰/۶ ^A	۱/۰۹ ^A	۰/۴ ^B	-	-۱/۵۸ ^A	۱/۰۳ ^A	۲/۰۷ ^A	۱/۰۲ ^A	۲ و کل	

در این جدول و جداول ۳ و ۴: علامت منفی قبل از اعداد نشان دهنده کاهش مقدار بارندگی در نیمه دوم در مقایسه نیمه اول یا نیمه دوم و یا نیمه دوم با کل دوره می‌باشد.

A، B و C نشان دهنده اختلاف معنی دار در مقایسه میانگین دو دوره به ترتیب در سطوح ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد می‌باشد. علامت - نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار در مقایسه میانگین دو دوره تا سطح ۹۰ درصد

می‌باشد. ستون‌ها و ردیف‌های مربوط به عواملی که تفاوت معنی دار در آن‌ها مشاهده نشده است، حذف شده‌اند.

همان گونه که بیان شد ممکن است بارندگی تحت تاثیر پدیده گرمایش جهانی قرار گیرد، ولی مطمئناً تغییرات ایجاد شده در همه نقاط کره زمین یکسان نخواهد بود. بر این اساس وضعیت همگنی داده‌ها بر مبنای آزمون من‌ویتنی مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۳). در مقیاس سالانه فقط در اهواز، تبریز، خرم‌آباد و زاهدان مقدار بارندگی تغییر معنی‌داری داشته‌است. ضمن آن‌که در اهواز، تبریز و زاهدان مقدار بارندگی کاهش و در خرم‌آباد افزایش یافته‌است. در مقیاس ماهیانه، مقدار بارندگی به ندرت تغییر معنی‌داری یافته‌است. فقط در برخی از ماه‌ها و در برخی از شهرها (به عنوان مثال ماه ژانویه در اصفهان، فوریه در تبریز، ماه آپریل در اهواز، تبریز و خرم‌آباد) تغییر مقدار بارندگی ماهانه معنی‌دار بوده‌است. از نظر فصلی بیشترین تغییرات مقدار بارندگی در فصل زمستان اتفاق افتاده‌است (جدول ۳). بررسی تغییرات بارندگی در تبریز توسط کریمی کاخکی و سپهری [24] نشان داد که در دوره ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۵ بارندگی سالانه، فوریه و مارس در تبریز و دوره سالانه در زاهدان کاهش یافته‌است. نتایج تحقیقات آذرخشی و همکاران [25] نیز نشان می‌دهد که در دوره ۱۹۵۶ تا ۲۰۰۶ بارندگی در دوره سالانه در زاهدان و تبریز کاهش و در تهران افزایش داشته‌است.

آزمون نقطه شکست

به منظور بررسی وضعیت شکست و پیوستگی در داده‌ها از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف استفاده شد که نتایج در جدول ۴ ارائه شده‌است. نتایج این آزمون نشان می‌دهد که متوسط میانگین دما در تمامی شهرهای مورد بررسی جز اصفهان دارای نقطه شکست می‌باشد. در حالی که در مورد متوسط دمای حداکثر فقط در ۴ شهر (از مجموع ۸ شهر) شکست در داده‌های در یکی از سطوح ۰/۹۹، ۰/۹۵ و یا ۰/۹۰ اتفاق افتاده‌است و در ۴ شهر دیگر شکست معنی‌داری در سری زمانی مقادیر دمای حداکثر اتفاق نیفتاده‌است. در میان مناطق مورد بررسی در مورد بارندگی، بیشترین ناهمگنی در شهر زاهدان با حداکثر اختلاف ۰/۵۴ اتفاق افتاده‌است. در ایستگاه تهران در صورت مقایسه‌ی نیمه اول و دوم، تفاوت معنی‌داری بین دو نیمه مشاهده نشد، اما با در نظر گرفتن نقطه شکست، مقدار بارندگی قبل و بعد از سال ۱۹۷۲ دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشد (جدول ۴). همانطور که در جدول ۴ نشان داده شده‌است نقطه شکست در مورد بارندگی سالانه در اهواز در سال ۱۹۷۱ اتفاق افتاده‌است و به احتمال ۰/۹۰ میانگین بارندگی سالانه در اهواز در دوره قبل از سال ۱۹۷۱ با دوره پس از سال ۱۹۷۱ اختلاف معنی‌دار دارد.

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۴، در هیچ‌یک از مناطق و پارامترها (به جز در بابلسر برای حداکثر دما)، نقطه شکست در میانه دوره آماری واقع نشده‌است. همچنین در مورد ایستگاه اهواز دمای میانگین در حالتی که دو نیمه‌ی مساوی با یکدیگر مقایسه شوند تفاوت معنی‌داری را نشان نمی‌دهد ولی در صورتی که در روش نقطه شکست، میانگین دما قبل و بعد از سال ۱۹۸۲ تفاوت معنی‌دار دارد (جدول ۴).

جدول ۳. مقدار اختلاف میانگین و سطح معنی داری تغییر مجموع بارندگی در مقایسه نیمه اول (۱)، نیمه دوم (۲) و کل دوره آماری (کل) در پریودهای مختلف زمانی

نام ایستگاه	اصفهان	اهواز	بابلسر	تبریز	تهران	خرم آباد	زاهدان	مشهد	دوره‌های مورد مقایسه	
									۲ و ۱	۲ و کل
سالانه	-	-۵۸/۳۰ ^B	-	-۷۱/۳۰ ^A	-۳۵/۶۵ ^A	۶۱/۳ ^B	-۲۵/۱۹ ^A	-	۲ و ۱	۲ و کل
ژانویه	-۱۱/۸ ^A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
فوریه	-	-	-	-۱۱/۳۲ ^A	-۵/۶ ^C	-	-	-	-	-
آوریل	-	-۲۲/۸ ^A	-	-۱۱/۶ ^B	-	۲۷/۲ ^B	-	-	-	-
ژوئن	-	-	-	-۱۰/۶۹ ^A	-	-	-	-	-	-
اکتبر	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
نوامبر	-	-۱۸/۲۳ ^A	-	-	-	-	-	-	-	-
دسامبر	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
بهار	-	-	-	-	-	۲۸/۰ ^A	-	-	-	-
تابستان	-	-	-	-	-	۰/۷۵ ^B	-	۱۳/۳۸ ^B	-	-
پاییز	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
زمستان	-۱۳/۲۳ ^A	-	-	-	-	۳۹/۱ ^B	-۲۲/۲۵ ^A	-۱۱/۱۲ ^B	-	-
آوریل الی سپتامبر	-۲۹/۰۷ ^A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
اکتبر الی مارس	-۲۵/۸۳ ^A	-	-	-	-	-	-۱۶/۲۳ ^A	-	-	-
اکتبر الی جون	-	-	-	-	-	-	-۱۸/۴۲ ^B	-	-	-

جدول ۴. سال شکست، مقدار اختلاف میانگین و سطح معنی داری تغییر میانگین دما در مقایسه دو بخش از کل دوره آماری

ایستگاه	بارندگی		متوسط حداکثر دما		متوسط حداقل دما		متوسط میانگین دما	
	سال شکست	مقدار اختلاف	سال شکست	مقدار اختلاف	سال شکست	مقدار اختلاف	سال شکست	مقدار اختلاف
اصفهان	-	-	۱۹۹۴	۰/۵۵ ^A	۱۹۸۳	۰/۴۴ ^A	-	-
اهواز	۱۹۷۱	۰/۴۷ ^C	-	-	-	-	۱۹۸۲	۰/۶۵ ^A
بابلسر	۱۹۷۸	۰/۳۲ ^B	۱۹۸۳	۰/۴۷ ^A	۱۹۹۵	۰/۹۵ ^A	۱۹۹۵	۰/۸۰ ^A
تبریز	۱۹۸۳	۰/۴۷ ^A	۱۹۹۵	۰/۴۷ ^A	۱۹۸۳	۰/۵۶ ^A	۱۹۹۵	۰/۸۰ ^A
تهران	۱۹۷۲	۰/۳۶ ^B	-	-	-	-	۱۹۹۵	۰/۵۹ ^A
خرم آباد	۱۹۹۵	۰/۴۴ ^A	۱۹۸۰	۰/۴۱ ^A	۱۹۸۳	۰/۶۲ ^A	۱۹۸۰	۰/۶۳ ^A
زاهدان	۱۹۷۱	۰/۵۴ ^A	-	-	۱۹۹۴	۰/۶۶ ^A	۱۹۹۵	۰/۵۶ ^A
مشهد	-	-	-	-	۱۹۸۷	۰/۹۳ ^A	۱۹۸۶	۰/۶۵ ^B

آزمون روند

همان گونه که بیان شد به منظور بررسی همگنی، ایستایی و یا تغییر در داده‌های دما و بارش، علاوه بر آزمون من ویتنی از آزمون من-کندال به منظور بررسی روند در داده‌ها استفاده شد. نتایج حاصل از بررسی روند در عوامل آب و هوایی دما و بارش در جدول ۵ نشان داده شده است. مقادیر دما بیش از بارش، دارای روند می‌باشند. بر اساس آزمون همگنی من ویتنی نیز از میان عوامل مورد بررسی بارش کم‌ترین ناهمگنی (تغییر) را داشته است. نتایج آزمون همگنی نشان می‌دهد که بارش در خرم‌آباد در مقیاس سالانه افزایش و در اهواز، تبریز و زاهدان، نسبت به نیمه اول کاهش معنی‌دار داشته است (جدول ۳). نتایج آزمون من-کندال نشان می‌دهد که در تبریز بارندگی دارای روند کاهشی اما در زاهدان و بابلرس روند افزایشی دارد (جدول ۴). این در حالی است که در سایر مناطق روندی در مقادیر بارش سالانه مشاهده نشده است. علاوه بر این، در همه‌ی شهرهای مورد مطالعه، به جز خرم‌آباد دماهای حداقل و متوسط دارای روند صعودی می‌باشد. بررسی روند تغییرات بارش و دما به صورت سالانه و فصلی در زاهدان در دوره ۱۹۵۶ تا ۲۰۰۶ توسط آذرخشی و همکاران [25] نشان داد که بارندگی سالانه (در سطح ۹۹ درصد)، فصل زمستان (در سطح ۹۹ درصد) و بهار (در سطح ۹۵ درصد) دارای روند کاهشی می‌باشد، در حالی که متوسط دمای سالانه و پاییز (در سطح ۹۹/۹ درصد) و بهار و تابستان (در سطح ۹۹ درصد) دارای روند افزایشی می‌باشد. ضمن آن که متوسط دمای حداقل، متوسط دمای حداکثر، حداقل دمای مطلق و حداکثر دمای مطلق نیز روند افزایشی را نشان داده‌اند. بر اساس نتایج علیجانی و همکاران [26] در اغلب ایستگاه‌های مورد بررسی در ایران از سال ۱۹۶۹ تا ۲۰۰۸ از جمله تهران حداکثر دما دارای روند افزایشی می‌باشد.

جدول ۵. نتایج بررسی روند تغییرات بارندگی و دمای سالانه در ایستگاه‌های مورد بررسی با استفاده از آزمون من-کندال

ایستگاه	پارامتر	بارندگی	متوسط حداکثر دما	متوسط حداقل دما	متوسط میانگین دما
اصفهان	-	-	↑ B	↑ A	↑ A
اهواز	-	-	-	↑ A	-
بابلرس	↑ A	↑ A	↑ A	↑ A	↑ A
تبریز	↓ A	↑ A	↑ A	↑ A	↑ A
تهران	-	-	↑ A	↑ A	↑ A
خرم‌آباد	-	↓ B	↓ B	↓ A	↓ A
زاهدان	↑ A	↑ A	↑ B	↑ A	↑ A
مشهد	-	-	↑ A	↑ A	↑ A

علامت ↑، ↓ و - به ترتیب نشان دهنده افزایش، کاهش و عدم روند (در سطح ۹۵ درصد) در طول دوره آماری می‌باشد. A و B به ترتیب نشان دهنده وجود روند در سطوح معنی‌داری ۹۹ و ۹۵ درصد می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق ایستایی و یا روند سری زمانی پارامترهای مهم اقلیمی در هشت ایستگاه سینوپتیک کشور مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور دوره آماری ۶۴ ساله به دو دوره ۳۲ ساله تفکیک و مقادیر دما و بارندگی هر یک از این دو دوره در مقیاس‌های مختلف زمانی (ماهانه، فصلی و سالانه) با یک‌دیگر مقایسه شدند. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان

گفت، الف) آزمون همگنی وجود ناهمگنی در هریک از عوامل آب و هوایی بارش و به ویژه دما را در بسیاری از ایستگاه‌ها و پرونده‌های زمانی تایید می‌کند، ب) آزمون شکست وجود نقطه شکست در سری زمانی داده‌ها (بخصوص دمای میانگین) را در بسیاری از ایستگاه‌ها تایید می‌کند و ج) آزمون روند نیز نشان می‌دهد که دما (بخصوص دمای متوسط) در همه‌ی شهرها و بارش در برخی از شهرهای مورد بررسی دارای روند معنی‌دار می‌باشد.

۴- مراجع

- [1] Abtew, W. and Melesse A. 2013. Climate Change and Evapotranspiration Evaporation and Evapotranspiration: Measurements and Estimations. 206P.
- [2] Ribalaygua, J., Pino, MR., Portoles, J., Roldan, E., Gaitan, E., Chinarro, D. and Torres, L. 2013. Climate change scenarios for temperature and precipitation in Aragon (Spain). Science of the Total Environment, 463-464: 1015-1030.
- [3] Wang, B., Zhang, M., Wei, J., Wang, S., Li, S., Ma, Q., Pan, S. and Li X. 2013. Changes in extreme events of temperature and precipitation over Xinjiang, northwest China, during 1960-2009. Quaternary International, 298: 141-151.
- [4] Deng, H., Chen, Y., Shi, X., Li, W., Wang, H., Zhang, S. and Fang, G. 2014. Dynamics of temperature and precipitation extremes and their spatial variation in the arid region of northwest China. Atmospheric Research, 138: 346-355.
- [5] Cinco, T.A., Guzman, R.G., Hilario, F.D. and Wilson D.M. 2014. Long-term trends and extremes in observed daily precipitation and near surface air temperature in the Philippines for the period 1951-2010. Atmospheric Research, 145-146: 12-26.
- [6] Lima, M.P., Santo, F.E., Ramos, A.M., de Lima, J.L.M.P. 2014. Recent changes in daily precipitation and surface air temperature extremes in mainland Portugal, in the period 1941-2007. Atmospheric Research, 127: 195-209.
- [7] Richman, B.M. and Leslie, M.L. 2013. Classification of Changes in Extreme Heat over Southeastern Australia. Procedia Computer Science, 20: 148 - 155.
- [8] Rao, K.K., Patwardhan, S.K., Kulkarni, A., Kamala, K., Sabade, S.S. and Kumar, K.K. 2014. Projected changes in mean and extreme precipitation indices over India using PRECIS. Global and Planetary Change, 113, 77-90.
- [9] پورعلی حسین، ش. و مساح‌بوانی، ع. ۱۳۹۲. تحلیل مخاطره و ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش استان آذربایجان شرقی دوره ۲۰۲۲-۲۰۱۳. مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۹(۴): ۲۰۸-۱۹۱.
- [۱۰] حق‌طلب، ن.، گودرزی، م.، حبیبی نوخندان، م.، یآوری، ا.، و جعفری، ح. ۱۳۹۲. مدل‌سازی اقلیم استان‌های تهران و مازندران با استفاده از مدل اقلیمی LARS-WG و مقایسه تغییرات آن در جبهه‌های شمالی و جنوبی البرز مرکزی. علوم و تکنولوژی محیط زیست ۱۵(۱): ۳۷-۴۹.
- [11] Shifteh Somee, B., Ezani, A. and Tabari, H. 2012. Spatiotemporal trends and change point of precipitation in Iran. Atmospheric Research, 113, 1-12.
- [12] Gobiet, A., Kotlarski, S., Beniston, M., Heinrich, G., Rajczak, J. and Stoffel, M. 2013. 21st century climate change in the European Alps—Areview. Science of the Total Environment, 493:1138-1151.
- [13] Jhajharia, D. and Singh, V.P. 2011. Trends in temperature, diurnal temperature range and sunshine duration in Northeast India. Int. J. Climatology, 31: 1353-1367.
- [14] Cheval, S., Birsan, MV. and Dumitrescu, A. 2014. Climate variability in the Carpathian Mountains Region over 1961-2010. Global and Planetary Change, 118: 85-96.
- [۱۵] قره‌خانی، ا. و قهرمان، ن. ۱۳۸۹. بررسی روند تغییرات فصلی و سالانه رطوبت نسبی و نقطه شبنم در چند نمونه اقلیمی در ایران. نشریه آب و خاک ۲۴(۴): ۶۴۶-۶۳۶.

- [۱۶] مساعدی، ا.، کواکبی، غ. و عبداللهزاده، ز. ۱۳۹۰. آشکارسازی تغییرات اقلیمی براساس آزمون آماری من-ویننی در شهر مشهد. نخستین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی، کرج.
- [۱۷] پیرنیا، ع.، حبیب نژاد روشن، م. و سلیمانی، ک. ۱۳۹۴. بررسی تغییرات دما و بارندگی در سواحل جنوبی دریای خزر و مقایسه آن با تغییرات در مقیاس جهانی و نیمکره شمالی. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز سال ششم/ شماره ۱۱
- [۱۸] انصاری، م.، نوری، غ. و فتوحی، ص. ۱۳۹۵. بررسی روند تغییرات دما، بارش و دبی با استفاده از آزمون ناپارامتری من کندال (مطالعه موردی: حوزه آبخیز رودخانه کاجو استان سیستان و بلوچستان). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز سال هفتم/ شماره ۱۴
- [۱۹] صلاحی، ب.، گودرزی، م. و حسینی، ا. ۱۳۹۵. پیش بینی تغییرات دما و بارش در دهه ۲۰۵۰ در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز جلد ۸، شماره ۴، صفحات ۴۲۵-۴۳۸
- [20] Jakob, D. and Walland, D. 2016. Variability and long-term change in Australian temperature and precipitation extremes. *Weather and Climate Extremes* 14 (2016) 36-55
- [21] Gallagehr, C. and Lund, R. 2013. Change point Detection in Climate Time Series with Long-Term Trends. *Journal of climate*, 26: 4994- 5006.
- [22] Gibbons, J.D. and Chakraborti, S. 1991. Comparisons of the Mann-Whitney, Student's t, and Alternate t Tests for Means of Normal Distributions. *The Journal of Experimental Education*, 59(3): 258-267.
- [23] Yue, S., Pilon, P. and Cavadias, G. 2002. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of hydrology*, 259: 254-271.
- [۲۴] کریمی کاخکی، م. و سپهری ع. ۱۳۸۹. روندهای تغییر اقلیم طی دو دوره در همدان و تبریز. مجله دانش آب و خاک ۲۰(۴): ۱۴۳-۱۵۵.
- [۲۵] آذرخشی، م.، فرزاد مهر، ج.، اصلاح، م. و صحابی، ح. ۱۳۹۲. بررسی روند تغییرات سالانه و فصلی بارش و پارامترهای دما در مناطق مختلف آب و هوایی ایران. نشریه مرتع و آبخیزداری ۶۶(۱): ۱۶-۱.
- [۲۶] علیجانی، ب.، محمودی، پ.، سلیقه، م. و ریگی چاهی، ا. ۱۳۹۰. بررسی تغییرات کمینه‌ها و بیشینه‌های دما در ایران. فصل نامه تحقیقات جغرافیایی ۲۶(۳): ۱۲۱-۱۰۱.