

واکاوی روند نیم سده بارش شبکه‌ای پایگاه آفرودیت در ایران

اسماعیل نصرآبادی^۱، سید ابوالفضل مسعودیان^۲

چکیده

در این پژوهش جهت بررسی زمانی، روند بارش ایران از داده‌های شبکه‌ای بارش روزانه پایگاه داده‌ی آفرودیت خاورمیانه برای ایران با تفکیک $0/25 \times 0/25$ درجه طول/عرض جغرافیایی بهره برده‌ایم. داده‌های سری‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه برای یک دوره ۵۰ ساله از سال ۱۳۳۶ تا ۱۳۸۵ از این داده‌ها استخراج و مبنای محاسبات قرار گرفت. با استفاده از روش آماری ناپارامتری من- کندال عددی و نموداری معنی‌داری روند میانگین بارش سالانه، فصلی و ماهانه، و از روش برآوردکننده شیب خط سن، میزان شیب خط روند آزمون شد. نتایج پژوهش حکایت از آن دارد که در سری‌های زمانی بارش سالانه، فصلی و ماهانه به غیر از سری زمانی بارش آذر ماه در فاصله اطمینان ۹۵٪ و بیش‌تر از آن روند معنی‌داری وجود ندارد. میانگین بارش ساخته‌ای سالانه نیم سده اخیر در سال حدود $0/73$ میلی‌متر افزایش داشته است. این افزایش به ظاهر ناچیز، با در نظر گرفتن مساحت کشور در سال حدود 1203182135 متر مکعب افزایش بارش در سال را موجب می‌شود؛ اما روند کاهشی در سری‌های زمانی بارش ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد و سری زمانی فصلی بهار که نیاز زیادی به بارش برای فعالیت‌های کشاورزی است می‌تواند مشکلاتی در تولید محصول و تأمین مواد غذایی به وجود آورد.

واژگان کلیدی: تحلیل روند، آزمون من کندال، شیوه سن، سری زمانی، بارش ایران

مقدمه

بررسی روند عناصر اقلیمی به ویژه دما و بارش موضوع تحقیقات فراوانی بوده است. زیرا تغییر این دو عنصر نشانه تغییر کلی در شرایط اقلیمی به شمار می آید (مسعودیان، ۱۳۸۳: ۶۳). از سوی دیگر، اثبات تغییر بارش نه تنها به عنوان یکی از عناصر نشان دهنده تغییر اقلیم و یکی از موضوع‌های مورد علاقه پژوهش‌گران اقلیم‌شناس به شمار می آید. بلکه از آن رو که هر گونه تغییر در بارش، تأمین و تولید غذا، رفع نیازهای بهداشتی، توسعه‌ی صنایع، گسترش فضای سبز شهری، دبی رودخانه‌ها و ... را تحت تأثیر قرار می‌دهد، در ادبیات اقلیم‌شناسی از اهمیت در خور توجهی برخوردار بوده و از طرف محققین زیادی مورد مطالعه قرار گرفته است که به نمونه‌هایی اشاره می‌شود. بررسی داده‌های ۶ عنصر کمینه، بیشینه، میانگین و دامنه‌ی دمای روزانه، مجموع بارش و نسبت برف به مجموع بارش ۲۱۰ ایستگاه کانادا در قرن ۲۰ افزایش در دمای کمینه و بارش سالانه را تأیید می‌کند (زانگ و همکاران^۱، ۲۰۰۰: ۳۹۵). بررسی روند بلند مدت سری‌های زمانی بارش و دما در ژاپن با روش‌های پارامتری و ناپارامتری برای تشخیص جهش و روند یک‌نواخت، نشان می‌دهد هرچند دمای سالانه یک روند یک‌نواخت افزایشی را نشان می‌دهد اما در داده‌های بارش شواهدی دال بر معنی‌داری روند یک-نواخت وجود ندارد (ژی^۲ و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۱). مطالعه روند بلند مدت و تغییرات ناگهانی متغیرهای اصلی اقلیم در حوزه بالادست رود زرد با استفاده از داده‌های ۲۳ ایستگاه در دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۱ نشان می‌دهد که بدون تردید در همه روش‌ها وقوع یک جهش در متغیرهای چهار دهه اخیر قابل تأیید است (فانگ‌فانگ^۳ و همکاران، ۲۰۰۷: ۲۰۴). مرور مطالعات صورت گرفته در مورد باران، روزهای بارانی و دما در مقیاس‌های مختلف با روش من-کندال و برآورد کننده شیب سن^۴ در کشور هند نشان می‌دهد، تصویر روشن و یک‌سانی در مورد روند باران در هند وجود ندارد (کجاین و

1 - Zhang et al

2 - Xu

3 - Fangfang

4 - Sen's estimator of slope

کامار^۱، ۲۰۱۲: ۳۷). هم‌چنین می‌توان از مطالعه‌ی روند بارش و دمای شمال غرب اقیانوس آرام در قرن ۲۰ (موت^۲، ۲۰۰۳: ۲۷۱)، تحلیل فضایی زمانی روند بارش در حوضه رودخانه یانگ تسه با استفاده از داده‌های ۳۶ ایستگاه و داده‌های میان‌یابی شده با تفکیک مکانی ۵/۰ درجه جغرافیایی (بکر و همکاران^۳، ۲۰۰۶: ۴۳۵)، واکاوی (آنالیز) روند جریان در بزرگترین حوضه آبریز ترکیه با استفاده از آزمون من- کندال و برآورد شیب سن (یونگن و همکاران^۴، ۲۰۰۸: ۱۸۹)؛ واکاوی روند سری‌های زمانی باران سالانه و فصلی در حوزه مدیترانه با داده‌های ۲۱۱ ایستگاه در دوره‌ی ۱۹۱۸ تا ۱۹۹۹ با استفاده از آزمون‌های t استیودنت و من- کندال (لونگ باردی و ویلان^۵، ۲۰۱۰: ۱۵۳۸)، واکاوی بارش، دما و تبخیر و تعرق ناحیه‌ی مدیترانه‌ای فرانسه برای دوره ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۶ با یک افزایش در متوسط دما و تبخیر و تعرق سالانه و عدم وجود روند در بارش سالانه (چایوچ و همکاران^۶، ۲۰۱۰: ۲۳۴)؛ واکاوی روند داده‌های بارش ناحیه پیریا^۷ در یونان با استفاده از داده‌های ۷ ایستگاه در دوره ۱۹۷۴ تا ۲۰۰۷ با روش من- کندال، من- کندال دنباله‌ای و برآورد شیب سن (کارپوزوس^۸ و همکاران، ۲۰۱۰: ۳۳)؛ روند در بارش پرتغال با واکاوی سری‌های زمانی بلند مدت ماهانه و سالانه ۱۰ ایستگاه کشور پرتغال با روش من- کندال و برآورد شیب سن (دلیما^۹ و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۵۵)، تغییرات سری‌های زمانی رواناب ناحیه تورینگیا^{۱۰} در آلمان با آزمون من کندال بر داده‌های بارش روزانه و رواناب و پذیرش روند افزایشی در بارش زمستان و کاهش در بارش تابستان (دانبرگ^{۱۱}، ۲۰۱۲: ۵۴) نام برد.

1 - K. Jain and Kumar
 2 - Mote
 3 - Becker et al
 4 - Yenigun et al
 5 - Longobardi and Villan
 6 - Chaouche et al
 7 - Pieria
 8 - Karpouse
 9 - De Lima
 10 - Thuringia
 11 - Danneberg

مسعودیان در دو مطالعه جداگانه بررسی روند دما و بارش کشور بر روی یاخته‌هایی به ابعاد ۱۵×۱۵ کیلومتر در نیم سده اخیر نشان داده که دمای شبانه، روزانه و شبانه‌روزی ایران به ترتیب با آهنگ حدود سه، یک و دو درجه در هر صد سال افزایش داشته (مسعودیان، ۱۳۸۳: ۸۹) و بارش ماهانه در بیش‌تر نقاط کشور روندی را نشان نمی‌دهد. اما در یک نگاه کلی می‌توان نیم میلی‌متر کاهش بارش طی نیم سده‌ی اخیر را برای کشور پذیرفت (مسعودیان، ۱۳۸۳: ۶۳). بررسی تغییرات دما و بارش ایستگاه مهرآباد تهران در دوره ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۵ به کمک روش‌های آماری - گرافیکی نشان می‌دهد، بیش‌تر تغییرات دما از نوع نوسانات کوتاه مدت اقلیمی می‌باشد که در اوایل دهه ۲۰۰۰ بیش‌تر مشهود است. اما سری‌های مربوط به بارش، نوسانات پی‌در پی داشته است (حجازی‌زاده و پروین، ۱۳۸۸: ۴۳). بررسی مشابهی بر روی داده‌های بارندگی و دمای ۳۰ ساله ایستگاه‌های حوضه کرخه در فاصله اطمینان ۹۵٪ افزایش میانگین سالانه دما و کاهش مقدار بارش سالانه را تأیید می‌کند (جهانبخش و همکاران، ۱۳۸۹: ۱). مطالعه تغییرات دمایی زاهدان بین سال‌های ۱۹۵۷ تا ۲۰۰۶ و اثبات افزایش دمای ماهانه (طاوسی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱) و تحلیل روند بارش، دما و خشکسالی منطقه همدان و روند متفاوت افزایشی و کاهشی را نشان می‌دهد (زارع ایبانه و همکاران، ۱۳۹۰: ۴۷).

از دیگر مطالعات می‌توان به استفاده از آزمون من-کندال بر داده‌های کمینه و بیشینه‌ی دما، بارش، رطوبت و ابرناکی سواحل جنوبی دریای خزر در یک دوره ۴۰ ساله و پذیرش بیش‌تر بودن درصد تغییر در فصل زمستان و تابستان نسبت به بهار و پاییز (عزیزی و روشنی، ۱۳۸۷: ۱۳)؛ بررسی نوسان پذیری اقلیمی شمال‌شرق ایران به کمک آزمون من-کندال و کمینه مربعات خطای ۲۱ فراسنج اقلیمی با نتایج متفاوت در ایستگاه‌ها (بنیان و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۱۸)؛ ارزیابی روند تغییرات احتمالی دمای شبانه-روزی ۱۱ ایستگاه کشور در دوره‌ی ۱۹۵۶ تا ۲۰۰۵ با معنی‌داری روند کاهشی اختلاف دمای شبانه‌روزی بیش‌تر در ایستگاه‌های شمالی و مرکزی نسبت به جنوب کشور (سبزی‌پرور و همکاران، ۱۳۹۰: ۳۲)؛ تحلیل روند بارش با روش من‌کندال و سن در

یاخته‌هایی به ابعاد 14×14 کیلومتر و عدم تأیید روند افزایشی یا کاهش‌ی معنی‌داری در فاصله اطمینان ۹۹٪ و ۹۵٪ با کاهش به ترتیب حدود ۶۴٪ و ۵٪ میلی‌متر بارش در هر سال (محمدی، ۱۳۹۰: ۱۰۵)؛ واکاوی روند بارش در کویر مرکزی طی دوره‌ی ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۸ در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه (موحدی، ۲۰۱۲: ۶۰)؛ واکاوی مکانی فضایی باران در حوضه آبریز دریای خزر با داده‌های پایگاه آفرودیت و تأیید روند سالانه، تابستان و پاییز افزایشی و روند بهار و زمستان کاهش‌ی (موحدی، ۲۰۱۲: ۶۰)؛ روند بارش ایران در دوره‌ی ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱ با داده‌های ۳۸ ایستگاه (کتیرایی و همکاران، ۱۳۸۶)، تحلیل روند بارش استان کردستان در ایستگاه‌های سنندج و سقز در طول ۴۵ سال با استفاده از روش من کندال و برآورد شیب سن (محمدی، ۱۳۹۱) نام برد.

انتخاب آزمون مناسب، در نظر گرفتن فرض‌های درست، دسترسی به داده‌های طولانی مدت و معتبر در مقیاس‌های متنوع مکانی در این گونه مطالعات از اهمیت زیادی برخوردار است. به عنوان مثال انتخاب آزمون به عواملی مانند سرشت تغییرات مورد انتظار- روند، شکست^۱ و یا چند شکست- واکاوی توزیع متغیرها و اندازه نمونه بستگی دارد (چاپوچ و همکاران، ۲۰۱۰: ۲۳۷). بنابراین در این پژوهش سعی شده با در نظر گرفتن پیشنهادات و نکات مورد تأکید در مبانی نظری، روند زمانی داده‌های شبکه- ای بارش نیم سده پایگاه آفرودیت برای ایران واکاوی شده و نتایج آن تحلیل شود.

داده‌ها و روش شناسی:

برای بررسی زمانی، روند بلند مدت بارش ایران در این پژوهش از داده‌های بارش روزانه‌ی شبکه‌بندی شده نسخه‌ی V1003R پایگاه داده‌ی آفرودیت^۲ خاورمیانه استفاده شده است. طرح منابع آب آفرودیت، یک پایگاه بارش شبکه‌ای نوین با تفکیک مناسب مکانی است. داده‌های این پایگاه داده با استفاده از داده‌های منابع

1 -Break

2 -Asian Precipitation - Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Water Resources (APHRODITE's Water Resources)

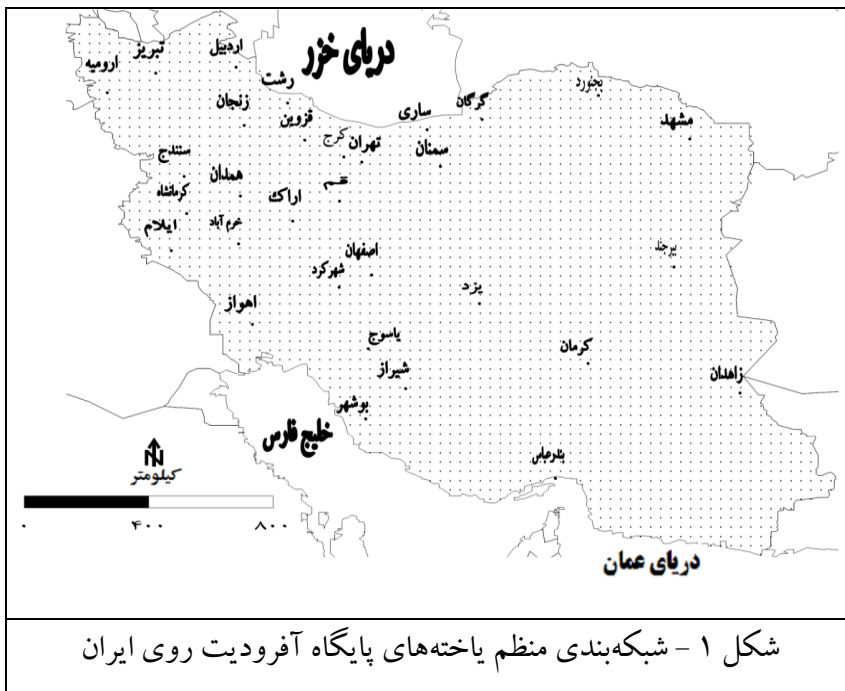
مختلف از جمله داده‌های جمع‌آوری شده‌ی باران‌سنج‌های ایستگاه‌های اختصاصی سازمان‌های محلی، داده‌های برگرفته از پایگاه‌های گردآوری داده‌ی قبلی، داده‌های حاصل گزارش‌های سامانه ارتباط از دور جهانی و ... برای قاره آسیا تهیه شده است. این پایگاه داده به وسیله‌ی بنیاد (موسسه‌ی) پژوهشی انسانی و طبیعی و بنیاد پژوهشی سازمان هواشناسی ژاپن و با عضویت چندین کشور از جمله ایران از سال ۲۰۰۶ شروع به فعالیت نموده است. داده‌های بارش شبکه‌ای این پایگاه داده در مقیاس روزانه به صورت جداگانه برای مناطق مونسون، خاورمیانه، روسیه و ژاپن در آسیا با تفکیک مکانی $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ و $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ درجه جغرافیایی تهیه شده است.

در این پژوهش، داده‌های بارش این پایگاه داده برای منطقه خاورمیانه با تفکیک مکانی $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ درجه جغرافیایی به کمک برنامه نویسی در محیط نرم‌افزار گرس^۱ استخراج و داده‌های حاصل به محیط نرم‌افزار متلب^۲ منتقل شد. بعد از حذف داده‌های یاخته‌های خارج از مرزهای ایران، داده‌های بارش روزانه‌ی محدود‌دهی ایران در دوره‌ی ۱۳۲۹/۱۰/۱۱ تا ۱۳۸۶/۱۰/۱۰ در آرایه‌ای به ابعاد 2491×20819 (در سطرها تعداد روزهای دوره‌ی آماری و در ستون موقعیت یاخته‌ها) جای گرفت. شکل ۱ موقعیت یاخته‌های این پایگاه داده بر روی ایران را نشان می‌دهد. با توجه به سیستم طول و عرض جغرافیایی یک مقیاس تقریبی برای کل نقشه در نظر گرفته شده است. سپس داده‌های سری‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه برای یک دوره ۵۰ ساله از سال ۱۳۳۶ تا ۱۳۸۵ از این داده‌ها استخراج و مبنای محاسبات این پژوهش قرار گرفت.

جهت بررسی روند در سری‌های زمانی، روش‌های متنوع و متعددی وجود دارد که در این تحقیق از آزمون ناپارامتری من- کندال که به وسیله سازمان جهانی هواشناسی برای ارزیابی روند در سری‌های زمانی داده‌های محیطی پیشنهاد شده است (یونگن و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۹۰) استفاده شد. در آزمون من- کندال فرض بهنجار بودن نیاز نیست؛

1-GRADS
2-MATLAB

و برای داده‌های نابهنجار، از آزمون‌های پارامتری مناسب‌تر است. از این آزمون برای نمایان ساختن روند یک‌نواخت و نه لزوماً خطی استفاده می‌شود (چایوچ، ۲۰۱۰: ۲۳۷؛ کارپوزوس و همکاران، ۲۰۱۰: ۳۳). از آزمون در داده‌های غیر همبسته استفاده می‌شود، زیرا بر اساس برخی گزارش‌ها، اگر در داده‌ها هم‌بستگی متوالی وجود داشته باشد فرض صفر به اشتباه رد می‌شود (سارکار و همکاران، ۲۰۱۲: ۴). این آزمون معنی‌داری جهت روند را نشان می‌دهد ولی بزرگی روند را نشان نمی‌دهد (موحدی، ۲۰۱۲: ۶۳).



مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر است: آزمون من-کنندال در مواردی به کار می‌رود که فرض شود مقادیر داده x_i سری‌های زمانی از مدل زیر پیروی می‌کنند.

$$x_i = f(t_i) + \varepsilon_i \quad (1)$$

در این رابطه $f(t)$ تابع یک‌نواخت در حال افزایش یا کاهش پیوسته در زمان است و فرض می‌شود باقی‌مانده‌ها ε_i از همان توزیع با میانگین صفر هستند. از این رو چنین فرضی مطرح می‌شود که پراش توزیع در طی زمان ثابت است (سالمی و همکاران، ۲۰۰۲: ۸). در این آزمون فرضیه صفر، نبود روند را آزمون کرده یعنی مشاهدات به طور تصادفی در زمان مرتب شده‌اند و برعکس در فرض مقابل، یک روند یک‌نواخت افزایشی و یا کاهشی در داده‌ها وجود دارد. اگر یک سری زمانی با n نقطه داده (n طول سری زمانی داده‌ها) را در نظر بگیریم که x_j و x_k دو داده متوالی k ام j ام زیر مجموعه باشند. به گونه‌ای که $k, j \leq n$ و $k \neq j$ باشد.

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

که با قبول فرض H_0 توزیع S در حد توزیع $n \rightarrow \infty$ بهنجار است. sgn تابع علامت است و از رابطه زیر مشخص می‌شود.

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

برای $n > 10$ آماره S تقریباً توزیع بهنجار با میانگین صفر دارد و پراش آن از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

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

در رابطه بالا t اندازه یک بازه زمانی در سری داده‌ها است و $\sum t$ مجموع بازه‌ها (سری زمانی داده‌ها) است (محمدی، ۱۳۹۰: ۱۰۱). آماره Z آزمون بهنجار Z با رابطه زیر محاسبه می‌شود.

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

وجود معنی‌داری آماری روند با ارزیابی مقدار Z انجام می‌شود. مقدار مثبت (منفی) Z یک روند رو به بالا (رو به پایین) را مشخص می‌کند (همان، ۲۰۱۱: ۱۳۶). آماره Z توزیع بهنجار دارد؛ برای آزمون این که آیا روند یک‌نواخت رو به بالا یا رو به پایین (یک آزمون دو طرفه) در سطح α معنی‌دار است یا نه؛ اگر قدر مطلق Z بیش‌تر از $Z_{1-\alpha/2}$ باشد، فرضیه صفر رد می‌شود. در جایی که $Z_{1-\alpha/2}$ از جداول توزیع تجمعی بهنجار استاندارد به دست می‌آید (سالمی و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۰)؛ به عبارتی، در آزمون دو طرفه روند، اگر رابطه $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$ برقرار باشد فرضیه صفر پذیرفته می‌شود؛ به طور مثال در سطح معنی‌داری $\alpha = 0.05$ (فاصله اطمینان ۹۵٪) اگر $|Z| \leq 1.96$ برقرار باشد، باید فرضیه صفر (قبول تصادفی بودن سری داده‌ها) را پذیرفت و در غیر این صورت، باید فرضیه مقابل (وجود روند) را قبول کرد و در سطح معنی‌داری $\alpha = 0.01$ (فاصله اطمینان ۹۹٪) فرضیه صفر در صورتی رد می‌شود که $|Z| \leq Z_{0.995} = 2.575$ برقرار باشد، مقادیر مثبت Z روند صعودی و مقادیر منفی Z روند نزولی سری را نشان می‌دهد. شیب واقعی (میزان تغییر در واحد زمان) روند موجود را می‌توان با استفاده از روش ناپارامتری ساده‌ی سن برآورد نمود؛ این شیوه در جایی به کار می‌رود که فرض خطی بودن روند پذیرفته شود. این به معنی آن است که $f(t)$ رابطه (۲) برابر است با:

$$f(t) = Q_t + B \quad (6)$$

در رابطه بالا Q شیب و B ثابت خط است. برای برآورد شیب Q شیب، نخست شیب هر جفت داده متوالی سری را از رابطه زیر به دست می‌آوریم:

$$Q_i = \frac{(x_j - x_k)}{j - k}, j > k \quad (7)$$

اگر n مقدار x_j در سری زمانی وجود داشته باشد، ما به اندازه $N = n(n-1)/2$ برآورد شیب Q_i به دست می‌آوریم. برآورد شیب سن میانه این N مقدار Q_i است N مقدار Q_i از کوچک‌ترین به بزرگ‌ترین مرتب می‌شوند و برآورد سن اگر N فرد باشد برآورد کننده شیب سن این گونه محاسبه خواهد شد:

$$Q = Q_{[(N+1)/2]} \quad (۸)$$

1 و اگر N زوج باشد برآورد کننده شیب سن از این رابطه به دست می‌آید:

$$Q = \frac{1}{2}(Q_{[N/2]} + Q_{[(N+2)/2]}) \quad (۹)$$

اگر مقدار برآورد شیب با آزمون دو طرفه در فاصله اطمینان $100(1 - \alpha)\%$ بررسی شود، شیب واقعی نمودار روند را می‌توان به دست آورد (سالمی و همکاران، ۲۰۰۲:۱۱). اگر عدد صفر در دامنه بین دو شیب استخراج شده قرار بگیرد فرض صفر تأیید شده و در نتیجه بر سری زمانی مورد آزمون نمی‌توان هیچ روندی را در فاصله اطمینان مورد نظر نسبت داد. در غیر این صورت فرض صفر رد شده و می‌توان پذیرفت که سری زمانی دارای روند معنی‌داری در فاصله اطمینان مورد آزمون است (محمدی، ۱۳۹۰:۱۰۲).

آزمون من- کندال دنباله‌ای (نموداری) یکی از آزمون‌های تعیین نقاط جهش (تغییر) است. در حقیقت این روش مقادیر آماره را در کلیه زمان‌های سری (i امین مرتبه) با روش رتبه دادن من کندال محاسبه می‌کند و همین عمل به صورت عکس انجام می‌شود. یعنی فرض می‌کنیم که انتهای سری در ابتدای آن باشد و دنباله را بر اساس چنین سری بیان می‌کنیم. هر گاه روند در سطح معنی‌داری انتخاب شده قابل قبول باشد، می‌توان با کمک آزمون نموداری من- کندال نقطه تغییر را پیدا کرد. روابط زیر روش محاسبه این آزمون نموداری را نشان می‌دهد. این روش مقادیر T در زمان i را محاسبه می‌کند. در آزمون به هر سال یک شماره ردیف ($n_i = 1, 2, 3, \dots$) تعلق می‌گیرد. برای هر

فراسنج یک مرتبه‌ی (m) در نظر گرفته می‌شود که تعداد رتبه‌های کوچک‌تر از ردیف n_i است که قبل از آن قرار می‌گیرد.

$$E_i = n_i(n_i - 1)/4 \quad (10)$$

$$V_i = \frac{n(n_i - 1)(2n_i + 5)}{72} \quad (11)$$

$$T_i = T_{i-1} + m_i \quad (12)$$

$$U_i = \frac{(T_i - E_i)}{\sqrt{V_i}} \quad (13)$$

در روابط بالا E_i امید ریاضی، V_i پراش، T_i آماره، m_i مرتبه‌ی مربوط به هر ردیف n_i است که در نهایت دنباله‌ی U از آن استخراج می‌شود. اگر دنباله‌ی U و \dot{U} بر اساس t (زمان) به صورت نموداری رسم شود، در حالت معناداری روند، دو نمودار در نقطه شروع پدیده در خارج از محدوده‌ی ± 1.96 ، یکدیگر را قطع کرده و در خلاف جهت یکدیگر حرکت خواهند کرد. به این نقطه برخورد، جهش گفته می‌شود. در حالی که اگر روند وجود نداشته باشد، دو دنباله‌ی U و \dot{U} تقریباً به صورت موازی حرکت خواهند کرد و یا با چند بار برخورد به طوری که به تغییر جهت منجر نشود، عمل خواهند کرد (سبزی‌پرور و همکاران، ۱۳۹۰: ۳۱). نمودار U نسبت به سال رسم شده و برای این که معنی‌داری روند و نقطه جهش آن به دست آید، دنباله‌ی \dot{U} مانند U محاسبه می‌شود، با این تفاوت که سال‌ها به ترتیب نزولی قرار می‌گیرند. در حالتی که $-1.96 < U < +1.96$ باشد نمی‌توان روند خاصی را برای سری متصور شد و سری تصادفی است. در حالت $U > +1.96$ روند مثبت و $U < -1.96$ حکایت از روند منفی در داده‌های سری دارد.

بحث:

با توجه به جدول یک، مقدار آماره آزمون من- کندال در هیچ یک از سری‌های زمانی بارش ماهانه، فصلی و سالانه در فاصله‌های اطمینان ۹۹/۹۹٪، ۹۹٪ و ۹۵٪ روند

مثبت و یا منفی معنی داری را در بارش شبکه‌ای ایران نشان نمی‌دهد. البته به غیر از سری زمانی بارش آذر ماه که یک مورد استثنایی به شمار می‌آید. زیرا بارش آذر ماه در فاصله اطمینان ۹۵٪ روند معنی‌دار افزایشی را نشان می‌دهد. از بین سری‌های زمانی ماهانه، بارش دی ماه و از میان سری‌های زمانی بارش فصلی، بارش فصل پاییز و زمستان روند مثبت داده‌های بارش در فاصله اطمینان ۹۰٪ معنی‌دار است. در بقیه سری‌های زمانی تا فاصله اطمینان ۹۰٪ روندی در بارش قابل مشاهده نیست و اگر روندی هم داشته باشند در فاصله اطمینان کم‌تر از ۹۰٪ وجود دارد که در این پژوهش مورد توجه قرار نگرفته است.

در میان سری‌های زمانی ماهانه آماره آزمون در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد و شهریور و در میان سری‌های زمانی بارش فصلی روند بارش در فصل بهار منفی است و در میان این سری‌ها، سری زمانی بارش فروردین ماه، بیشینه‌ی روند منفی را بر اساس آماره آزمون من - کندال به خود اختصاص داده است؛ اگر چه از لحاظ آماری در فاصله‌های اطمینان مورد نظر در این تحقیق، هیچ یک از این روندهای کاهشی معنی‌دار نیستند. در مقابل سری‌های زمانی بارش ماهانه‌ی آذر، دی و اسفند، شاهد بیش‌ترین روند افزایشی بوده‌اند. داده‌های بارش فصل زمستان بزرگ‌ترین آماره آزمون مثبت سری‌های زمانی فصلی را دارد. این به معنی تأیید مطالعات پژوهش‌گرانی مانند دکتر مسعودیان (۱۳۸۳) در مورد بارش نیم سده گذشته ایران می‌باشد که در مطالعه خود تمرکز بارش‌ها در اواخر فصل زمستان را تأیید کرده‌اند.

علی‌رغم عدم وجود روند در سری‌های زمانی بارش شبکه‌ای پایگاه آفرودیت برای ایران در جدول یک از ستون سوم به بعد آماره‌های آزمون برآورد شیب سن محاسبه شده است؛ در ستون سوم، برآورد شیب واقعی خطی یعنی تغییرات در واحد زمان (سال) محاسبه شده است؛ بر این اساس در نیم سده اخیر بارش فروردین نزدیک به ۰/۰۹ میلی‌متر کاهش را نشان می‌دهد و در مقابل، در آذر ماه بارش نیم سده‌ی اخیر حدود ۰/۳ میلی‌متر افزایش داشته است. در میان سری‌های زمانی ماهانه بارش، شیب در

سری‌های زمانی فروردین، اردیبهشت و خرداد منفی، در سری‌های زمانی تیر، مرداد و شهریور و مهر در حد صفر و در سری‌های زمانی آبان تا اسفند مثبت است.

جدول ۱- مقادیر آماره‌های آزمون من- کندال و سن (واحد به میلی‌متر) در تحلیل روند بارش پایگاه

آفرودیت

آماره	آماره	مع	برآورد	کمینه	بیشینه	کمینه	ثابت	کمینه	بیشینه	کمینه	ثابت	بیشینه	ثابت
زمان	آزمون	نی	د	شیب	شیب	شیب	شیب	شیب	شیب	شیب	شیب	شیب	شیب
	ون	ی	سن	(فاصله)	(فاصله)	(فاصله)	(فاصله)	(فاصله)	(فاصله)	(فاصله)	(فاصله)	(فاصله)	(فاصله)
				اطمینان	اطمینان	اطمینان	اطمینان	اطمینان	اطمینان	اطمینان	اطمینان	اطمینان	اطمینان
				(/۹۹)	(/۹۹)	(/۹۹)	(/۹۹)	(/۹۹)	(/۹۹)	(/۹۹)	(/۹۹)	(/۹۹)	(/۹۹)
فروردین	/۸۲	-	-۰/۰۹	-۰/۴	۰/۲۲	-۰/۳۲	۰/۱۵	۰/۵۹	۳۷/۵۴	۲۲/۲۵	۳۶/۹۰	۲۳/۰۴	۳۲
اردیبهشت	/۴۷	-	-۰/۰۵	۰/۳۱	۰/۱۹	۰/۲۴	۰/۱۴	۰/۲۰	۲۷/۲۵	۱۲/۰۴	۲۵/۸۱	۱۲/۶	۱۷
ت	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
خرداد	/۷۲	-	-۰/۰۲	۰/۱	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۴	۴/۹	۶/۸۴	۲/۹۵	۶/۱۴	۳/۴۶	۱۲
تیر	/۹۷	.	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۴	۱/۷۳	۲/۵۲	۰/۹۵	۲/۱۷	۱/۰۸	۱۲
مرداد	/۴۳	.	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۳	۲/۰۸	۲/۵۴	۱/۴۴	۲/۴۲	۱/۶۵	۲۸
شهریور	۰/۴	-	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۲/۸۸	۳/۴۶	۲/۲۳	۳/۳۱	۲/۳۵	۲۸
مهر	۰/۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۷	۴/۴۷	۷/۸۶	۲/۵۱	۶/۷	۲/۸۹	۱۲
آبان	/۸۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۸	۰/۳۵	۰/۱۰	۰/۲۹	۱۸/۹۶	۵/۹	۱۸/۰۴	۷/۷۴	۷/۷۴	۱۲
آذر	/۰۴	*	۰/۳	۰/۰۹	۰/۶۸	۰/۰۱	۰/۵۹	۲۸/۸۴	۱۱/۷۴	۲۶/۳۹	۱۴/۱۷	۱۴/۱۷	۱۹
دی	/۸۱	+	۰/۲۷	۰/۱۳	۰/۶۳	۰/۰۲	۰/۵۳	۳۳/۰۵	۱۶/۲۲	۳۰/۶۳	۱۷/۹۲	۱۷/۹۲	۲۴
بهمن	/۹۲	.	۰/۱۲	۰/۲۲	۰/۴۸	۰/۱۳	۰/۳۹	۳۸/۸۲	۱۷/۷۹	۳۵/۷۷	۲۰/۸۴	۲۰/۸۴	۲۸
اسفند	/۶۴	۱	۰/۲۵	۰/۱۵	۰/۶۷	۰/۰۵	۰/۵۸	۳۰/۷۶	۱۳/۰۷	۲۸/۶۲	۱۵/۲۶	۱۵/۲۶	۲۳
بهار	/۹۹	-	۰/۰۶	۰/۲۲	۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۰۷	۲۲/۸۳	۱۴/۵۴	۲۱/۵۰	۱۵/۸۷	۱۵/۸۷	۱۹
تابستان	/۹۲	.	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۳	۲/۸	۱/۷۶	۲/۵۷	۱/۸۷	۱/۸۷	۲۳
پاییز	/۶۹	+	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۳	۰/۰۲	۰/۲۷	۱۶/۵	۹/۳۸	۱۵/۹۷	۱۰/۰۸	۱۰/۰۸	۱۲
زمستان	/۹۱	+	۰/۱۹	۰/۰۶	۰/۵	۰/۰۱	۰/۴۳	۳۰/۱	۱۹/۲۱	۲۸/۸۰	۱۹/۷۴	۱۹/۷۴	۲۴
سالانه	/۴۱	۱	۰/۷۳	۰/۶	۲/۰۴	۰/۳۴	۱/۶۶	۲۱۱/۰۵	۱۴۹/۲	۲۰۳/۴۱	۱۶۱/۷۵	۱۶۱/۷۵	۱۷۹

(***معنی‌داری روند در سطح $\alpha = 0.001$ ، **معنی‌داری روند در سطح $\alpha = 0.01$ ، *معنی‌داری روند در سطح $\alpha = 0.05$ ، +، معنی-

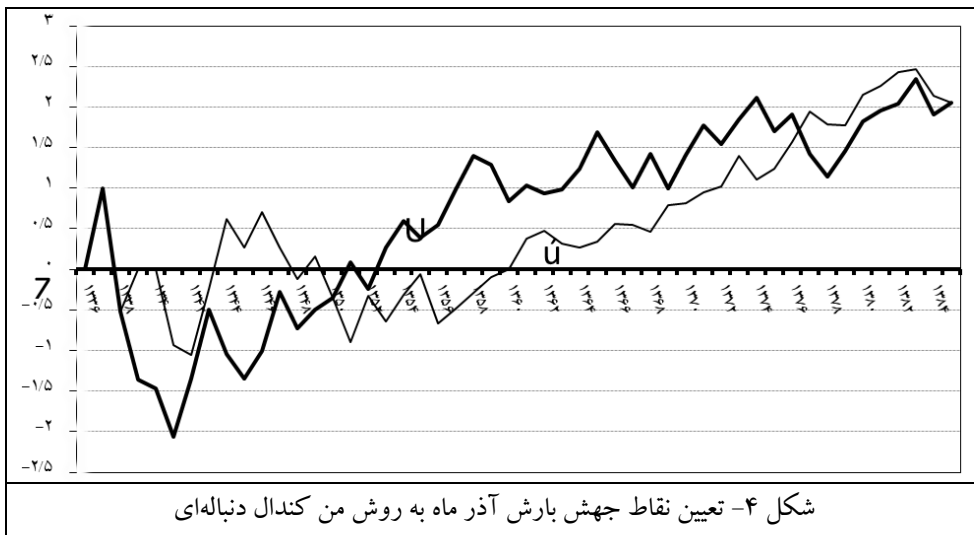
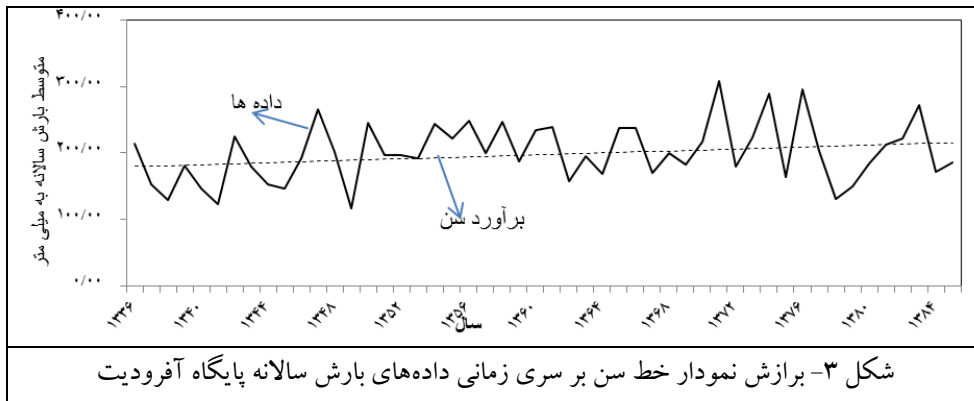
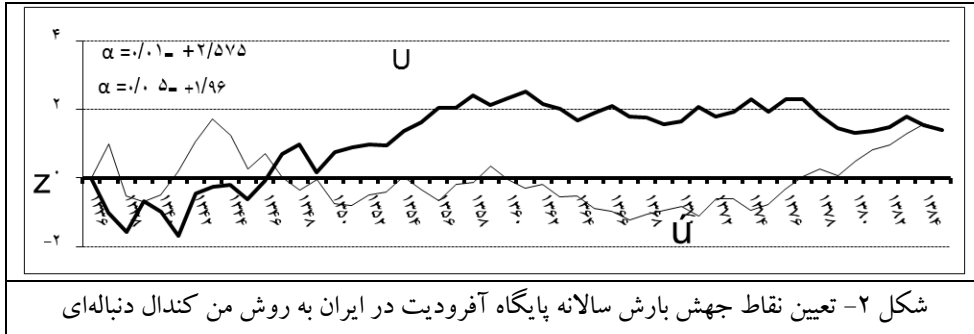
داری روند در سطح $\alpha = 0.1$)

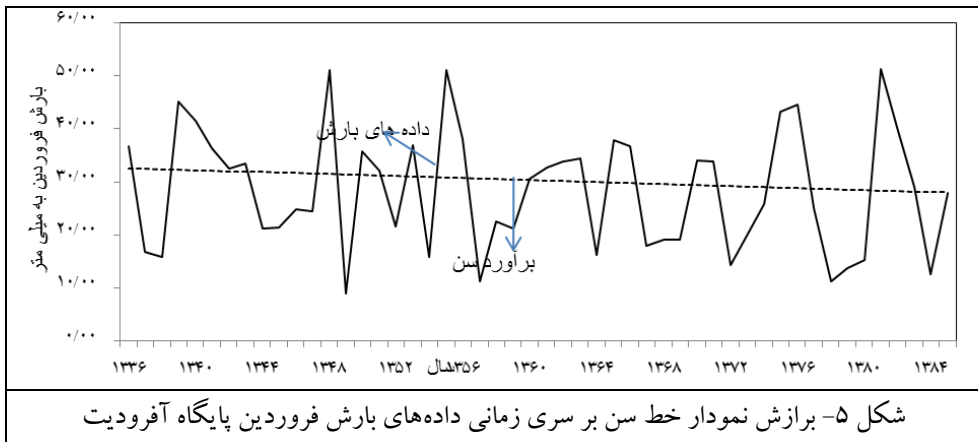
آماره‌های آزمون سن در فاصله‌های اطمینان مورد بررسی نشان دادند که به طور متوسط بارش ایران در هر سال چیزی در حدود $0/73$ میلی‌متر افزایش داشته است؛ ضمن این که کمینه و بیشینه بارش ایران در فاصله 99% به ترتیب برابر با $0/6$ - و 2 میلی‌متر بوده است. در حالی که کمینه و بیشینه افزایش بارش در میانگین بارش شبکه‌ای سالانه ایران در فاصله اطمینان 95% به ترتیب $0/36$ - و $1/66$ میلی‌متر برآورد شده است (جدول دو). نتایج این پژوهش در مورد روند بارش سالانه با مطالعات محمدی (۱۳۹۰) در مورد بارش ایستگاهی و یاخته‌ای ایران از این جهت که روند از جهت آماری معنادار نیست، هم‌خوانی دارد؛ ولی مطالعه محمدی روند کاهشی در بارش سالانه را نشان می‌داد. در حالی که در این مطالعه روند افزایشی بسیار ناچیزی در بارش سالانه قابل مشاهده است. این موضوع می‌تواند هم ناشی از طول دوره متفاوت در این دو پژوهش و هم منابع داده بارش متفاوت مورد بررسی باشد.

با توجه به شکل دو، نمودارهای U و \bar{U} بارش سری زمانی سالانه ایران در بالاتر از محدوده‌ی بحرانی $1/96 \pm$ و $2/575 \pm$ که به ترتیب برای معنی‌داری روند در فاصله اطمینان 95% و 99% در نظر گرفته می‌شود، هم‌دیگر را قطع نکرده‌اند؛ این به مفهوم قبول تصادفی بودن داده‌های بارش سالانه در ایران و تأیید فرضیه صفر می‌باشد. به عبارت دیگر، در این دو فاصله اطمینان بارش سالانه ایران روند معنی‌داری ندارد و فرض مقابل در این دو فاصله اطمینان تأیید نمی‌شود. اما با توجه به تلاقی دو منحنی در محدوده معنی‌داری، تغییر ناگهانی در میانگین شبکه‌ای بارش سالانه پایگاه آفرودیت در سال ۱۳۴۷ قابل تأیید است و بعد از آن با گذر از یک دوره روند افزایش با شیب تند شاهد کاهش در شیب روند افزایشی و ملایم شدن افزایش در میانگین بارش هستیم.

برازش نمودار خط سن بر سری زمانی داده‌های بارش سالانه پایگاه آفرودیت در شکل سه، حکایت از روند افزایش در بارش سالانه دارد، هر چند این افزایش از جهت آماری معنی‌دار نیست. با بررسی نمودار میانگین بارش سالانه هم‌چنین می‌توان دوره‌های

با نوسان قابل توجه در ده‌های نخست و دهه‌های پایانی مورد مطالعه را مشاهده کرد. در عوض میانگین بارش ایران در دهه شصت از نوسان کم‌تری برخوردار است.





در شکل ۴ نمودار من کندال دنباله‌ای برای سری زمانی بارش آذر ماه که در فاصله اطمینان ۹۵٪ روند معنی‌دار افزایشی را نشان می‌داد رسم شد. در این نمودار نقاط جهش بارش آذر ماه که مربوط به داده‌های بارش آذر ماه است با توجه به تلاقی دو منحنی در محدوده معنی‌داری، تغییر ناگهانی در میانگین بارش آذر در سال ۱۳۵۰ قابل تأیید است و با وجودی که در میان تمام سری‌های زمانی به شرایط قبول معنی‌داری روند نزدیک است اما دو نمودار در محدوده $1/94+$ هم‌دیگر را قطع می‌کنند و محل تقاطع دو نمودار خارج از سطح بحرانی قرار ندارد. سری زمانی فروردین دارای بالاترین روند منفی در میان سری‌های زمانی ماهانه و فصلی است. اگرچه این روند منفی از لحاظ آماری معنی‌دار نیست اما به جهت اهمیت این روند کاهشی و نشان دادن نمایی از این شرایط، نمودار برآزش خط سن بر داده‌های بارش سری زمانی فروردین در شکل پنج رسم شده است.

نتیجه‌گیری:

در مجموع نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که با توجه به روش ناپارامتری من-کندال، در هیچ یک از سری‌های زمانی سالانه، فصلی و ماهانه روند معنی‌داری در فاصله اطمینان ۹۵٪ و بیش‌تر از آن وجود ندارد؛ به غیر از سری زمانی بارش آذر ماه که

دارای روند افزایشی معنی‌داری در فاصله اطمینان ۹۵٪ است. از میان سری‌های زمانی بارش، در سری زمانی بارش دی ماه و در سری‌های زمانی بارش فصلی در سری‌های زمانی بارش پاییز و زمستان روند مثبت معنی‌دار در فاصله اطمینان ۹۰٪ وجود دارد. در بقیه سری‌های زمانی بارش حتی در فاصله اطمینان ۹۰٪ هم روندی قابل مشاهده نیست و در این سری‌ها اگر روندی هم وجود داشته باشد، در فاصله اطمینان کم‌تر از ۹۰٪ است که در این پژوهش مورد توجه قرار نگرفته است. زیرا در کارهای آماری به طور معمول فاصله اطمینان کم‌تر از این میزان در نظر گرفته نمی‌شود.

در میان سری‌های زمانی ماهانه، آماره آزمون من- کندال در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد، شهریور و در میان سری‌های فصلی روند بارش در فصل بهار منفی است و فروردین ماه بیشینه روند منفی همه‌ی سری‌های موجود را به خود اختصاص داده است. اگر چه از لحاظ آماری در فاصله‌های اطمینان مورد نظر این روند منفی معنی‌دار نیست، اما این موضوع از آن جهت قابل توجه است که در فصل بهار که بارش برای رشد گیاه بسیار ضروری است با روندی منفی در بارش کشور روبرو هستیم. در مقابل، روند افزایشی در بارش ماه‌های زمستان به آن مفهوم است که در ماه‌هایی که بیش‌ترین بارش را به طور طبیعی داشتیم، در صورت ادامه این وضعیت باز هم باید انتظار افزایش در بارش را داشته باشیم و این تمرکز بارش با توجه به رژیم و مقدار بارش در ایران موضوع خوشایندی نیست.

هر چند افزایش حدود ۰/۷۳ میلی‌متر در میانگین بارش سالانه نیم سده اخیر به نظر قابل توجه نمی‌آید و از لحاظ آماری معنی‌دار نیست اما با توجه به مساحت کشور سالانه به طور متوسط چیزی حدود ۱۲۰۳۱۸۲۱۳۵ متر مکعب بر میزان بارش کشور افزوده می‌شود که برای استفاده از آن با توجه به روند روز افزون نیاز به آب باید برنامه‌ریزی صورت بگیرد. به ویژه که این روند افزایشی در زمانی به وقوع پیوسته است که نیاز به بارش و آب حاصل از آن در بخش‌های مختلف مصرف در کم‌ترین میزان قرار دارد.

بنابراین ذخیره آب و اتخاذ سیاست‌های مطلوب و مناسب در این زمینه ضرورتی اجتناب ناپذیر است.

سرانجام سخن آن که پیشنهاد می‌شود، تغییرات مکانی روند بارش ایران در نیم سده - ی اخیر بر اساس داده‌های این پایگاه داده‌ی بارش شبکه‌ای صورت گرفته تا پراکنش مکانی عرصه‌های دارای روند افزایشی و کاهش‌ی و یا بدون روند کشور مشخص شود.

منابع و مأخذ:

۱. بنایان، محمد، محمدیان، آزاده و علیزاده، امین (۱۳۸۹)، بررسی نوسان‌پذیری اقلیمی در شمال شرق ایران، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۴، شماره ۱، صص ۱۳۱-۱۱۸.
۲. جهانبخش، سعید، رحیمی بندرآبادی، سیما، حسینی، عباس، رضایی، سمیه و خوش‌زمان، تورج (۱۳۸۹)، بررسی تغییرات بارندگی و دما در حوزه کرخه، چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، ۲۷-۲۵ فروردین.
۳. حجازی‌زاده، زهرا، پروین، نادر (۱۳۸۸)، بررسی تغییرات دما و بارش تهران طی نیم قرن اخیر، جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، پیش شماره پاییز و زمستان، صص ۵۶-۴۳.
۴. زارع ایبانه، حمید، بیات ورکشی، مریم، یزدانی، وحید (۱۳۹۰)، تحلیل روند تغییرات سالانه و فصلی دما، بارش و خشک‌سالی‌های استان همدان، فصل‌نامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال اول، شماره ۳.
۵. سبزی‌پرور، علی‌اکبر، میرگلوبیات، راضیه، قیامی شمامی، فرشته (۱۳۹۰)، ارزیابی روند احتمالی تغییرات اختلاف دمای شبانه‌روزی در برخی اقلیم‌های خشک کشور طی پنج دهه‌ی گذشته، مجله‌ی پژوهش فیزیک ایران، جلد ۱۱، شماره ۱، صص ۳۷-۲۷.
۶. طاوسی، تقی، ثریا، محمد، راحتی، زیبا، (۱۳۸۹)، بررسی روند دمای شهر زاهدان، چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، ۲۷-۲۵ فروردین.
۷. عزیزی، قاسم، روشنی، محمود (۱۳۸۷)، مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من - کندال، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، صص ۲۸-۱۳.
- ۸- کتیرایی، پری سیما، حجام، سهراب و ایران نژاد، پرویز (۱۳۸۶)، سهم تغییرات فراوانی و شدت بارش روزانه در روند بارش در ایران طی دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۱. مجله فیزیک زمین و فضا، (۱) ۳۳: ۸۳-۶۷.

۹. محمدی، بختیار (۱۳۹۰)، تحلیل روند بارش سالانه ایران، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره پیاپی ۴۳، شماره ۳.
- ۱۰- محمدی، بختیار ۱۳۹۱. تحلیل روند بارش استان کردستان. مجموعه مقالات پانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، بخش هواشناسی: ۲۱۵-۲۱۲.
۱۱. مسعودیان، سید ابوالفضل، (۱۳۸۳)، بررسی روند دمای ایران در نیم سده گذشته، مجله جغرافیا و توسعه، بهار و تابستان، شماره ۲، صص ۱۰۶-۸۹.
۱۲. مسعودیان، سید ابوالفضل، (۱۳۸۳)، روند بارش در نیم سده گذشته، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه-ای، شماره ۲، صص ۷۲-۶۳.
- 13-Becker, S. Gemmer, M. Jiang, T. 2006. Spatio temporal analysis of precipitation trends in the Yangtze River Catchment, Environ. Res. Risk Assess 20: 435-444.
- 14- Chaouche, K. Neppel, L. Dieulin, C. Pujol, N. Ladouche, B. artin, E. Salas, D. and Y. Caballero. 2010. Analyses of precipitation, temperature and evapotranspiration in a French Mediterranean region in the context of climate change. C. R. Geoscience 342: 234-243.
- 15- Danneberg, J. 2012. Changes in run off time series in Thuringia, Germany Mann-Kendall trend test and extreme value analysis. Adv. Geosci., 31: 49-56.
- 16- De Lima, M. I. P. Carvalho S. C. P. de Lima, J. L. M. P. and M. F. E. S. Coelho. 2010. Trends in precipitation: analysis of long annual and monthly time series from mainland Portugal. Adv. Geosci., 25: 155-160.
- 17- Fangfang, Z. Zongxue, X. and H. Junxiong. 2007. Long-term trend and abrupt change for major climate variables in the upper Yellow river basin. Acta Meteorologica Sinica, 21: 204-214.
- 18- K. Jain, S. and V. Kumar. 2012. Trend analysis of rainfall and temperature data for India. Current Science 102 (1): 37-49.
- 19- Karpouse, D. K. Kavalieratou, S. and C. Babajimplos. 2010. Trend analysis of precipitation data in Pieria region (Greece), European water 30: 31-40.
- 20- Longobardi, A. and P. Villani. 2010. Trend analysis of annual and seasonal rainfall time series in the Mediterranean area. Int. J. Climatol., 30(10): 1538-1546.
- 21- Mote, W. P. 2003. Trends in Temperature and Precipitation in the Pacific Northwest during the Twentieth Century. Northwest Science, 77(1): 271-282.



- 22- Movahedy, S. 2012. Analysis of precipitation trends in the central Kavir basin of Iran during 1951-2008, American Journal of Scientific Research 71: 60-73.
- 23- Movahedy, S. 2012. Spatio-temporal analysis of rainfall (case study: Caspian sea basin, Iran). American Journal of Scientific Research 75: 16-28.
- 24- Yenigun, K. V. Gumus, V. and V. Bulut. 2008. Trends in stream flow of the Euphrates basin, Turkey, Water Management 161:189-198.
- 25- Zhang, X. Lucie, A. Vincent, L. A. Hogg, W.D. and, A. Niitso. 2000. Temperature and Precipitation Trends in Canada during the 20th Century, Atmosphere-Ocean 38(3):395-429.