

## تحلیل روند بارش سالانه ایران

بختیار محمدی: استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران\*

### چکیده

در این پژوهش روند بارش ایران با استفاده از داده‌های ۱۴۳۷ ایستگاه همدید، اقلیمی و بارانسنجی، طی دوره ۴۰ ساله (۱۳۴۳ تا ۱۳۸۲) بررسی شد. با میانبایی این داده‌ها به روش کریجینگ، ایران به ۸۲۳۰ یاخته‌ی به ابعاد ۱۴\*۱۴ کیلومتر مربع تبدیل شد. میانگین ایستگاهی و یاخته‌ای بارش ایران برای هر سال، محاسبه شد. با استفاده از روش آماری ناپارامتری من-کندال معنی‌داری روند میانگین بارش، و از روش برآورد کننده شیب خط سن، میزان شیب خط روند، آزمون شد. نتایج نشان داد که در سری‌های زمانی میانگین ایستگاهی و یاخته‌ای بارش ایران، روند افزایشی یا کاهش می‌داری در سطوح اطمینان ۹۹٪ و ۹۵٪ وجود ندارد. با این حال میانگین ایستگاهی بارش ایران به طور متوسط در هر سال در حدود ۰/۶۶ میلی‌متر و میانگین یاخته‌ای بارش ایران نیز در حدود ۰/۵ میلی‌متر کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: تحلیل روند، میانبایی، من-کندال، بارش ایران.

### مقدمه

برخودار باشد. در زمینه شناخت روند بارش در سطح جهانی و در ایران نیز تحقیقات گسترده‌ای صورت گرفته است که به برخی از آنها اشاره می‌شود.

انجل و هاف (Angel and Huff) روند تغییرات بارش‌های سنگین در ۳۰۴ ایستگاه در میانه غربی ایالات متحده را بررسی کردند. آنها به نقش مهم بارش‌های سنگین در طراحی سازه‌های آبی، کشاورزی، تعدیل هوا و نمایه‌سازی تغییر اقلیم اشاره می‌کنند و همچنین معتقدند که در گذشته سری زمانی بارش فرین عمدتاً ثابت و بدون روند تصور می‌شد و این فرض برای بخش‌های مختلف میانه غربی ایالات متحده نمی‌تواند درست باشد. نتایج نشان داد که در سال‌های اخیر، ایستگاه‌ها روند مشابهی را در بارش‌های سنگین تجربه کرده و فرض سری زمانی ایستا، برای برآزش توزیع آماری با داده‌های بارش

به طور کلی، شناخت چگونگی روند تغییرات اقلیمی و به ویژه روند تغییرات بارش از جمله مواردی است که در سال‌های اخیر مورد توجه محققان علوم جوی و هیدرولوژی قرار داشته است. بدون توجه به این که یک مکان در اقلیم مرطوب یا خشک قرار دارد، آگاهی از روند تغییرات بارش یک مکان می‌تواند بسیاری از مدیران و دست‌اندرکاران مرتبط با آب را نسبت به تصمیم‌گیری‌های آینده خود در ارتباط با اجرای پروژه‌های عمرانی یاری دهد. قرارگیری بخش‌های زیادی از ایران در کمربند خشک و نیمه خشک جهان از یک سو و داشتن نقش تعیین کننده‌ای که نزولات جوی در تأمین آب کشور برعهده دارند از سوی دیگر، باعث شده که آگاهی بیشتر نسبت به روند تغییرات بارش ایران از اهمیت چشم‌گیری

البته روند کشوری و سراسری منظمی در مقادیر بارش دیده نمی‌شود (کارل و نایت، ۱۹۹۸:۲۳۱).

اکی‌نرمی و همکاران الگوهای فضایی و فصلی روند بارش را در چمنزارهای کانادا بررسی کردند. آنها به کمک تحلیل رگرسیون، روند خطی مقادیر بارش و تعداد رویدادهای بارشی را در ۱۴۰ ایستگاه با آمار بیش از ۴۰ سال در چمنزارهای کانادا را مشخص نمودند. نتایج نشان داد که افزایش معنی‌داری در مقادیر و تعداد رویدادهای بارشی طی ۴۰ سال اخیر (۱۹۵۶-۹۵) وجود داشته است (اکی‌نرمی و همکاران، ۲۰۰۱:۲۱۷۷).

کنکل<sup>۳</sup> روند شاخص‌های بارشی فرین در ایالات متحده را بررسی کرد. تحلیل وی نشان داد که افزایش چشمگیری در فراوانی رویدادهای بارشی فرین در دهه‌های ۱۹۲۰ و ۱۹۳۰ وجود داشته است. در ادامه معتقد است که تغییرات اخیر در رویداد بارشی فرین ناشی از تغییرپذیری طبیعی اقلیم بوده و ضمن این که از فعالیت‌های انسانی که منجر به افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌شوند نمی‌توان چشم‌پوشی کرد (کنکل، ۲۰۰۳: ۲۹۱).

هیدالگو و همکاران<sup>۴</sup> روند روزانه بارش در والنسیای اسپانیا را طی نیمه دوم قرن بیستم بررسی کردند. آنها ۱۰ روز از هر سال را که بیش از ۵۰ درصد میانگین بارش کشور در آن رخ می‌داد به عنوان بالاترین رویدادهای بارشی انتخاب نمودند. همچنین روند بارش سالانه و روند رویدادهای کوچک و بزرگ بارش را به طور درصدی با هم مقایسه نمودند و به کمک جدول متقاطع توزیع فضایی روندها را بر روی

گذشته احتمالاً در بخش‌هایی از میانه غرب ایالات متحده رد می‌شود (انجل وهاف، ۱۹۹۷:۲۴۶).

اکی‌نرمی و همکاران<sup>۱</sup> روند بارش را در ۳۷ ایستگاه واقع در چمنزارهای کانادا که دارای آمار بارش روزانه‌ی بیش از ۷۵ سال بودند، مطالعه کردند. آنها معتقدند با توجه به این که مقدار و زمان بارش در تولید محصولات کشاورزی بویژه گندم نقش مهمی را برعهده دارد؛ اطلاعات مربوط به چگونگی روند بارش می‌تواند برای منطقه حیاتی باشد. نتایج این بررسی نشان داد که اگرچه بیشتر بارش‌ها در چمنزارهای کانادا عمدتاً رویدادهایی با شدت زیاد است؛ اما افزایش معنی‌دار در تعداد رویدادهای بارش، به ویژه رویدادهای با شدت پایین رخ داده است. همچنین روند بارش و مقدار بارندگی در ۷۵ سال اخیر به طور معنی‌داری در چمنزارهای کانادا به ترتیب ۰/۶۲ و ۰/۶۰ میلیمتر در هر سال افزایش داشته است (اکی‌نرمی و همکاران، ۱۹۹۸:۲۹۹۶).

کارل و نایت<sup>۲</sup> روند بارش، مقدار، فراوانی و شدت آن را در ایالات متحده آمریکا بررسی کرد. آنها معتقدند که از سال ۱۹۱۰ تا اواخر قرن بیستم حدود ۱۰ درصد بارش ایالات متحده افزایش یافته است که این افزایش در بارش ابتدا در رویدادهای بارش‌های سنگین و فرین روزانه منعکس شده است. به عنوان مثال بیش از ۵۳ درصد مقدار بارش افزایش یافته به دلیل روند مثبتی بوده است که در ۱۰ درصد بالایی توزیع بارش مشاهده شده است. در ادامه معتقدند که روند معنی‌داری در مقادیر بالای بارش روزانه و ماهانه - سالانه در بیشتر ایالات متحده وجود دارد که

3 - Kunkel

4 - Hidalgo et al

1- Akinremi

2 - Karl and Knight

شاخص‌ها داشته و همچنین الگوی کلی روند بارش-های فرین همان الگویی بوده که برای مجموع بارش سالانه بدست آمده است (هایلوک و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۴۹۰).

براهماناندا و همکاران<sup>۷</sup> به تحلیل روند افزایشی بارش شمال شرق برزیل در ارتباط با خشکسالی‌های منطقه ساهاران<sup>۸</sup> پرداختند. ضرایب همبستگی بین میانگین بارش ۱۱ ساله سری بارش بر روی دو منطقه در سطح ۹۵ درصد اطمینان با آزمون t دو طرفه معنی دار بود. نتایج نشان داد که تغییرات بارش دو منطقه با موقعیت منطقه کمربند همگرایی حاره‌ای بر روی اقیانوس اطلس ارتباط دارد. موقعیت جنوبی‌تر (شمالی-تر) کمربند همگرایی حاره‌ای برای رخداد بارش بالاتر از حد نرمال شمال شرق برزیل (سahارا) مساعد است. ضریب همبستگی بین موقعیت کمربند همگرایی حاره‌ای بر روی اقیانوس اطلس و شمال شرق برزیل (سahارا) منفی (مثبت) و بسیار معنی دار است و به بیش از ۰/۹ می‌رسد. از این رو نتایج این مطالعه نشان داد که موقعیت جنوبی‌تر کمربند همگرایی حاره-ای از حالت نرمال خود در اقیانوس اطلس احتمالاً علت افزایش (کاهش) اخیر روند بارش در شمال شرق برزیل (سahارا) بوده است (براهماناندا و همکاران، ۲۰۰۶: ۴۴۴۸).

کروشیت<sup>۹</sup> تغییرپذیری اقلیم و روند منطقه‌ای بارش را در ایسلند طی سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۰ مطالعه نمود. وی معتقد است تغییرات درون سالانه در ویژگی‌های بارش می‌تواند با تغییراتی در اندازه، مکان و رخداد سامانه‌های بارشی بزرگ مقیاس که از روی

هم قرار دادند. نتایج این پژوهش این فرض را تأیید کردند که تغییرات بارش سالانه تنها به تغییرات پیدا شده در چند رویداد بارشی بستگی داشته است. به علاوه با وجود روند منفی این رویدادها، توزیع‌شان با بارش سالانه افزایش داشته است (هیدالگو و همکاران، ۲۰۰۳: ۱۱۷).

لیبمن و همکاران<sup>۵</sup> روند بارش را در جنوب آمریکای مرکزی طی سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۹ بررسی کردند. نتایج نشان داد که بزرگترین روند مثبت در ۲۰ درجه جنوبی طی ماه‌های ژانویه-مارس رخ داده و بر روی جنوب برزیل متمرکز بوده است. همچنین از ۱۹۴۸ تا ۱۹۷۵ روند مثبت بوده، اما با شیب نسبتاً کمی این روند افزایش داشته است. عامل دینامیک روند مشخص نیست و روند با افزایش در فعالیت امواج همدیدی آشکار نمی‌شود. روند بارش با روند مثبت دمای سطح دریا در نزدیک اقیانوس اطلس مرتبط است، اما به طور آشکار رابطه علت و معلولی ندارد (لیبمن و همکاران، ۲۰۰۴: ۴۳۵۷).

هایلوک و همکاران<sup>۶</sup> روند بارش‌های فرین و کل بارش سالانه را در آمریکای جنوبی طی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۰ و ارتباط آن را با دمای سطح دریا بررسی کردند. آنها ابتدا دوازده شاخص سالانه بارش روزانه طی دوره مورد مطالعه محاسبه و تغییرات آنها و توزیع‌شان به عنوان متغیرهای فرین بارشی آزمون شد. سپس نقشه روند دوازده شاخص بارشی فرین مناطق بزرگی که دارای روند یکسانی بودند را ترسیم نمودند. در نهایت، مشخص شد که بسیاری از ایستگاهها تغییرات آماری معنی داری در برخی از

7 - Brahmananda et al

8 - Saharan

9 - Crochet

5 - Liebmann

6 - Haylock et al

گردشی جو بررسی کردند. آنها با انجام دو روش حداقل مربعات و من‌کنندال بر روی داده‌های بارش یونان معتقدند که روند بارش سالانه و زمستانه یونان را از سال ۱۹۸۴ به بعد کاهش داده است. همچنین در ادامه این تحقیق، تغییرپذیری بارش در ارتباط با سه شاخص گردش جوی نوسان اطلس شمالی، نوسان مدیترانه‌ای و شاخص جدید نوسان مدیترانه‌ای به کمک تحلیل همبستگی بررسی شد (فیداس و همکاران، ۲۰۰۷: ۱۵۵).

عساکره به منظور شناخت نظام تغییرات زمانی بارش استان اصفهان به تحلیل روند بارش سالانه این استان پرداخت. وی بر پایه روش میانگین‌انگراها و با حل معادلات نرمال رگرسیون برای یاخته‌های ایجاد شده (۵۰٪\*۱۰۰ یاخته) در استان، متوسط تغییر بارش سالانه در بازه زمانی مورد بررسی (۲۰۰۰-۱۹۶۹) را برای کل استان محاسبه کرد و معتقد است که بارش سالانه استان اصفهان طی سه دهه گذشته حاوی روند سهمی (درجه ۲) بوده است (عساکره، ۱۳۸۴: ۷۵).

عسکری و همکاران روند نمایه‌های بارش‌های حدی در ایران را بر اساس داده‌های بارش روزانه ۲۰ ایستگاه هم‌دید طی سالهای ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ تحلیل کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که در دو سوم از ایران مقدار سالانه بارش در روزهای تر کاهش چشمگیری یافته است و البته نمایه بارش سنگین بیش از ۱۰ میلیمتر افزایش یافته است. همچنین آنها معتقدند که تعداد روزهای خشک در مناطق جنوبی کشور روند مثبت و تعداد روزهای تر در یک سوم بخش‌های جنوبی ایران روند منفی داشته است (عسکری و همکاران، ۱۳۸۶: ۴۲).

ایسلند عبور می‌کنند در ارتباط باشد و این سامانه‌ها می‌توانند به نوبه خود توسط شدت نوسانات اطلس شمالی بویژه در زمستان تحت تاثیر قرار بگیرند (کروشیت، ۲۰۰۷: ۶۵۹).

سو و همکاران<sup>۱۰</sup> روند دما و بارش فرین در حوضه رودخانه یانگ تسه چین را طی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۲ بر اساس داده‌های ۱۰۸ ایستگاه هواشناسی بررسی کردند. آنها از آزمون روند من‌کنندال و رگرسیون خطی برای آشکار کردن روند سالانه و فصلی این رویدادهای فرین استفاده کردند. آزمون روند نشان داد که روند بارش تابستانی در حوضه معنی‌دار بوده است. همچنین تعداد روزهای توفانی نسبت به شدت بارش‌ها در بخش‌های میانی و پایین دست روند افزایشی داشته است که این خود موجب افزایش روند مثبت بارش تابستانی شده است (سو و همکاران، ۲۰۰۶: ۱۳۹).

بکر و همکاران<sup>۱۱</sup> به تحلیل فضایی زمانی روند بارش در حوضه رودخانه یانگ تسه پرداختند. آنها روند بارش ماهانه ۳۶ ایستگاه واقع در این حوضه را طی ۵۰ سال گذشته با روش من‌کنندال محاسبه کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که روند مثبت معنی‌داری در بارش تابستانی اغلب ایستگاهها وجود داشته و همچنین در ادامه با میانمایی حوضه یانگ تسه با تفکیک مکانی ۰/۵ درجه جغرافیایی روندهای فضایی و مکانی متفاوتی را برای بخش‌های مختلف مشخص کردند (بکر و همکاران، ۲۰۰۶: ۴۳۵).

فیداس و همکاران<sup>۱۲</sup> تحلیل روند سری زمانی بارش ۵۰ ساله اخیر یونان را در ارتباط با شاخص‌های

10 - Su et al

11 - Becker et al

12 - Feidas et al

حاضر ضمن بررسی بارش‌های ایران از نظر شدت و میزان گستردگی آنها، روند کلی بارش‌های سنگین و فراگیر ایران بدون توجه به عامل یا عوامل مؤثر بر رخداد این رویدادها تحلیل شد.

#### داده و روش‌شناسی

در این پژوهش به منظور تحلیل روند میانگین بارش ایران، داده‌های بارش ۱۴۳۷ ایستگاه همدید، اقلیمی و بارانسنجی کشور مورد استفاده قرار گرفت. پایگاه داده‌ای از بارش این ایستگاه‌ها از روز ۱۳۴۳/۱/۱ تا ۱۳۸۲/۱۲/۲۹ تهیه شد؛ و ماتریس داده‌ای به ابعاد  $۱۴۳۷ * ۱۴۶۰۸$  ایجاد شد که ۱۴۶۰۸ تعداد روزها و ۱۴۳۷ تعداد ایستگاهها بود. ابتدا میانگین بارش ایران به کمک داده‌های این ایستگاهها محاسبه شد. سپس با توجه به این که ایستگاهها دارای طول دوره آماری یکسانی نبودند و همچنین به دلیل عدم پراکندگی یکنواخت ایستگاهها در سطح کشور، با انجام میانمایی به روش کریجینگ بر روی داده‌های بارش روزانه ۱۴۳۷ ایستگاه، ایران به شبکه‌بندی منظمی با  $۸۲۳۰$  یاخته<sup>۱۳</sup> (ابعاد هر یاخته  $۱۴ * ۱۴$  کیلومتر) تبدیل شد. میانگین یاخته‌ای بارش سالانه - ایران از به صورت زیر محاسبه شد:

حجام و همکاران روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه ایران مرکزی را با استفاده از روش‌های ناپارامتری من-کندال و برآورد کننده شیب سن، مطالعه کردند. آنها معتقدند که با توجه به ناکافی بودن تعداد سری‌های دارای روند معنی‌دار نسبت به سری-های فاقد روند، نمی‌توان روند خاصی را بر بارندگی‌های فصلی و سالانه منطقه مورد مطالعه نسبت داد (حجام و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۵۷).

کتیرایی و همکاران روند بارش ایران را به کمک ۳۸ ایستگاه طی سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱ بررسی کردند. آنها برای بررسی وجود روند بارش از آزمون من‌کندال و برای برآورد اندازه روند از روش خطی حداقل مربعات استفاده کردند. مطالعه آنها نشان داد که ایستگاههای واقع در منطقه غرب و شمال غرب دارای روند بارش سالانه کاهشی و بیشتر ایستگاههای واقع در نواحی جنوبی و مرکزی ایران دارای روند افزایشی‌اند. روند بارش فصل زمستان شبیه به روند بارش سالانه است اما روند بارش فصل بهار در اغلب ایستگاهها کاهشی و فصل پاییز افزایشی است (کتیرایی و همکاران، ۱۳۸۶: ۶۷).

عزیزی و روشنی با هدف مطالعه انحراف احتمالی برخی از عناصر رطوبتی و دمایی، تغییر اقلیم سواحل جنوبی خزر را بررسی کردند. آنها با استفاده از روش من-کندال تغییرات داده‌های حداقل و حداکثر دما، بارش، رطوبت و ابرناکی را طی دوره ۴۰ ساله در منطقه شناسایی و سپس نوع و زمان را مشخص نمودند. آنها معتقدند که درصد تغییر در فصل زمستان و تابستان نسبت به بهار و پاییز بیشتر است و زمان شروع تغییرات نیز در ایستگاه‌های منطقه یکسان نیست (عزیزی و روشنی، ۱۳۸۷: ۱۳). در پژوهش

$$(۱) \quad \text{مجموع بارش برآورد شده‌ی تمام یاخته‌ها در طول سال} = \frac{\text{تعداد کل یاخته‌ها}}{\text{میانگین بارش یاخته‌ای سالانه‌ی ایران}}$$

در این پژوهش داده‌های مربوط به میانگین ایستگاهی و همچنین میانگین یاخته‌ای بارش سالانه ایران مبنای انجام تحلیل‌های آماری قرار گرفت (جدول ۱).

جدول ۱- میانگین بارش ایستگاهی و یاخته‌ای بارش ایران در سال‌های مورد مطالعه

سال	میانگین بارش ایستگاهی ایران (میلیمتر)	میانگین بارش یاخته‌ای ایران (میلیمتر)
۱۳۴۳	۲۹۸	۲۱۳
۱۳۴۴	۲۳۹	۱۸۰
۱۳۴۵	۲۹۱	۱۸۱
۱۳۴۶	۳۴۳	۲۴۱
۱۳۴۷	۴۸۹	۳۲۹
۱۳۴۸	۴۰۴	۲۵۵
۱۳۴۹	۲۵۰	۱۵۶
۱۳۵۰	۴۱۹	۳۰۷
۱۳۵۱	۳۸۳	۲۵۳
۱۳۵۲	۳۵۳	۲۵۴
۱۳۵۳	۳۷۱	۲۵۲
۱۳۵۴	۳۹۳	۳۰۶
۱۳۵۵	۳۷۴	۲۸۱
۱۳۵۶	۴۴۰	۳۲۷
۱۳۵۷	۳۶۲	۲۶۷
۱۳۵۸	۴۳۰	۳۲۷
۱۳۵۹	۳۲۵	۲۴۸
۱۳۶۰	۳۹۴	۳۰۴
۱۳۶۱	۴۱۴	۳۰۵
۱۳۶۲	۲۹۹	۲۰۱
۱۳۶۳	۳۹۴	۲۴۷
۱۳۶۴	۲۹۳	۲۰۸
۱۳۶۵	۳۹۱	۲۹۰
۱۳۶۶	۳۹۹	۲۹۳
۱۳۶۷	۳۱۹	۲۱۷
۱۳۶۸	۲۳۴	۲۴۶
۱۳۶۹	۳۰۷	۲۳۰
۱۳۷۰	۳۵۶	۲۶۷
۱۳۷۱	۴۶۶	۳۷۷
۱۳۷۲	۳۶۰	۲۲۰
۱۳۷۳	۳۸۸	۲۶۹
۱۳۷۴	۴۰۴	۳۵۱
۱۳۷۵	۳۰۹	۲۰۰
۱۳۷۶	۴۵۶	۳۵۰
۱۳۷۷	۲۳۳	۲۴۰
۱۳۷۸	۲۶۴	۱۵۵
۱۳۷۹	۳۰۵	۱۷۸
۱۳۸۰	۳۵۲	۲۱۳
۱۳۸۱	۲۳۸	۲۳۹
۱۳۸۲	۲۳۲	۲۵۲

بنابراین، در آزمون دو طرفه روند، اگر رابطه  $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$  در سطح اطمینان ۹۵٪ برقرار باشد، باید فرضیه  $H_0$  (قبول تصادفی بودن سری داده‌ها) را پذیرفت و در غیر این صورت باید فرضیه  $H_1$  (وجود روند) را قبول کرد. اگر معنی‌داری در سطح  $\alpha = 0.01$  (سطح ۹۹٪ اطمینان) آزمون شد، فرضیه صفر  $H_0$  در صورتی رد می‌شود که  $|Z| > Z_{0.995} = 2.575$  برقرار باشد. مقادیر مثبت  $Z$  روند صعودی و مقادیر منفی  $Z$  روند نزولی سری داده‌ها را نشان می‌دهند (ویوکاناندان، ۲۰۰۷: ۱۰۴).

اگر روند در سری داده‌ها مشاهده شد، شیب واقعی (میزان تغییر در واحد زمان) را می‌توان با استفاده از روش ناپارامتری ساده‌ای که توسط سن توسعه داده شده برآورد نمود. ابتدا باید شیب هر جفت داده‌ی متوالی سری را از رابطه زیر به دست آورد:

$$Q_i = \frac{(x_j - x_k)}{j - k} \text{ for } i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

که در این رابطه  $x_k$  و  $x_j$  به ترتیب مقادیر داده‌ها در زمان‌های  $j$  و  $k$  است که با هم یک واحد زمانی اختلاف دارند.  $Q_i$  مقدار میانه‌ی  $n$  برآورد شده شیب نمودار سن است. اگر  $n$  فرد باشد، برآورد کننده شیب سن به اینصورت محاسبه خواهد شد:

$$Q_{med} = Q_{(n+2)/2} \quad (7)$$

و اگر  $n$  زوج باشد، برآورد کننده شیب سن از این رابطه به دست می‌آید:

$$Q_{med} = (Q_{(n)/2} + Q_{(n+2)/2}) / 2 \quad (8)$$

در ادامه مراحل محاسبه آماره این آزمون نشان داده شده است:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (2)$$

که با قبول فرض  $H_0$  توزیع  $S$  در حد  $n \rightarrow \infty$  نرمال است.

$n$ ، مدت سری زمانی داده‌ها؛

$x_k$  و  $x_j$  نیز داده‌های متوالی  $k$ ام و  $j$ ام سری

است. که در این رابطه  $k, j \leq n$  است و  $k \neq j$

$\text{sgn}$ ، تابع علامت است؛ و تابع علامت نیز از

روابط زیر مشخص می‌شود:

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

آزمون آماره‌های  $S$  میانگین صفر دارد و واریانس

آن نیز از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^n t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (4)$$

در رابطه بالا  $t$  اندازه یک بازه زمانی در سری

داده‌ها است و  $\sum_t$  نیز مجموع بازه‌ها (سری زمانی

داده‌ها) است. برای مواردی که مدت سری زمانی

داده‌های بیشتر از ۱۰ باشد ( $n > 10$ ) آماره  $Z$

استاندارد شده را باید به کمک رابطه زیر محاسبه

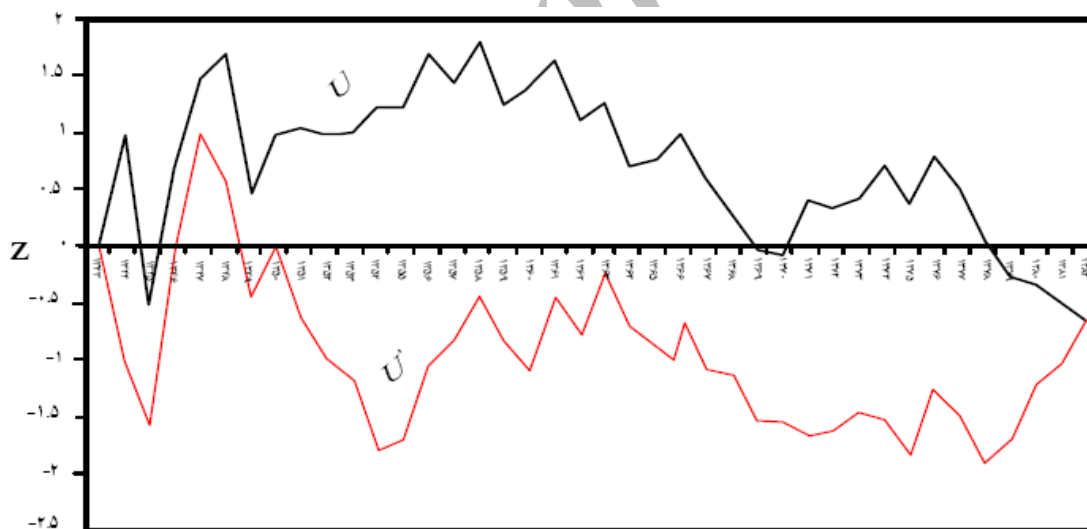
کرد (ویوکاناندان، ۲۰۰۷: ۱۰۴):

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

## بحث

در این پژوهش برای سری زمانی میانگین بارش ایستگاهی و یاخته‌ای سالانه ایران آماره‌های آزمون‌های من-کندال و سن محاسبه گردید و معنی‌داری این آماره‌ها در سطح اطمینان ۹۹٪ و ۹۵٪ بررسی شد. تحلیل‌های یاد شده نشان دادند که در طول دوره مورد مطالعه هیچ گونه روندی در میانگین بارش ایستگاهی ایران در سطوح معنی‌داری مورد آزمون، دیده نشد؛ زیرا  $|U|$  در هیچ زمانی بالاتر یا پایین‌تر از محدوده‌ی معنی‌داری  $1/96 \pm$  و  $2/575 \pm$  نبوده است (شکل ۱). پس تحلیل روند میانگین بارش ایستگاهی ایران هیچ‌گونه روند افزایشی یا کاهشی را در سطوح اطمینان مورد بررسی نشان نداد.

اگر مقدار  $Q_{med}$  را با آزمون دوطرفه در سطح اطمینان  $100(1-\alpha)\%$  بررسی شود شیب واقعی نمودار روند را می‌توان بدست آورد (ویوکاناندان، ۲۰۰۷: ۱۰۵). اگر عدد صفر در دامنه بین دو شیب استخراج شده قرار بگیرد فرض صفر تایید شده و در نتیجه بر سری زمانی مورد آزمون نمی‌توان هیچ روندی را در سطح اطمینان مورد نظر نسبت داد. در غیر این صورت فرض صفر رد شده و می‌توان پذیرفت که سری زمانی دارای روند معنی‌داری در سطح اطمینان مورد آزمون است.



شکل ۱- تحلیل روند میانگین بارش ایستگاهی ایران

بیشینه کاهش بارش ایران در سطح ۹۹٪ به ترتیب برابر با  $2/85-$  و  $1/74$  میلیمتر بوده است. در حالی که کمینه و بیشینه کاهش بارش در میانگین بارش ایستگاهی ایران در سطح ۹۵٪ به ترتیب  $2/31-$  و  $1/23$  میلیمتر برآورد شده است (جدول ۲).

علی‌رغم عدم وجود روند در میانگین بارش ایستگاهی ایران، آماره‌های آزمون سن در سطوح اطمینان مورد بررسی نشان دادند که به طور متوسط بارش ایران در هر سال چیزی در حدود  $0/64-$  میلیمتر کاهش داشته است؛ ضمن این که کمینه و

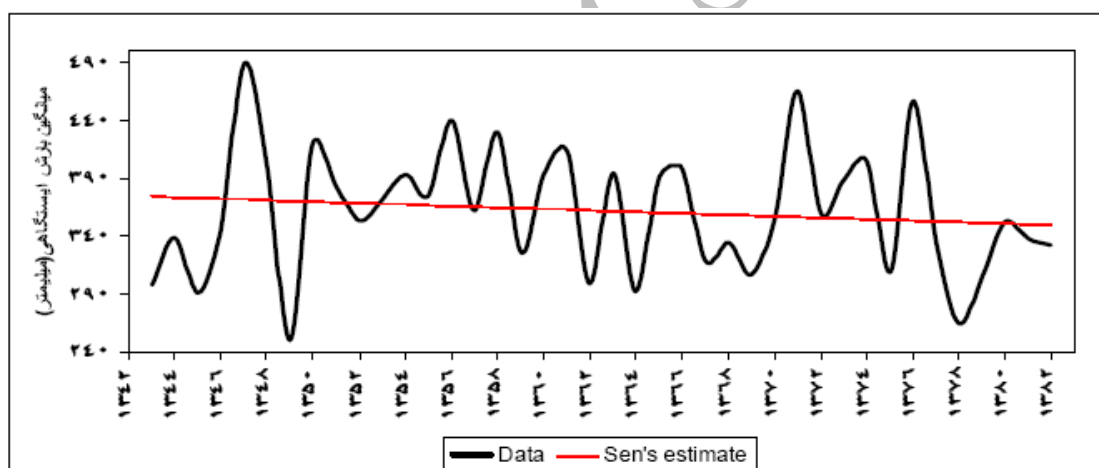
جدول ۲- مقادیر آماره‌های آزمون من-کندال و سن در تحلیل روند میانگین بارش ایستگاهی ایران در سطوح اطمینان ۹۹٪ و ۹۵٪



سری زمانی	طول سری زمانی داده‌ها (سال)	Z	معنی‌داری در سطح ۹۹٪	$Q_{med}$ (میلیمتر)	$Q_{min 99\%}$ (میلیمتر)	$Q_{max 99\%}$ (میلیمتر)	B (میلیمتر)	$B_{min 99\%}$ (میلیمتر)	$B_{max 99\%}$ (میلیمتر)
ایستگاهی بارش ایران طی سال‌های ۱۳۸۲	۴۰	-۰/۶۴	---	-۰/۶۳۴	-۲/۸۵۰	۱/۷۳۵	۳۷۴/۲۶	۴۲۱/۲۶	۳۲۷/۳۹
سری زمانی	طول سری زمانی داده‌ها (سال)	Z	معنی‌داری در سطح ۹۵٪	$Q_{med}$ (میلیمتر)	$Q_{min 95\%}$ (میلیمتر)	$Q_{max 95\%}$ (میلیمتر)	B (میلیمتر)	$B_{min 95\%}$ (میلیمتر)	$B_{max 95\%}$ (میلیمتر)
ایستگاهی بارش ایران طی سال‌های ۱۳۸۲	۴۰	-۰/۶۴	---	-۰/۶۳۴	-۲/۳۱۴	۱/۲۲۹	۳۷۴/۲۶	۴۱۳/۸۱	۳۴۰/۴۱

ناچیز بارش در طول دوره آماری مورد مطالعه بوده است (شکل ۲).

به طور کلی برازش نمودار خط سن بر داده‌های میانگین بارش ایستگاهی ایران نیز حاکی از کاهش



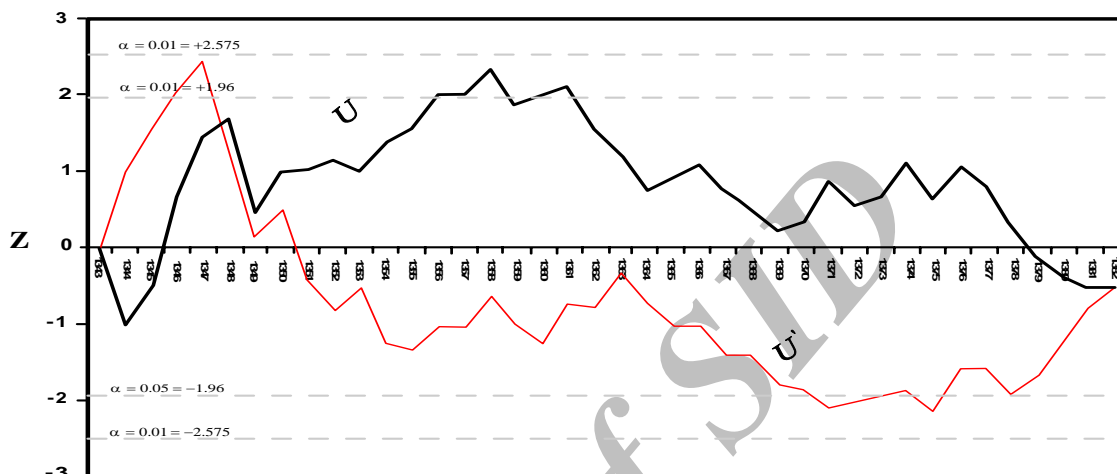
شکل ۲- برازش نمودار خط سن بر سری زمانی داده‌های میانگین بارش ایستگاهی ایران

ایستگاهی بارش که در بالا توضیح داده شد، بر روی میانگین بارش یاخته‌ای ایران نیز اعمال گردید. نتایج تحلیل نشان داد که در سری زمانی میانگین یاخته‌ای بارش ایران نیز روند معنی‌داری مشاهده نشده است. در شکل ۳ نمودارهای  $U$  و  $U'$  در بالاتر از خطوط بریده بریده که سطوح معنی‌داری ۹۹٪ و ۹۵٪ را نشان می‌دهد، همدیگر را قطع نکرده‌اند. در واقع عدم قطع این نمودارها در بالاتر از خطوط معنی‌داری،

با توجه به عدم توزیع منظم ایستگاه‌ها در سطح کشور و هم این که مقدار بارش هر ایستگاه در واقع نماینده بارش یک نقطه بوده به نظر می‌رسید که این تعداد ایستگاه (۱۴۳۷ ایستگاه همدید، اقلیمی و بارانسنجی) نمی‌توانند میانگین واقعی بارش ایران را نشان دهند، به همین منظور در ادامه این پژوهش تحلیل‌های آماری انجام شده بر روی میانگین

علاوه بر آن برای دوره‌ی زمانی معینی روی هم منطبق شوند، بیانگر جهش طبیعی بارش است. پس در این بررسی جهش طبیعی نیز در میانگین بارش که معنی‌دار باشد مشاهد نشد (شکل ۳).

به معنای قبول تصادفی بودن (قبول فرض  $H_0$ ) و عدم وجود روند معنی‌دار ( $H_1$ ) متغیر میانگین یاخته‌ای بارش ایران است. اگر دو تا منحنی در بالاتر از خطوط معنی‌داری یکدیگر را در مدت زمانی قطع کنند و



شکل ۳) تحلیل روند میانگین یاخته‌ای بارش ایران

ترتیب برابر با  $2/503$  و  $2/212$  میلیمتر بوده است. در حالی که کمینه و بیشینه کاهش بارش در سطح  $95\%$  به ترتیب  $1/92$  و  $1/63$  میلیمتر برآورد شده است (جدول ۳).

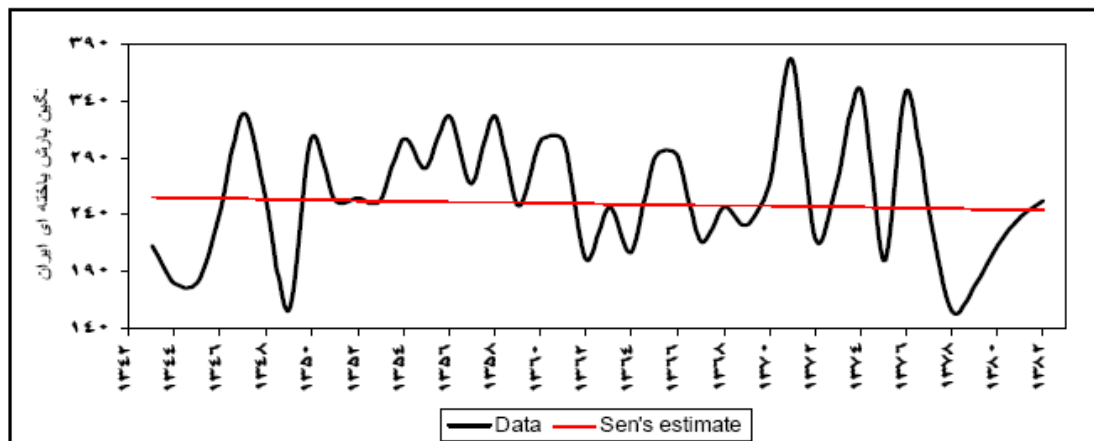
آماره‌های آزمون سن در سطوح اطمینان مورد بررسی برای میانگین یاخته‌ای بارش ایران نشان داد که به طور متوسط بارش ایران در هر سال چیزی در حدود  $0/28$  - میلیمتر کاهش داشته است؛ ضمن این که کمینه و بیشینه کاهش بارش ایران در سطح  $99\%$  به

جدول ۳- مقادیر آماره‌های آزمون من-کندال و سن در تحلیل روند میانگین بارش یاخته‌ای ایران در سطوح اطمینان  $95\%$  و  $99\%$

سری زمانی	طول سری زمانی داده‌ها (سال)	آزمون Z	معنی‌داری در سطح $99\%$	$Q_{med}$ (میلیمتر)	$Q_{min 99\%}$ (میلیمتر)	$Q_{max 99\%}$ (میلیمتر)	B (میلیمتر)	$B_{min 99\%}$ (میلیمتر)	$B_{max 99\%}$ (میلیمتر)
میانگین ایستگاهی بارش ایران طی سال- های ۱۳۸۲-۱۳۴۳	۴۰	-۰/۵	---	-۰/۲۷۹	-۲/۵۰۳	۲/۲۱۲	۲۵۵/۰۳	۳۰۳/۸۳	۲۱۲/۷۵
سری زمانی	طول سری زمانی داده‌ها (سال)	آزمون Z	معنی‌داری در سطح $95\%$	$Q_{med}$ (میلیمتر)	$Q_{min 95\%}$ (میلیمتر)	$Q_{max 95\%}$ (میلیمتر)	B (میلیمتر)	$B_{min 95\%}$ (میلیمتر)	$B_{max 95\%}$ (میلیمتر)
میانگین ایستگاهی بارش ایران طی سال- های ۱۳۸۲-۱۳۴۳	۴۰	-۰/۵	---	-۰/۲۷۹	-۱/۹۲۳	۱/۶۳۵	۲۵۵/۰۳	۲۸۹/۹۸	۲۲۲/۵۹

مقدار مطلق بارش را اگرچه در هیچ کدام از سطوح مورد بررسی معنی دار نبود، نشان می دهد (شکل ۴).

همچنین برآزش نمودار خط سن بر داده های میانگین بارش ایستگاهی ایران نیز کاهش بسیار کم



شکل ۴- برآزش نمودار خط سن بر سری زمانی داده های میانگین یاخته ای بارش ایران

مکعب آب در هر سال، برای کشوری همچون ایران که به شدت به آبهای حاصل از نزولات جوی نیازمند است می تواند هشدار دهنده باشد و ایران را با بحران کمبود آب مواجه سازد.

#### منابع

سازمان هواشناسی کشور.  
 عساکره، حسین. (۱۳۸۴)، تحلیل روند بارش سالانه استان اصفهان، نیوار ۵۶ و ۵۷ بهار و تابستان ۱۳۸۴.  
 عسگری، احمد، رحیم زاده، فاطمه، محمدیان، نوشین، فتاحی، ابراهیم، (۱۳۸۶)، تحلیل روند نمایه های بارش های جدی در ایران، تحقیقات منابع آب، سال سوم، شماره ۳، زمستان ۱۳۸۶، صص ۴۲-۵۵.  
 عزیز، قاسم، روشنی، محمود، (۱۳۸۷)، مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من-کندال، پژوهش های جغرافیایی، شماره ۶۴، صص ۱۳-۲۸.

#### نتیجه گیری

به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که در سری های زمانی میانگین ایستگاهی و یاخته ای بارش ایران، روند افزایشی یا کاهشی معنی داری در سطوح ۹۹٪ و ۹۵٪ وجود ندارد. با این حال میانگین ایستگاهی بارش ایران به طور متوسط در هر سال تقریباً در حدود ۰/۶۴ میلیمتر و میانگین یاخته ای بارش ایران نیز در حدود ۰/۵ میلیمتر کاهش یافته است. در نگاه اول به نظر می رسد کاهش میانگین بارش ۰/۵ و یا ۰/۶۴ میلیمتر در هر سال مقدار ناچیزی باشد، اما با محاسبه این کاهش بارش که به ترتیب باعث کاهش ۸۲۴/۰۹۷/۵۰۰ و ۱/۰۵۴/۸۴۴/۸۰۰ متر مکعب آب های حاصل از بارش در هر سال است؛ می توان دریافت که در بلند مدت این کاهش بارش تهدیدی جدی برای منابع آب کشور است. اگرچه مقدار آب های حاصل از نزولات جوی در ایران به طور متوسط در هر سال حدود ۴۰۰ میلیارد متر مکعب است، با این وجود کاهش تقریباً یک میلیارد متر

- Feidas, H., Nouloupoulou, Ch., Makrogiannis, T., Bora-Senta, E. (2007), Trend analysis of precipitation time series in Greece and their relationship with circulation using surface and satellite data: 1955–2001, *Theor. Appl. Climatol.* 87, 155–177.
- Hidalgo, G. J. C., De Luis, M., Ravento's, J., Sa' nchez, J. R., (2003), Daily rainfall trend in the Valencia Region of Spain, *Theor. Appl. Climatol.* 75, 117–130.
- Haylock, M. R., Peterson, T. C., Alves, L. M., Ambrizzi, T., Anunciacao, Y. M. T., Baez, J., Barros, V. R., Berlato, M. A., Bidegain, M., Coronel, G., Corradi, V., Garacia, V. J., Grimm, A. M., Karoly, D., Marengo, J. A., Marino, M. B., Moncunill, D. F., Nechet, D., Quintan, J., Rebello, E., Rusticucci, M., Santos, J. L., Trebejo, I., Vincent, L. A. (2005). Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature, *Journal of Climate*, Volume 19, 1490-1512.
- Karl, T. R., Knight, R. W. (1998), Secular Trends of Precipitation Amount, Frequency, and Intensity in the United states, *Bulletin of the American Meteorology Society*, Vol. 79, No. 2, February, 231-241.
- Kunkel, K. E. (2003), North American Trends in Extreme Precipitation, *Natural Hazards* 29: 291–305.
- Liebmann, B., Vera, C.S., Leila Carvalho, M. V., Camilloni, I.S.A., Hoerling, M. P., Allured, D. Barros, V. R., Ba' Ez, J. N. Bidegain, M. (2004), An Observed Trend in Central South American Precipitation, *Journal of Climate*, Volume 17, 4357-4367.
- Su, B. D., Jiang, T., Jin, W. B. (2006), Recent trends in observed temperature and precipitation extremes in the Yangtze River basin, China, *Theor. Appl. Climatol.* 83, 139–151.
- Vivekanandan, N. (2007), Analysis of Trend in Rainfall Using Non Parametric Statistical Methods, international symposium on rainfall rate and radio wave propagation, American institute of physics. P101-113.
- حجام، سهراب، خوشخو، یونس، شمس‌الدین‌وندی، رضا، (۱۳۸۷)، تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوزه ایران مرکزی با استفاده از روش‌های ناپارامتری، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۶، صص ۱۵۷–۱۶۸.
- کتیرایی، پری سیما، حجام، سهراب، ایران‌نژاد، پرویز، (۱۳۸۶)، سهم تغییرات فراوانی و شدت بارش روزانه در روند بارش در ایران طی دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۱، مجله فیزیک زمین و فضا، جلد ۳۳، شماره ۱، ۱۳۸۶، ۶۷–۸۳.
- Akinremi, O. O., Mcginn, S. M., Cutforth, H. W. (1998), Precipitation Trends on the Canadian Prairies, *Journal of Climate*, Volume 12, 2996.
- Akinremi, O. O., Mcginn, S. M., Cutforth, H. W. (2001), Seasonal and Spatial Patterns of Rainfall Trends on the Canadian Prairies, *Notes and Correspondence*, 2177.
- Angel, J.R., Huff, F.A. (1997), Changes in heavy rainfall in Midwestern United States, *Journal of water Resources planning and management*, July/August. 246-249
- Brahmananda R.V., Giarolla, E., Kayano, M. T., Franchito, S. H. (2006), Is the Recent Increasing Trend of Rainfall over Northeast Brazil Related to Sub-Saharan Drought? *Journal of Climate*, Volume 19, 4448-4453.
- Becker, S., Gemmer, M., Jiang, T. (2006), Spatiotemporal analysis of precipitation trends in the Yangtze River Catchment, *Stoch Environ Res Risk Assess* 20: 435–444.
- Crochet, P. (2007), A Study of Regional Precipitation Trends in Iceland Using a High-Quality Gauge Network and ERA-40, *Journal of Climate*, Volume 20, 4659-4677.