پژوهش‌های جغرافیایی – شماره۶۴، تابستان ۱۳۸۷
صص ۱۵۷ – ۱۶۸

تحلیل روند تغییرات بارندگی های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوزه مرکزی ایران با استفاده از روش های ناپارامتری

سهراب حجام* – دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات
یونس خوشخو – کارشناس ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه تهران
رضا شمس الدین وندی – مربی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام
پذیرش مقاله ۱۳۸۵/۸/۱۴ تایید نهایی ۱۳۸۶/۱۲/۱

چکیده

هدف از انجام این تحقیق، بررسی روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوزه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری می‌باشد. دو آزمون من- کندال و Sen's Estimator Slope که جزو متداول‌ترین روش‌های ناپارامتری به شمار می‌روند جهت تحلیل روند داده‌های بارندگی در مقیاس‌های فصلی و سالانه به کار گرفته شدند. ۴۸ ایستگاه باران‌سنجی واقع درحوزه مرکزی ایران که در بازه زمانی ۱۳۵۰ الی ۱۳۷۹ دارای آمار بودند انتخاب و دو آزمون فوق برروی داده‌های آنها اعمال گردید و نتایج حاصل از این دو روش با هم مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که کارآیی دو روش فوق در تحلیل روند بارندگی‌های فصلی و سالانه در بیشتر موارد شبیه هم است و کارآیی روش Sen's Estimator Slope در تحلیل مشاهداتی که در آنها تعداد داده‌های صفر(عدم وجود بارندگی) زیاد است بهتر از آزمون من- کندال می‌باشد. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان‌دهنده وجود روند کاهشی و معنی‌دار توسط هر دو آزمون بکارگرفته شده در برخی از سری‌های زمانی مورد مطالعه بود ولی هیچ روند افزایشی و معنی‌داری بصورت توأم توسط دو آزمون بکارگرفته شده مورد تأیید قرار نگرفت. با توجه به ناکافی بودن تعداد سری‌های دارای روند معنی‌دار نسبت به سری‌های فاقد روند، نمی‌توان روند خاصی را بر بارندگی‌های فصلی و سالانه منطقه مورد مطالعه نسبت داد.

کلید واژه‌ها: تحلیل روند، بارش، روش‌های ناپارامتری، من- کندال، Sen's Estimator Slope.

مقدمه

یکی از روش‌های متداول جهت تحلیل سری‌های زمانی هیدرومتئورولوژیکی، بررسی وجود یا عدم وجود روند در آنها با استفاده از آزمون‌های آماری می‌باشد. اصولاً وجود روند در سری‌های زمانی هیدرومتئورولوژیکی ممکن است ناشی از تغییرات تدریجی طبیعی و تغییر اقلیم یا اثر فعالیت‌های انسانی باشد(بروک و کارتز ۱۹۵۳، ۴۱۴). اثبات وجود روند معنی‌دار در یک سری زمانی بارندگی به تنهایی نمی‌تواند دلیلی قاطع بر وقوع تغییر اقلیم در یک منطقه باشد بلکه فرض رخداد آن را تقویت می‌نماید(سیرانو و همکاران ۱۹۹۹، ۸۶). این ویژگی ناشی از

*نویسنده مسئول : ۰۹۱۲ ۱۴۸۱۰۸۵
E_mail: Shajjam@ut.ac.ir

متعدد بودن عوامل کنترل‌کننده سامانه اقلیم می‌باشد. تاکنون روش‌های آماری متعددی جهت تحلیل روند سری‌های زمانی ارائه گردیده‌اند که این روش‌ها در دو دسته کلی روش‌های پارامتری و ناپارامتری قابل تقسیم‌بندی می‌باشند که روش‌های ناپارامتری از کاربرد نسبتاً وسیع‌تر و چشمگیرتری نسبت به روش‌های پارامتری برخوردارند(تاکیوچی و ایشیداری ۲۰۰۳، ۱۴۵). مبنای کلیه روش‌های آماری مطرح نمودن دو فرضیه صفر (H_0) و یک (H_1) و آزمون نمودن آنها بر اساس تکنیک‌هایی خاص و در نهایت پذیرش یکی از دو فرضیه فوق می‌باشد. پذیرفته شدن فرض صفر یعنی عدم وجود روند و پذیرش فرض یک به منزله وجود روند معنی‌دار در سری داده‌ها می‌باشد. روش‌های پارامتری‌که جهت تحلیل روند سری‌های زمانی بکار گرفته می‌شوند عمدتاً بر اساس رابطه رگرسیونی بین سری داده‌ها با زمان استوار می‌باشند که آزمون t - استیودنت[1] از جمله متداول‌ترین این روش‌ها به شمار می‌رود. یکی از پیش‌فرض‌های لازم جهت استفاده از روش‌های پارامتری این است که سری زمانی مورد نظر جهت تحلیل روند بایستی تابع یک توزیع خاص آماری باشد. لذا در مورد سری‌هایی که توزیع آماری خاصی بر آنها قابل برازش نیست روش‌های پارامتری با نوعی محدودیت مواجه می‌باشند. اما در روش‌های ناپارامتری اساس کار بر تفاوت بین داده‌های مشاهداتی است به گونه‌ای که این روش‌ها مستقل از توزیع آماری سری زمانی بوده و خصوصاً برای سری‌هایی که چولگی یا کشیدگی زیادی دارند مناسب‌تر از روش‌های پارامتری می‌باشند(بیهرات و مهمتیک۲۰۰۳، ۲۴۸). دو آزمون من- کندال[2] و Sen's Estimator جزو متداول‌ترین روش‌های ناپارامتری تحلیل روند سری‌های زمانی هیدرومتئولوژیکی به شمار می‌روند. مطالعات مختلف انجام شده با استفاده از این دو روش حاکی از اهمیت و کاربرد فراوان آنها در تحلیل روند سری‌های زمانی می‌باشد. بارندگی بعنوان یک متغیر تصادفی جزو آن دسته از عناصر اقلیمی است که تغییرات چشمگیری با زمان و مکان دارد به گونه‌ای که می‌توان آن را در زمره تغییرپذیرترین عوامل جوی به حساب آورد. در زمینه اهمیت تأثیر بارندگی روی سامانه اقلیم مطالعات متعددی به انجام رسیده که در این زمینه می‌توان به مطالعات تورگی و ارکن (۲۰۰۵، ۱)، پیکارتا و همکاران (۲۰۰۴، ۹۰۷)، تاکیوچی و ایشیداری (۲۰۰۳، ۱۴۴)، کیلی و همکاران (۱۹۹۸، ۲۷۰)، ماتیاسوفزسکی و همکاران (۱۹۹۳، ۳۹ ـ ۵۵) اشاره نمود که در کلیه مطالعات فوق، تحلیل روند سری‌های زمانی بارندگی با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری صورت گرفته است. در رابطه با مطالعات داخلی نیز موضوع تحلیل روند سری‌های زمانی بارندگی به روش‌های پارامتری و ناپارامتری توجه محققین زیادی را به خود معطوف نموده است که به برخی از مطالعات صورت گرفته در این خصوص اشاره‌ای می‌گردد. کمالی (۱۳۷۵) در بررسی‌ای که روی روند بارندگی ایستگاه های مختلف ایران طی دوره آماری ۱۳۷۵- ۱۳۶۵ انجام داد نشان داد که روند بارندگی در برخی از نقاط کاهشی و در برخی دیگر افزایشی بوده است. او نشان داد که روند افزایشی در ایران از فراوانی بیشتری نسبت به روند کاهشی برخوردار بوده است. جاوری(۱۳۸۰) به بررسی تغییرات زمانی دما و بارش ایران با استفاده از آزمون‌های آماری در قالب مدل‌های ثابت و متغیر پرداخت و نشان داد که تغییرات زمانی دما و بارش در ایران از تنوع چشمگیری برخوردار بوده و این تغییرات در قالب حرکات تصادفی، تغییرات

1. T- Student Test
2. Mann - Kendall

رونددار، نوسانات فصلی و تغییرات دوره‌ای ظاهر می‌شوند. بر همین اساس او به لحاظ تغییرات زمانی دما و بارش، ایران را به ۵ پهنه مختلف تقسیم نمود. مشکاتی(۱۳۸۱) روند تغییرات بارش کل سالانه برای ۲۸ ایستگاه در مناطق مختلف ایران را مورد تحلیل قرار داد و مناطق مختلفی که دارای روند معنی‌دار کاهشی و افزایشی بودند را تفکیک و دسته‌بندی نمود. روشنی(۱۳۸۲) به بررسی چند پارامتر اقلیمی مناطق ساحلی دریای خزر در دوره ۱۹۹۴- ۱۹۵۵ با استفاده از روش ناپارامتری من _ کندال پرداخت و نشان داد که زمان شروع بیشتر تغییرات بصورت ناگهانی بوده و این تغییرات به دو صورت روند و نوسان ظاهر می‌گردند. کاویانی و عساکره (۱۳۸۲) تحلیل روند بارش در ایستگاه اصفهان را در یک دوره آماری ۱۰۳ ساله با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری به انجام رساندند. نتایج حاصله وجود هیچ‌گونه روندی را توسط هیچ‌کدام از روش‌های بکار گرفته شده به تأیید نرسانید. خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۳) روند تغییرات بارندگی‌های سالانه، فصلی و ماهانه ۵ ایستگاه قدیمی ایران در طی دوره آماری ۲۰۰۱-۱۸۹۳ را با استفاده از روش پارامتری t - استیودنت و روش ناپارامتری من- کندال مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصله وجود هیچ نوع روند معنی‌داری را در سری‌های بارش سالانه در ایستگاه های مورد مطالعه تأیید نکرد اما در سری‌های بارش فصلی، هم روند افزایشی و هم روند کاهشی قابل مشاهده بود. محمدی و تقوی(۱۳۸۴) به بررسی روند شاخص‌های حدی بر اساس سری‌های زمانی روزانه دما و بارش در ایستگاه تهران در دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۵۱ پرداختند و توزیع دنباله‌های حدهای گرم و سرد را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و نتیجه گرفتند که روند دمای حداقل و دمای متوسط روزانه کاملاً افزایشی است اما روند افزایشی دمای حداکثر شیب کمتری دارد. شاخص‌های حدی بارش نیز روند کاهشی با شیب بسیار کم را نشان دادند. کتیرایی بروجردی و همکاران (۱۳۸۴) به بررسی روند تغییرات روزانه بارندگی ۳۸ ایستگاه ایران در طی دوره آماری ۲۰۰۱-۱۹۶۰ پرداختند. در این بررسی از روش پارامتری حداقل مربعات خطا و روش ناپارامتری من- کندال جهت تحلیل روند بارش کل سالانه، تعداد روزهای بارانی و شدت بارش روزانه استفاده شد. نتایج حاصله نشان‌دهنده وقوع برخی روندهای افزایشی و کاهشی در بارش کل سالانه در ایستگاه های مختلف بود. بارش فصل بهار در اغلب ایستگاه های مورد مطالعه روند کاهشی داشت و روند تعداد روزهای بارانی سالانه و فصلی(به استثنای فصل بهار) در اکثر ایستگاه ها افزایشی و معنی‌دار و روند شدت بارش روزانه و فصلی(به ویژه فصل بهار) در اکثر ایستگاه‌ها کاهشی تشخیص داده شد.

در این تحقیق، جهت بررسی روند سری داده‌های بارندگی در مقیاس‌های فصلی و سالانه، از دو آزمون ناپارامتری من- کندال و Sen's Estimator استفاده گردید و نتایج حاصله از این دو روش با هم مورد مقایسه قرار گرفتند.

مواد و روش ها

آزمون من- کندال ابتدا توسط *Mann* (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط *Kendall* (۱۹۷۵) بسط و توسعه یافت(سیرانو ۱۹۹۹، ۸۷). این روش بطور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی بکار گرفته می‌شود(لتن مایر و همکاران ۱۹۹۴، ۲۲۸). از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای

سری‌های زمانی‌ای که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره نمود. اثر پذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است (تورگی و ارکن۲۰۰۵، ۴). فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر است:

الف) محاسبه اختلاف بین تک‌تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت[1] و استخراج پارامتر S به شرح زیر:

$$S=\sum_{k=1}^{n-1}\sum_{j=k+1}^{n}\operatorname{sgn}(x_j-x_k) \qquad (۱)$$

که n تعداد مشاهدات سری، و x_j و x_k به ترتیب داده‌های jام و kام سری می‌باشند. تابع علامت نیز به شرح زیر قابل محاسبه است:

$$\operatorname{sgn}(x)=\begin{cases}+1 & if \quad (x_j-x_k)>0\\ 0 & if \quad (x_j-x_k)=0\\ -1 & if \quad (x_j-x_k)<0\end{cases} \qquad (۲)$$

ب) محاسبه واریانس توسط یکی از روابط زیر:

$$Var(S)=\frac{n(n-1)(2n+5)-\sum_{i=1}^{m}t(t-1)(2t+5)}{18} \qquad \text{اگر} \quad n>10 \quad : \qquad (۳)$$

$$Var(S)=\frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \qquad \text{اگر} \quad n\le 10 \quad : \qquad (۴)$$

که n تعداد داده‌های مشاهده‌ای و m معرف تعداد سری‌هایی است که در آنها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. t نیز بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان می‌باشد.

ج) استخراج آماره Z به کمک یکی از روابط زیر:

$$Z=\begin{cases}\dfrac{S-1}{\sqrt{Var(s)}} & if \quad S>0\\ 0 & if \quad S=0\\ \dfrac{S+1}{\sqrt{Var(s)}} & if \quad S<0\end{cases} \qquad (۵)$$

در یک آزمون دو دامنه جهت روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه زیر برقرارباشد

$$|Z|\le Z_{\alpha/2}$$

که α سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و Z_α آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی دار α می‌باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از $\alpha/2$ استفاده شده است. در بررسی حاضر این

1. Sign Function

آزمون برای سطوح اعتماد ۹۵٪ و ۹۹٪ بکار گرفته شد. در صورتی که آماره Z مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود.

Sen (۱۹۶۸) با توسعه و بسط یک سری مطالعات آماری که Thiel (۱۹۵۰) به انجام رسانده بود یک روش ناپارامتری را جهت تحلیل سری‌های زمانی ارائه نمود. این روش نیز همانند روش من- کندال از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی بهره می‌گیرد. نقاط قوتی که در روش من- کندال ذکر گردیدند بر این روش نیز مترتب می‌باشند. اساس این روش بر محاسبه یک شیب میانه برای سری زمانی و قضاوت نمودن در مورد معنی- داری شیب بدست آمده در سطوح اعتماد مختلف می‌باشد. مراحل کلی انجام این آزمون به شرح زیر می‌باشد:

الف) محاسبه شیب بین هر جفت داده مشاهده‌ای با استفاده از رابطه زیر:

$$Q = \frac{X_t - X_s}{t - s} \qquad (۷)$$

که در آن، X_t و X_S به ترتیب داده‌های مشاهده‌ای در زمان‌های t و s، و t یک واحد زمانی بعد از زمان s می‌باشد. با اعمال رابطه (۷) برای هر دو جفت داده مشاهده‌ای، یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده حاصل می‌آید که از محاسبه میانه این سری زمانی شیب خط روند (Q_{med}) بدست می‌آید. مقدار مثبت Q_{med} حاکی از صعودی بودن روند و مقدار منفی آن دال بر نزولی بودن روند می‌باشد.

ب) محاسبه پارامتر C_α در سطوح اعتماد مورد آزمون به کمک رابطه زیر:

$$C_\alpha = Z_{1-\alpha/2} * \sqrt{\mathrm{var}(s)} \qquad (۸)$$

که در آن Z آماره توزیع نرمال استاندارد می‌باشد و در یک آزمون دو دامنه بسته به سطوح اعتماد مورد آزمون می‌تواند مقادیر مختلفی به خود بگیرد. این آماره برای سطوح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ به ترتیب برابر با Z=1.96 و Z=2.58 در نظر گرفته می‌شود.

ج) محاسبه حدود اعتماد بالا و پایین(M_1 و M_2)و به کمک روابط زیر:

$$\begin{cases} M_1 = \dfrac{N' + C_\alpha}{2} \\ M_2 = \dfrac{N' - C_\alpha}{2} \end{cases} \qquad (۹)$$

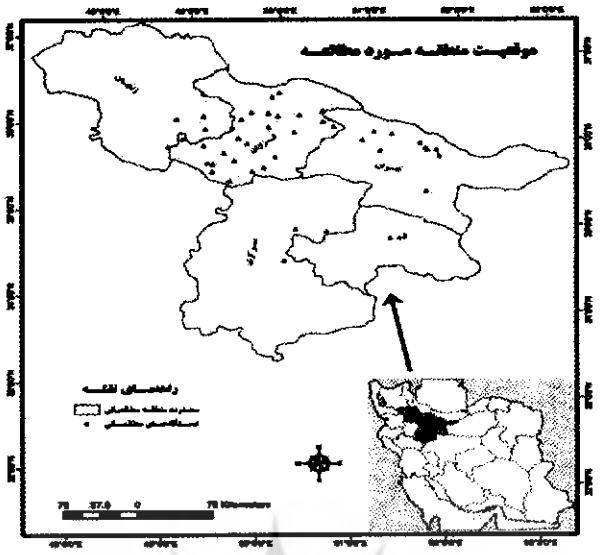
که N' تعداد شیب‌های محاسبه شده در بند (الف) می‌باشد.

د) مرحله نهایی این روش، آزمون نمودن حدود اعتماد محاسبه شده می‌باشد. به این ترتیب که از بین شیب‌های محاسبه شده توسط رابطه (۷)، M_1 امین و $(M_2 + 1)$ امین شیب‌ها استخراج می‌گردند. در صورتی که عدد صفر در دامنه بین دو شیب استخراج شده فوق قرار بگیرد فرض صفر پذیرفته شده و بر سری زمانی مورد آزمون نمی‌توان هیچ‌گونه روندی در سطح اعتماد بکارگرفته شده نسبت داد. در غیر اینصورت فرض صفر رد شده و می‌توان پذیرفت که سری زمانی دارای روند معنی‌داری در سطح اعتماد مورد آزمون می‌باشد.

در این بررسی از آمار سی ساله بارندگی چند ایستگاه منتخب در حوزه مرکزی ایران که در طی دوره آماری ۱۳۵۰ الی ۱۳۷۹ دارای آمار بودند استفاده گردید. به منظور اطمینان از همگنی داده‌ها، آزمون روان(Run Test) روی آمار بارندگی ایستگاه ها اعمال گشته و ایستگاه های غیر همگن کنار گذاشته شدند و در نهایت ۴۸ ایستگاه انتخاب گردیدند. برای تک‌تک ایستگاه های مورد مطالعه سری‌های فصلی و سالانه بارندگی استخراج و در نهایت ۲۴۰ سری زمانی ایجاد شدند. مشخصات و موقعیت ایستگاه های مورد مطالعه در شکل۱ و جدول ۱ درج گردیده است.

جدول۱. مشخصات و موقعیت ایستگاه های منطقه مورد مطالعه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
توپ قره	۴۸/۷۵	۳۶/۱۳	حاجی عرب	۴۹/۷۵	۳۵/۷۵	آبگرم خرقان	۴۹/۳۰	۳۵/۶۰
کوه سفید	۵۱/۱۷	۳۴/۸۲	ککجین	۴۹/۸۸	۳۵/۷۸	لتیان زیر پله	۵۱/۶۸	۳۶/۱۷
زیاران	۵۰/۵۰	۳۶/۱۰	کنشکین	۴۹/۵۸	۳۵/۶۷	ارتش آباد	۴۹/۴۲	۳۶/۲۳
قروه	۴۹/۳۸	۳۶/۰۵	کینه ورز	۴۹/۰۵	۳۶/۴۲	مرتضی آباد	۴۹/۸۰	۳۶/۱۷
قزلو	۴۹/۱۲	۳۵/۶۳	کند سفلی	۵۱/۶۵	۷۳,۳۵	رودک قزوین	۴۹/۸۷	۳۵/۸۵
اهر	۵۱/۴۷	۳۵/۹۳	میزوج	۵۰/۱۲	۳۵/۳۷	باقر آباد	۵۱/۵۵	۳۶/۴۰
مهین	۴۹/۴۷	۳۶/۱۵	ده صومعه	۵۰/۸۳	۳۴/۹۰	بند شاه عباسی	۵۰/۱۳	۳۵/۹۵
چرگر	۴۹/۰۳	۳۶/۴۳	ضیا آباد	۴۹/۴۵	۳۶/۱۰	بایه نصرت آباد	۵۰/۰۰	۳۵/۹۳
چناسک	۵۰/۳۷	۳۶/۲۷	آشتجین	۴۹/۷۷	۳۶/۱۵	بهجت آباد	۵۰/۳۸	۳۶/۲۳
دشتک	۴۸/۸۳	۳۵/۹۰	محمدآباد	۵۱/۷۷	۳۵/۸۳	محمود آباد	۴۹/۰۷	۳۳/۸۸
رودک	۵۱/۵۵	۳۵/۸۵	محمدآباد خره	۵۰/۰۷	۳۵/۸۷	رودبار قصران	۵۱/۵۳	۳۶/۰۲
بیلقان	۵۱/۰۳	۳۵/۸۳	دشت تپه	۴۸/۶۸	۳۶/۰۲	چنگ الماس	۴۹/۰۸	۳۵/۸۰
آشتیان	۵۰/۰۲	۳۴/۵۳	نصرت آباد	۴۹/۶۲	۳۴/۸۸	امام آباد ساوه	۵۰/۴۷	۳۵/۵۵
سیرا	۵۱/۱۵	۳۶/۰۳	پرس پنجه	۴۹/۳۸	۳۶/۰۵	سرهه برغان	۵۰/۹۵	۳۵/۴۳
بیدستان	۵۰/۱۲	۳۶/۲۲	رحیم آباد	۴۹/۵۵	۳۶/۲۰	اسماعیل آباد	۴۹/۸۸	۳۵/۸۷
دیال آباد	۴۹/۷۸	۳۶/۰۷	سلطان بلاغ	۴۹/۱۸	۳۵/۶۲	ده اروان	۴۹/۱۸	۳۵/۵۳



شکل ۱. موقعیت ایستگاه ها در منطقه مورد مطالعه

یافته‌های تحقیق

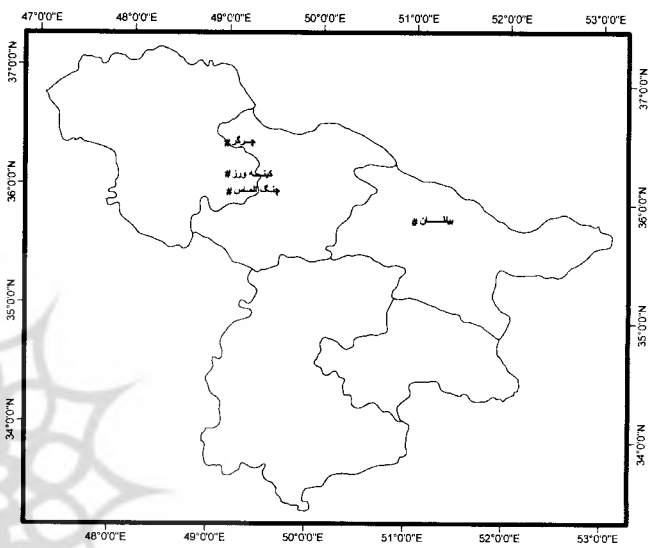
برای کلیه سری‌های زمانی مورد مطالعه در ابتدا آماره‌های دو آزمون من- کندال و Sen's Estimator محاسبه گردیدند سپس معنی‌داری این آماره‌ها در سطوح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ مورد آزمون قرار گرفت که نتایج حاصله در جداول ۲ و ۳ درج گردیده است. همانطور که از این جداول بر می‌آید در بین سری‌های فصلی و سالانه، بیشترین روند معنی‌دار تأیید شده توسط هر دو آزمون من- کندال و Sen's Estimator در سری داده‌های فصل زمستان مشاهده گردید به طوری که در آزمون من- کندال در سطوح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ به ترتیب، ۱۸/۷۵ و ۱۰/۴۲ درصد و در آزمونSen's Estimator به ترتیب ۱۴/۵۸ و ۱۰/۴۲ درصد ایستگاه های مورد مطالعه دارای روند کاهشی و معنی‌دار بودند. در بین سری داده‌های فصل پاییز در سطوح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ در هیچ ایستگاهی روند معنی‌داری مشاهده نگردید. طی فصل تابستان هیچیک از سری‌های زمانی مورد مطالعه روند معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹٪ نداشتند اما در سطح اطمینان ۹۵٪ ایستگاه باقرآباد توسط آزمون من-کندال دارای روند صعودی و معنی‌دار تشخیص داده شد اما آزمون Sen's Estimator وجود چنین روندی را رد نمود. در فصل بهار نیز در هیچیک از سری‌های زمانی روند معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹٪ تشخیص داده نشد ولی در سطح اطمینان ۹۵٪، در ۸/۳۳ درصد موارد، هر دو آزمون روند نزولی و معنی‌دار را مورد تأیید قرار دادند. نتایج حاصل از تحلیل سری سالانه داده‌های بارندگی نیز نشان داد که در سطوح معنی‌دار ۹۵٪ و ۹۹٪ به ترتیب ۱۲/۵۰ و ۸/۳۳ درصد ایستگاه ها توسط هر دو آزمون دارای روند نزولی و معنی‌دار تشخیص داده شدند. شکل‌های ۲ الی ۶ توزیع مکانی ایستگاه های دارای روند معنی‌دار در سطوح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ را به تفکیک سری‌های فصلی و سالانه نشان می‌دهند. همچنین جهت مقایسه بین میزان معنی‌داری روند در ایستگاه های دارای روند معنی‌دار از آماره آزمون من- کندال استفاده گردید که نتایج حاصله برای سری‌های فصل بهار، فصل زمستان و سری سالانه که در آنها روندهای معنی‌دار قابل تشخیص می‌باشد در شکل‌های ۷ الی ۹ آورده شده‌اند.

جدول۲. نتایج حاصله از آزمون من- کندال و *Sen's Estimator* در سطوح اعتماد ۹۵ و ۹۹ درصد (*Z* آماره من- کندال و *Qmed* شیب خط روند *Sen's Estimator*)، * وجود روند در سطح ۹۵ درصد؛ ** وجود روند در سطح ۹۹ درصد

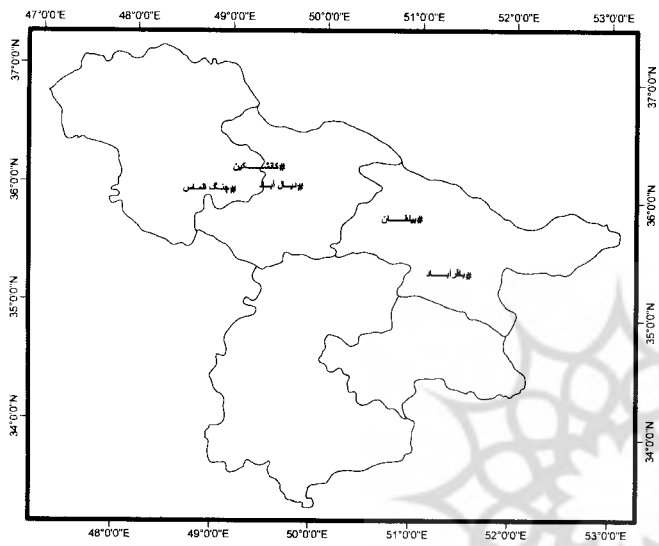
نام ایستگاه	بهار		تابستان		پاییز		زمستان		سالانه	
	z	Qmed	z	Qmed	z	Qmed	z	Qmed	z	Qmed
آبگرم خرقان	-۱/۴۸	-۱/۵۶	-۰/۳۰	۰/۰۰	۰/۲۷	۰/۱۴	-۱/۱۳	-۰/۸۳	-۱/۳۲	-۲/۱۷
آشتجین	-۱/۷۰	-۲/۰۹	-۰/۰۲	۰/۰۰	-۰/۰۵	-۰/۱۱	-۱/۸۴	-۲/۹۸	-۱/۸۰	-۴/۱۲
آشتیان	-۱/۲۹	-۱/۳۳	۰/۲۱	۰/۰۰	۰/۳۹	۰/۴۲	-۲/۵۴ *	-۱/۸۱ *	-۱/۹۱	-۲/۹۴
ارتش آباد	-۰/۷۹	-۰/۹۲	-۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۲۰	۰/۱۸	۰/۵۰	۰/۵۲	۰/۴۳	۱/۰۰
اسماعیل آباد	-۰/۴۳	-۰/۲۸	۰/۳۰	۰/۰۰	۱/۰۲	۱/۰۰	-۱/۱۴	-۱/۰۹	۰/۲۵	۱/۰۰
امام آباد ساوه	۰/۳۲	۰/۱۷	۰/۵۴	۰/۰۰	۰/۴۱	۰/۳۸	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۹۱	۱/۷۹
اهر	-۰/۸۴	-۱/۸۸	۱/۰۵	۰/۳۷	۰/۷۰	۱/۵۲	-۰/۷۷	-۱/۷۵	-۰/۱۳	-۰/۵۰
باقر آباد	-۱/۴۱	-۱/۵۰	۲/۰۰ *	۰/۰۰	-۰/۰۲	۰/۰۰	-۳/۰۵ **	-۳/۱۷ **	-۳/۰۵ **	-۵/۶۹ **
بایه نصرت آباد	۰/۲۰	۰/۱۷	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۵۵	۰/۵۰	-۰/۲۹	-۰/۲۶	۰/۹۶	۱/۶۷
بند شاه عباسی	-۰/۵۴	-۰/۲۸	۰/۱۸	۰/۰۰	۰/۲۷	۰/۲۱	۰/۴۸	۰/۶۴	۰/۹۳	۱/۱۷
بهجت آباد	-۱/۰۴	-۱/۱۳	۰/۰۹	۰/۰۰	۰/۸۰	۰/۶۲	-۲/۱۳ *	-۱/۷۵	-۱/۳۰	-۲/۱۳
بیدستان	-۱/۰۲	-۱/۱۰	۰/۱۶	۰/۰۰	۰/۶۴	۰/۵۰	-۲/۰۲ *	-۱/۸۱	-۰/۹۳	-۱/۹۷
بیلقان	-۲/۳۶ *	-۲/۷۹ *	۰/۸۲	۰/۰۴	-۱/۱۱	-۱/۱۵	-۳/۴۵ **	-۴/۰۵ **	-۳/۸۲ **	-۸/۲۸ **
پرس پنجه	۰/۸۸	۱/۴۵	۱/۳۲	۰/۰۰	-۰/۵۵	-۰/۷۳	-۰/۴۵	-۰/۶۹	۰/۵۲	۱/۲۵
توپ قره	-۱/۵۰	-۱/۹۳	۰/۴۵	۰/۱۴	۱/۵۵	۲/۳۰	۰/۸۲	۰/۷۷	۰/۲۰	۰/۷۸
چرگر	-۲/۲۰ *	-۳/۰۶ *	۰/۶۱	۰/۰۰	۱/۱۴	۱/۲۹	-۰/۳۰	-۰/۳۷	-۱/۰۴	-۲/۱۸
چناسک	-۱/۷۷	-۲/۴۵	-۰/۲۳	۰/۰۰	۰/۲۳	۰/۶۰	-۲/۵۵ *	-۲/۸۳ *	-۱/۴۷	-۵/۴۴ *
چنگ الماس	-۲/۴۳ *	-۲/۶۵ *	-۰/۳۲	۰/۰۰	-۰/۵۲	-۰/۵۷	-۳/۰۷ **	-۲/۸۰ **	-۳/۱۶ **	-۷/۰۰ **
حاجی عرب	-۱/۱۱	-۱/۳۸	۰/۱۸	۰/۰۰	۱/۲۹	۱/۳۵	-۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۹۳	۱/۰۴
دشت تپه	-۱/۷۵	-۱/۷۷	۱/۲۳	۰/۱۱	۰/۸۹	۰/۷۷	-۱/۱۸	-۰/۹۵	-۰/۸۶	-۲/۳۹
دشتک	-۰/۷۹	-۰/۴۳	۱/۲۱	۰/۱۷	۱/۳۶	۱/۲۵	-۰/۳۹	-۰/۲۳	۰/۶۴	۱/۰۰
ده آروان	-۱/۱۶	-۱/۳۹	۰/۶۴	۰/۰۰	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۰۲	۰/۰۷	-۰/۳۸	-۱/۸۸
ده صومه	-۰/۹۵	-۱/۲۰	۰/۲۵	۰/۰۰	۰/۵۰	۰/۸۲	-۰/۹۸	-۱/۳۱	-۰/۴۸	-۱/۲۷
دیال آباد	-۱/۱۶	-۱/۰۰	۱/۱۸	۰/۰۶	-۰/۲۰	-۰/۱۳	-۲/۷۳ **	-۲/۱۳ **	-۱/۹۱	-۲/۶۷
رحیم آباد	-۰/۸۹	-۱/۱۷	۱/۲۷	۰/۱۰	۰/۶۸	۱/۰۷	-۰/۶۶	-۰/۹۴	۰/۱۶	۰/۲۳
رودبار قصران	-۰/۷۳	-۱/۷۹	۰/۶۸	۰/۰۸	۰/۲۷	۰/۲۴	-۰/۰۵	-۰/۰۷	۰/۱۶	۰/۳۱
رودک	-۰/۹۵	-۱/۲۸	۱/۰۷	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۴۲	-۰/۴۱	-۰/۶۸	-۰/۷۷	-۲/۲۱
رودک قزوین	-۱/۵۹	-۱/۹۲	۰/۵۴	۰/۰۰	۱/۰۵	۰/۷۱	-۱/۰۷	-۱/۰۰	-۰/۷۷	-۱/۷۴
زیاران	-۱/۳۲	-۱/۶۸	-۰/۳۹	۰/۰۰	۰/۵۴	۰/۸۴	۰/۰۴	۰/۰۰	-۰/۰۲	-۰/۰۷
سلطان بلاق	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۸۰	۰/۱۰	-۰/۱۶	-۰/۱۸	-۱/۱۱	-۱/۳۸	۰/۲۳	۱/۱۲
سیرا	-۱/۶۴	-۳/۲۹	۱/۶۱	۰/۴۴	-۰/۱۳	-۰/۳۳	-۱/۳۹	-۲/۴۸	-۱/۷۳	-۵/۷۵
صرحه برقان	۰/۱۶	۰/۳۰	۱/۳۲	۰/۰۰	۱/۳۰	۱/۵۶	۰/۳۶	۱/۱۴	۱/۳۴	۴/۰۰
ضیا آباد	-۰/۵۴	-۰/۵۰	۱/۶۴	۰/۱۰	۰/۵۷	۰/۵۰	-۰/۶۴	-۰/۶۵	-۰/۹	-۰/۳۰
قروه	-۱/۲۰	-۱/۲۴	۰/۴۵	۰/۰۰	۰/۷۰	۰/۷۵	-۱/۰۴	-۰/۶۳	-۰/۴۶	-۰/۹۰
قزلو	-۱/۰۰	-۱/۱۰	۱/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۸	-۱/۴۵	-۱/۵۰	-۱/۰۰	-۱/۵۴
کاکجین	-۱/۶۶	-۲/۲۷	۰/۰۴	۰/۰۰	-۰/۳۹	-۰/۷۲	-۱/۴۵	-۲/۵۰	-۱/۶۵	-۶/۰۰
کانشکین	-۱/۰۹	-۱/۳۸	۰/۳۶	۰/۰۱	-۰/۶۶	-۱/۰۲	-۳/۶۴ **	-۷/۲۷ **	-۲/۷۰ **	-۹/۳۰ **
کند سفلی	-۰/۷۱	-۱/۱۸	۰/۵۲	۰/۰۵	-۰/۰۲	-۰/۰۷	-۰/۳۸	-۰/۶۰	-۰/۷۱	-۲/۰۰
کوه سفید	-۱/۷۱	-۰/۸۲	۱/۱۳	۰/۰۰	-۰/۱۱	-۰/۱۰	-۱/۷۷	-۱/۱۰	-۲/۰۷ *	-۱/۸۳ *
کینه ورز	-۲/۲۱ *	-۳/۵۸ *	-۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۶۶	۰/۸۰	-۰/۵۰	-۰/۶۳	-۰/۸۰	-۲/۵۰
لتیان زیر پله	-۰/۵۵	-۰/۴۷	۰/۵۲	۰/۰۶	۰/۲۳	۰/۳۹	-۰/۷۳	-۰/۸۹	-۰/۲۷	-۰/۶۱
محمد آباد	-۱/۸۰	-۲/۱۱	۱/۵۰	۰/۰۰	۰/۲۳	۰/۲۳	۱/۱۸	-۱/۰۰	-۱/۲۹	-۲/۰۹
محمود آباد	-۱/۵۹	-۱/۷۵	-۰/۲۹	۰/۰۰	۰/۶۶	۰/۷۶	-۰/۷۷	-۰/۳۸	-۱/۳۶	-۲/۲۸
مرتضی آباد	-۰/۴۵	-۰/۲۵	۰/۷۱	۰/۰۰	۰/۶۴	۰/۹۴	۰/۱۱	۰/۲۰	۱/۰۹	۲/۶۲
مهین	-۱/۱۱	-۱/۱۵	۱/۰۴	۰/۰۰	۰/۱۳	۰/۲۶	۰/۵۴	۰/۴۸	-۰/۱۸	-۰/۲۸
میزوج	-۰/۴۶	-۰/۲۳	-۱/۰۷	۰/۰۰	۱/۱۱	۰/۴۷	۱/۰۹	۰/۷۸	۰/۹۳	۱/۴۴
میزوج	-۱/۴۳	-۱/۵۸	۰/۶۱	۰/۰۵	۱/۴۲	۰/۹۸	-۰/۸۹	-۱/۲۲	-۰/۲۷	-۰/۴۴
نصرت آباد	-۱/۱۴	-۱/۳۱	۰/۸۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	-۱/۳۳	-۰/۸۸	-۱/۰۵	-۱/۷۱

جدول۳. درصد ایستگاه های دارای روند معنی‌دار نسبت به کل ایستگاه ها به تفکیک آزمون‌ها و سطوح معنی‌دار

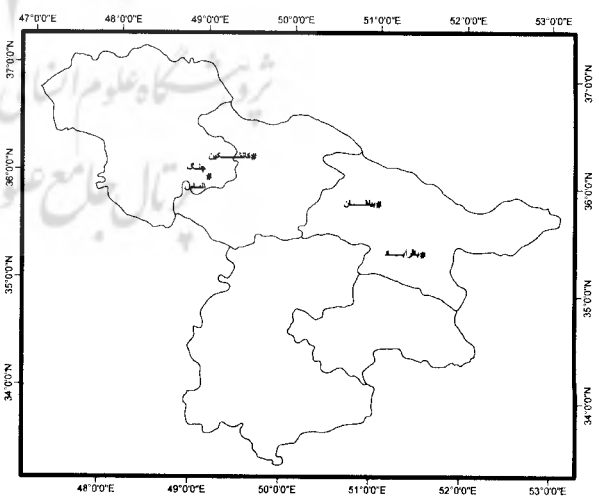
نوع آزمون	سطح معنی دار	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالانه
من - کندال	٪۹۵	٪۸/۳۳	٪۲/۰۸	۰	٪۱۸/۷۵	٪۱۲/۵۰
SEN' S ESTIMATOR		٪۸/۳۳	۰	۰	٪۱۴/۵۸	٪۱۲/۵۰
من - کندال	٪۹۹	۰	۰	۰	٪۱۰/۴۲	٪۸/۳۳
SEN' S ESTIMATOR		۰	۰	۰	٪۱۰/۴۲	٪۸/۳۳



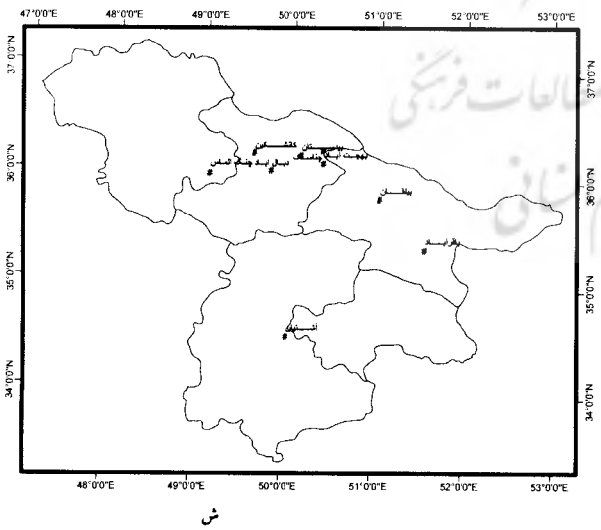
شکل ۲: ایستگاه های دارای روند معنی‌دار در سطوح اعتماد ۹۵ و ۹۹ درصد در فصل بهار



شکل ۳: ایستگاه های دارای روند معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۹ درصد در فصل زمستان

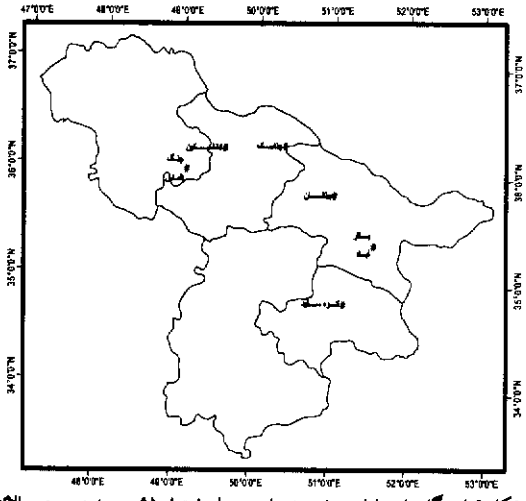


شکل ۴: ایستگاه های دارای روند معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۵ درصد در فصل زمستان

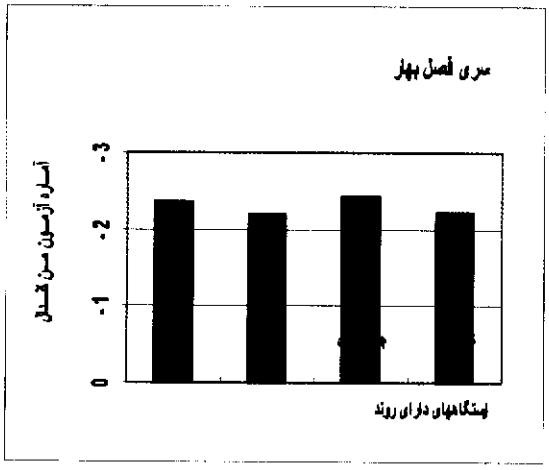


ش

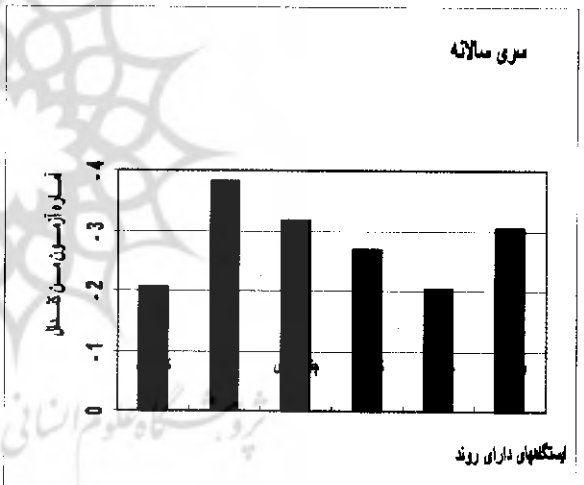
شکل ۵: ایستگاه های دارای روند معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۹ درصد در سری سالانه



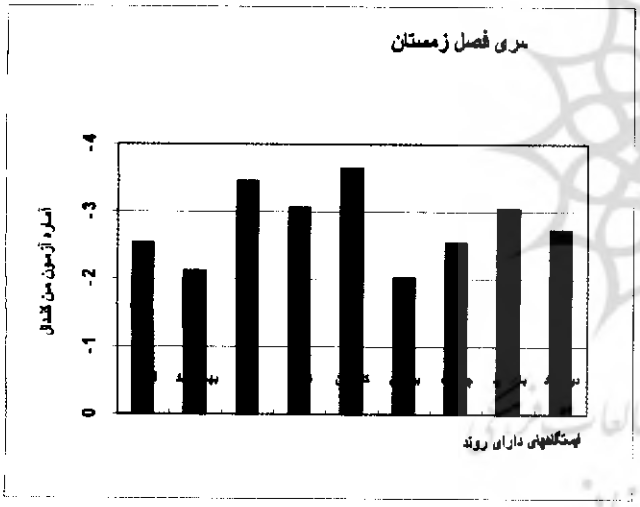
شکل ۶. ایستگاه های دارای روند معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۵ درصد در سری سالانه



شکل۷. مقایسه میزان معنی‌داری روند در ایستگاه های دارای روند معنی‌دار در فصل بهار



شکل ۸. مقایسه میزان معنی‌داری روند در ایستگاه های معنی‌دار فصل زمستان



شکل ۹. مقایسه معنی‌داری روند در ایستگاه های دارای روند معنی‌دار سالانه

بحث و نتیجه‌گیری

طبق نتایج بدست آمده کارآیی دو روش من- کندال و Sen's Estimator در تحلیل روند بارندگی‌های فصلی و سالانه در بیشتر موارد شبیه به هم بوده است. در سری داده‌های فصول بهار و پاییز و سری سالانه دو روش نتایج کاملاً مشابهی بدست دادند و در سری داده‌های فصل تابستان به استثنای یک ایستگاه (باقرآباد) و در فصل زمستان نیز به استثنای دو ایستگاه (بهجت‌آباد و بیدستان) در سایر موارد بکارگیری دو آزمون منجر به حصول نتایج کاملاً مشابهی گردید. به گونه‌ای که از میان ۲۴۰ سری داده‌ای که تحلیل روند بر روی آنها در سطوح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ به انجام رسید نتایج حاصل از بکارگیری دو روش فقط در ۳ سری داده با هم مطابقت نداشتند و در ۹۸/۷۵٪ موارد نتایج کاملاً مشابهی بدست آمد. از نکات قابل توجهی که می‌توان در ارتباط با اختلاف‌های مشاهده شده بین دو روش در ۳ سری مذکور به آن اشاره نمود این است که اولاً در کلیه موارد اختلاف، روش من- کندال روندهای معنی‌دارتری را نسبت به روش Sen's Estimator تشخیص داده است و ثانیاً این اختلاف‌ها

فقط در سطح اعتماد ۹۵٪ قابل مشاهده‌اند و در سطح اطمینان ۹۹٪ در بین نتایج دو روش هیچ گونه اختلافی مشاهده نمی‌گردد و دو روش نتایج کاملاً مشابهی بدست می‌دهند. به لحاظ صعودی یا نزولی بودن روند، در بین کلیه سری‌های دارای روند معنی‌دار در هیچ موردی روند صعودی توسط دو آزمون بصورت توأم مورد تأیید قرار نگرفت و در کلیه مواردی که دو آزمون نتایج مشابهی بدست دادند روندهای تأیید شده نزولی بودند. تنها روند صعودی و معنی‌دار مربوط به سری داده‌های فصل تابستان در ایستگاه باقرآباد در سطح اطمینان ۹۵٪ بود که وجود روند در آن فقط توسط آزمون من- کندال به تأیید رسید و روش Sen's Estimator وجود چنین روندی را تأیید نکرد. با توجه به فراوانی زیاد داده‌های صفر(بدون بارندگی) در سری داده‌های فصل تابستان در ایستگاه باقرآباد، تشخیص روند توسط آزمون من- کندال را می‌توان به وجود داده‌های تکراری صفر در سری داده‌ها نسبت داد. در چنین مواردی روش من- کندال ممکن است وجود روند را به اشتباه تشخیص دهد که این نتیجه توسط تحقیقات پیشین(خلیلی و بذرافشان، ۱۳۸۳) نیز به تأیید رسیده است. بر همین اساس روش Sen's Estimator در تحلیل روند سری‌هایی که در آنها فراوانی داده‌های تکراری زیاد می‌باشد از ارجحیت بیشتری نسبت به روش من- کندال برخوردار بوده و نتایج قابل قبول‌تری بدست می‌دهد.

با توجه به موقعیت و نحوه پراکنش ایستگاه های دارای روند معنی‌دار در منطقه مورد مطالعه، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که روندهای حادث‌شده در منطقه مورد مطالعه تابع هیچ نظم خاصی نبوده و نمی‌توان وجود روند خاصی را به قسمتی از منطقه مورد مطالعه یا کل آن نسبت داد. همچنین از آنجایی که تعداد سری‌های دارای روند معنی‌دار بسیار کمتر از سری‌های فاقد روند می‌باشند لذا دلیلی مبنی بر وجود روند بصورت منطقه‌ای وجود ندارد و روندهای حادث شده را می‌توان بصورت نقطه‌ای و تنها به ایستگاه های دارای روند نسبت داد.

شایان ذکر است که نتایج حاصل از این بررسی مربوط به دوره آماری ۱۳۵۰ الی ۱۳۷۹ بوده و با اضافه شدن آمار در سال‌های آتی، نتایج حاصله را می‌توان بهنگام‌سازی و تعدیل نمود. همچنین کارآیی دو روش مطرح شده در این تحقیق صرفاً در تحلیل روند سری‌های زمانی بارندگی نبوده و پیشنهاد می‌گردد که در تحلیل روند سایر سری‌های زمانی هواشناسی، هیدرولوژی و ... نیز از این دو روش استفاده بعمل آید.

منابع

۱. جاوری، مجید. (۱۳۸۲). تغییرات دما و بارش در ایران، پایان نامه دکترای جغرافیا، دانشگاه تهران.

۲. خلیلی ع، بذرافشان ج. (۱۳۸۳). تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های سالانه، فصلی و ماهانه پنج ایستگاه قدیمی ایران در یکصد و شانزده سال گذشته. بیابان. شماره ۱.جلد نهم. صص۳۳-۲۵.

۳. روشنی، محمود. (۱۳۸۲). بررسی تغییرات اقلیمی سواحل جنوبی دریای خزر، پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیا، دانشگاه تهران

۴. کمالی، غلامعلی. (۱۳۷۵). تغییرات شدید بارندگی در نقاط مختلف کشور در ده سال اخیر. اولین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم. تهران ۱۳۷۵.

۵. کاویانی م، و عساکره ح. ۱۳۸۲. بررسی آماری روند بلند مدت بارش سالانه اصفهان. سومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم. اصفهان ۱۳۸۲.

۶. کتیرایی بروجردی پ، حجام س، و ایران نژاد پ. ۱۳۸۴. بررسی روند تغییرات بارندگی در ایران طی دوره ۱۹۶۰ الی ۲۰۰۱. رساله دکتری هواشناسی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات.

۷. محمدی ح، و تقوی ف. (۱۳۸۴). روند شاخص‌های حدی دما و بارش در تهران. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۳، صص ۱۷۲-۱۵۱

8. Bihrat Onoz., Mehmetcik Bayazit. 2003. The Power of Statistical Tests for Trend Detection. Turkish J. Eng. Env. Sci. 27: 247-251

9. Brooks, C.E.P. and Carrthers, N., (1953). Handbook of Statistical Methods in Meteorology. London, H.M.S.O., pp 412.

10. Hirch, R. M., Slack, J.R., Smith, R.A., (1982). Techniques of Trend Analysis for Monthly Water Quality. Water Resour. Res. 18: 107-121.

11. Keily, G., Albertson, J.D., Parlange, M.B., 1998. Recent Trends in Diurnal Variation of Precipitation at Valentia on the West Coast of Irland. Journal of Hydrology. VOL. 207, NO. 3-4: 270-279

12. Kendall M.G. (1975), Rank Correlation Methods, Charles Griffin, London

13. Lettenmaier, D. P., E. F. Wood, and J. R. Wallis, 1994: Hydro-climatological Trends in the Continental United States, 1948–88. J. Climate, 7: 586–607.

14. Mann H.B. (1945), Nonparametric Tests Against Trend, Econometrica 13, 245-259

15. Matyasovszky, I., Bogardi, I., Bardossy, A., Duckstein, L., 1993. Estimation of Local Precipitation Statistics Reflecting Climate Change, Water Resources Research. 29, 3955-3968

16. Piccarreta, M.,Capolongo, D. and 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.

17. 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), VOL.24, NO. 1-2:85-90

18. Sen, P.K. 1968. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's tau. Journal of the American Statistical Association. 63:1379-1389

19. Thiel, H. 1950. A Rank-invariant Method of Linear and Polynomial Regression Analysis, Part 3.Proceedings of Koninalijke Nederlandse Akademie van Weinenschatpen A. 53:1397-1412.

20. Turgay, P. and Ercan K. (2005).Trend Analysis in Turkish Precipitation data. Hydrological processes published online in wiley Interscience (www.Interscience.wiley.com).

21. Z.X.Xu, K. Takeuchi, H. Ishidaira. 2003. Monitoring Trend Step Changes in Precipitation in Japanese Precipitation. Journal of hydrology. 279: 144-150 .