

تحلیل تغییرات مؤلفه‌های مبنای نمایه‌های فرین بارش شهر زنجان

چکیده

اقلیم به عنوان سامانه‌ای متشکل از چندین متغیر است. تغییر در هریک از این متغیرها نتایج متنوع و متفاوتی در پی دارد. اخیراً دانشمندان به منظور تحلیل تغییرات اقلیمی توجه خود را به دنباله توزیع فراوانی (فرین‌های) هریک از عناصر اقلیمی معطوف داشته و نمایه‌های مختلف و متنوعی برای ردیابی این مشخصه‌ها ارائه نموده‌اند. یکی از عناصری که قادر است تغییرات اقلیمی را منعکس نماید، بارش و رفتار زمانی آن است. بررسی تغییرات توام تمامی مشخصات فرین بارش، قادر است فضای چند بعدی این عنصر اقلیمی را بهتر نمایش دهد. یکی از روش‌های تحلیل توام تغییرات این عنصر و هر عنصر اقلیمی دیگر، به کارگیری تکنیک‌های آماری چند متغیره است. به منظور بررسی توام فرین‌های بارش، ۲۶ نمایه فرین بارش از بارش‌های روزانه شهر زنجان طی دوره آماری ۲۰۰۶-۱۹۶۱ استخراج گردید. سپس با استفاده از تکنیک تحلیل مؤلفه‌های مبنا، ۶ مؤلفه از ۲۶ نمایه حدود ۸۶/۴ درصد از تغییرات را توضیح می‌داد. این شش مؤلفه به لحاظ وجود روند، جهش و چرخه‌ها آزمون شدند. از سال ۱۹۸۲ به بعد مؤلفه اول با تغییر سطح معنی دار بر کاهش بارش‌های حاصل از صدک اول دارند. مؤلفه دوم به عنوان نماینده فراوانی و تداوم بارش‌های بزرگ حاوی روند کاهشی معنی داری بوده است. بقیه مؤلفه‌ها فاقد روند و جهش بوده‌اند. تحلیل طیفی مؤلفه‌های مبنای فرین‌های بارش نیز نشان داد که مؤلفه دوم علاوه بر روند بلند مدت، حاوی چرخه‌های حدوداً سه ساله است. مؤلفه چهارم به عنوان نماینده بارش‌های ابر سنگین با چرخه‌های تقریبی چهار ساله و مؤلفه پنجم که نماینده میزان، فراوانی و تداوم بارش‌های کم مقدار است، حاوی چرخه‌های ۲-۳ ساله هستند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل طیفی، چرخه‌های بارندگی، روند، زنجان، مولفه‌های مبنای، نمایه فرین

بارش

مقدمه

اخیراً دانشمندان به منظور تحلیل تغییرات اقلیمی، توجه خود را به ردیابی دگرگونی در مقادیر بسیار بزرگ یا بسیار کوچک عناصر اقلیمی به ویژه بارش معطوف داشته‌اند. سومین گزارش ارزیابی هیات بین‌الدولی تغییر اقلیم^۱ (۲۰۰۷) نشان می‌دهد که در بیشتر بخش‌های عرض‌های میانه و بالای نیمکره شمالی مقادیر مربوط به بارش فرین، بسامد بیشتری داشته است. کمیته مشترک اقلیم شناسی سازمان جهانی هواشناسی (CCL)^۲ برنامه پژوهش در اقلیم جهان (WCRR)^۳ مربوط به پروژه قابلیت پیش‌بینی و تغییرپذیری اقلیم (CLIVAR)^۴ متشکل از گروه متخصصان پیش‌بینی، پایش و نمایه‌های تغییر اقلیم (ETCCDMI)^۵ به منظور مطالعه و تعیین نمایه‌های فرین اقلیمی در سال ۱۹۹۸ شکل گرفت. این تشکیلات نمایه‌های فرین تغییر اقلیم را برای دما و بارش روزانه و درمقیاس‌های جهانی و ناحیه‌ای استخراج و معرفی نمودند. نتایج این گروه کاری در گزارش‌های هیات بین‌الدولی تغییر اقلیم (۲۰۰۷ و ۲۰۰۱) ارائه شده است. این نمایه‌ها شامل ۱۶ نمایه مربوط به دما و ۱۱ نمایه مربوط به بارش روزانه است. این مشخصات از تارگام ETCCOM^۶ قابل دستیابی است. برخی اندیشمندان نیز آستانه‌هایی برای فرین‌ها تعریف نموده‌اند. این تعدد و تنوع در نمایه‌های فرین حاصل تنوع عوامل تشکیل دهنده حالت سامانه اقلیم است. حالت سامانه اقلیمی در یک زمان معین نقطه‌ای در فضای چند بعدی (فضای فاز) است. این فضای چند بعدی حاصل متغیرهای سازنده اقلیم است. در واقع، چنانکه لورنز^۷ (۱۹۶۴، ۱۱-۱) نیز اشاره کرده است، با تغییری اندک در هر یک از متغیرهای سیستم اقلیم، نتایج متفاوت و متنوعی مورد انتظار خواهد بود. بدین علت، جایگاه

۱ - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

۲ - The Joint World Meteorological organization commission for climatology

۳ - World Climate Research Program

۴ - Climate Variability and Predictability

۵ - Expert Team on Climatic Change Detection, Monitoring and Indices

۶ - <http://ccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/List-۲۷-Indices.html>

۷ - Lorenz

اقلیم در دراز مدت در فضای فاز پایدار نمی‌ماند و در یک حجم معین از فضای فاز خود تغییر می‌کند. بر همین اساس، اعتقاد بر این است که سیستم اقلیم مجموعه‌ای به شدت پویا و چندبعدی است. وضعیت اقلیم به عنوان سامانه‌ای پویا در یک زمان یا دوره معین به "حالت" آن وابسته بوده، برای هواسپهر بوسیله میزان، تداوم و شدت عناصر آن در نظر گرفته می‌شود (عساکره، ۱۳۸۶ الف، ۳۴-۳۵). بدین دلیل، بهترین نمایه برای بیان هر حالت اقلیم، نمایه‌ای است که تمامی حالت‌های ممکن اقلیم را دربر گیرد.

مطالعات پرشماری در مورد حالت اقلیم به لحاظ بارش‌های فرین در سطح جهانی انجام شده است که عموماً به بارش‌های سنگین توجه داشته‌اند. به منظور رعایت ایجاز به برخی از آنها اشاره می‌شود: بروکس و استنسراد^۸ (۱۲۰۱، ۲۰۰۰-۱۹۹۴) بر اساس بارش‌های ساعتی، بارش‌های سنگین ایالات متحده را بررسی کردند. ایشان بارش‌های بیش از ۱ اینچ در ساعت را برای ایالات متحده به عنوان بارش سنگین معرفی و روند آنها را ردیابی نمودند. هایلوکس و نیکولس^۹ (۲۰۰۰، ۱۵۴۱-۱۵۳۳) بارش روزانه ۹۱ ایستگاه در شرق و جنوب شرقی استرالیا را برای دوره آماری ۱۹۱۰-۱۹۹۸ بررسی نمودند. به منظور بررسی تغییر بارش‌های فرین، سه مشخصه فرین بارش شامل فراوانی فرین‌های بالاتر از یک آستانه، شدت و سهم بارش آنها در بارش سالانه را بررسی نمودند. نتایج تحقیق ایشان نشان می‌دهد که با اینکه بین مجموع بارش، فراوانی و شدت، همبستگی بالایی وجود دارد، اما فرین از روند کاهش برخوردارند.

فاولر^{۱۰} و همکاران (۲۰۰۵، ۲۱۲-۲۳۳) روشی نوین برای برآورد بارش‌های سنگین در بریتانیا ارائه کردند. سن روی^{۱۱} (۲۰۰۹، ۳۴۵-۳۵۵) نیز به تحلیل مکانی بارش‌های فرین ساعتی در هند پرداخت. وی مشاهدات فرین بارش ساعتی طی ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۲ را برای فصول زمستان، تابستان‌های خشک و تابستان‌های مرطوب هند بررسی نمود. نتایج تحقیق وی گویای روند افزایشی بارش‌های سنگین در نواحی مرتفع هیمالایا، به ویژه در شمال غربی و دامنه هیمالایا (از جنوب تا حوضه ایندو - گنگ) بوده است. در زمستان عموماً روند منفی،

۸ - Brooks and Stensrud

۹ - Haylock and Nicholls

۱۰ - Fowler

۱۱ - Sen Roy

ولی برای فصول خشک و مرطوب تابستان روند مثبت بود. در امتداد ساحل غربی روند کاهشی رخ داده است، در حالی که بخش شمالی ساحل روند افزایشی بارش فرین مشاهده شده است. بیشتر فلات دکن به سمت جنوب مرکزی منطقه ساحل روند مثبت رخ داده است. در ایران نیز تحقیقات متعدد و پراکنده ای در خصوص بارش‌های فرین، به ویژه سنگین انجام شده است. یکی از این تحقیقات که در نوع خود از برتری ویژه ای برخوردار است، تحقیق محمدی (۱۳۸۸) در باره بارش‌های ابر سنگین ایران است. وی صد بارش سنگین و فراگیر ایران را از لحاظ همدیدی - پویشی بررسی و تحلیل کرده و الگوهای همدید، منابع رطوبتی و گرمایی مولد بارش‌های سنگین و فراگیر ایران را استخراج نموده است. مسعودیان (۱۳۸۷) نیز بارش‌های ابرسنگین ایران با استفاده از ۳۵۱ ایستگاه و براساس آمار روزانه ۶۴ بارش با حداقل ۱۰۰ میلی متر با استفاده از رویکرد محیطی گردشی و به روش همدید طبقه بندی و الگوسازی نموده است. رحیم‌زاده^{۱۲} و همکاران (۲۰۰۹، ۳۴۳-۳۲۹) نیز فرین‌های دما و بارش را به عنوان شاخص تغییرات اقلیمی ایران بررسی کرده‌اند. در این بررسی از ۲۷ ایستگاه سینوپتیک بهره گرفته شده و برای هر ایستگاه ۲۷ شاخص اقلیمی بررسی شده است. طبق یافته‌های ایشان برای دو سوم کشور مجموع بارش با روند منفی، شاخص شدت بارش در نیمه شمالی روند مثبت و بعضاً منفی دیده شده است. بارش‌های حاصل از صدک ۹۵ در شرق و غرب روند منفی و در مرکز روند مثبت داشته و بارش‌های حاصل از صدک ۹۹ در بیشتر مناطق با روند منفی مشخص می شده است. محمدی و مسعودیان (۱۳۸۹، ۴۷-۷۰) نیز بارش سنگین و فراگیر ۱۲ تا ۱۷ آبان ماه ۱۳۷۳ ایران زمین را به لحاظ همدید- پویشی و با رویکرد محیطی به گردشی در معرض تحلیل قرار دادند. بررسی ایشان نشان می‌دهد که پرفشار اروپا - کم فشار عراق برای سطح دریا در رویداد بارشی تاریخی مزبور موثر بوده است. مجاورت این دو سامانه موجب فزونی شیو فشار شده، در ترازهای ۹۲۵ و ۸۵۰ خلیج فارس و در ترازهای بالاتر دریای سرخ، مدیترانه و سیاه موجب تامین رطوبت این بارش گردیده است.

در پژوهش حاضر تلاش می‌شود بیشینه نمایه‌های فرین بارش ایستگاه زنجان طی دوره آماری ۲۰۰۶-۱۹۶۱ (به مدت ۴۶ سال) به لحاظ تغییرات کوتاه و بلند مدت در معرض توجه قرار گیرد. در این راستا، از سه تکنیک تحلیل مولفه‌های مبنا به منظور کاهش حجم داده‌ها، تحلیل روند به روش ناپارامتری با هدف ردیابی تغییرات بلند مدت و نیز تحلیل طیفی به منظور ردیابی چرخه‌های نهان و آشکار در نمایه‌های فرین بهره گرفته شود.

داده‌ها و روش‌ها

به منظور بررسی فرین‌های بارش، داده‌های روزانه بارش زنجان برای دوره آماری ۲۰۰۶-۱۹۶۱ (به مدت ۴۶ سال) به صورت یک ماتریس ۴۶×۳۶۶ مرتب شد. در این ماتریس ردیف‌ها نشانه تعداد روزها و ستون‌ها نشانه سال‌هاست. در واقع، مشاهدات بارندگی به صورت ستونی برای هر سال مرتب شد. سپس برحسب توصیه سازمان جهانی هواشناسی (۱۹۸۹) روزهای با بارش کمتر از ۱ میلی متر برابر صفر و روزهای دیگر با مقدار واقعی بارندگی در نظر گرفته شد. سپس یازده مشخصه بارش‌های فرین توصیه شده به وسیله کمیته مشترک اقلیم‌شناسی سازمان جهانی هواشناسی برنامه پژوهش در اقلیم جهان مربوط به پروژه قابلیت پیش بینی و تغییرپذیری اقلیم شامل گروه متخصصان پیش بینی، پایش و نمایه‌های تغییر اقلیم و ۱۵ نمایه تعریف شده به وسیله اندیشمندان مختلف و نیز براساس تعریف نگارنده (مجموعاً ۲۶ نمایه) برای مشاهدات تعریف و محاسبه گردید. این نمایه‌ها در جدول ۱ ارائه شده‌اند. سپس برای انجام تحقیق مراحل ذیل به کار گرفته شد:

۱- به علت فزونی نمایه‌های فرین و به منظور ارائه تصویری کلی، توام، نمایش برهم کنش نمایه‌ها و همچنین، با هدف خلاصه سازی حجم بزرگ این نمایه‌ها از تکنیک تحلیل مولفه‌های مبنا^{۱۳} بهره گرفته شد (برای شناخت مبانی تئوری این تکنیک برک: فرشاد فر (۱۳۸۴)، جانسون و ویچرن (۱۳۸۶) و مانلی (۱۳۸۸)). ابتدا به منظور تحلیل مولفه‌های مبنا، با استفاده از ۲۶ نمایه فرین بارش برای ۴۶ سال یک ماتریس ۲۶×۴۶ با آرایش $P^{۱۴}$ تشکیل شد. هدف از تشکیل این ماتریس به دست آوردن تغییرات زمانی ۲۶ نمایه مزبور بود. از

۱۳ - Principle Components Analysis

۱۴ - P- Mode

آنجا که واحدها و به تبع آن بزرگی مقادیر شاخص‌ها با یکدیگر متفاوت بود و به منظور ارائه مقادیر بدون بعد، هریک از شاخص‌ها (x_{ij}) براساس میانگین (x_j) و انحراف معیار (s_j) شان و با استفاده از نرم افزار *SPSS/Win* به صورت زیر به شکل نمره هنجار شده z_{ij} محاسبه شد:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j}{s_j} \quad (1)$$

از آنجا که تعداد روزهای توام با بارش‌های بیش از صدک ۹۹ و متوسط تعداد روزهای متوالی توام با بارش در تمامی سال‌ها یک روز بوده، در هنجارسازی تمام روزها برابر صفر خواهند بود. از این رو، این دو فراسنج از تحلیل‌ها حذف شد. همچنین، به این علت که بیشینه بارش هر سال دقیقاً برابر با میزان بارش حاصل از صدک ۹۹ است، یکی از این دو (بیشینه بارش) در محاسبات گنجانده نشد. سپس با به کارگیری نرم افزار مینی تب تحت ویندوز^{۱۵} تحلیل مؤلفه‌های مبنای ماتریس انجام شده و مهمترین مؤلفه‌ها استخراج گردید. برای انجام تحلیل مؤلفه‌های مبنای ماتریس همبستگی و مقادیر ویژه و بردارهای ویژه ماتریس‌های همبستگی استخراج گردید. بنابراین، سهم مؤلفه مبنای i ام در پراش کل مهیا گردید. توضیح اینکه اگرچه برای مطالعه تغییرپذیری کل یا اجزایی از سیستم اقلیمی p مؤلفه لازم است، ولی بعضاً می‌توان این تغییرپذیری را با تعداد کمتری (مثلاً k) مؤلفه مبنای بیان نمود. بنابراین k مؤلفه مبنای به جای p متغیر اولیه به کار برده می‌شود (جانسون و ویچرن، ۱۳۸۶، ۴۳۱). به تعبیر واضح‌تر، با به کارگیری تکنیک تحلیل مؤلفه‌های مبنای، متغیرها غربال شده، تعداد آنها برحسب مجموعه مؤلفه‌های ناهمبسته کاهش یافت. عدم همبستگی مؤلفه‌ها یک ویژگی اساسی است، زیرا عدم همبستگی بدان معنی است که مؤلفه‌ها جنبه‌های متفاوتی از داده‌ها را اندازه‌گیری می‌نمایند (مانلی، ۱۳۸۸، ۱۱۱).

۲- تغییرات بلند مدت (روند) هریک از این مؤلفه‌ها بررسی شد. تحلیل روند این مؤلفه‌ها براساس روش‌های ناپارامتری معرفی شده به وسیله عساکره (۱۳۸۶، ۱۱-۱۰) انجام گرفت. در این راستا، از امکان برنامه نویسی در نرم افزار مت لب^{۱۶} بهره گرفته شد. بدین ترتیب، در

۱۵- Minitab/Win

۱۶- Matlab

محاسبات رگرسیون، میانه تمامی شیب‌های ممکن در سری زمانی به عنوان شیب تغییرات تلقی شد؛ یعنی:

$$b = \text{median} \frac{Z_i - Z_j}{T_i - T_j} \quad (2)$$

برای تشکیل آماره آزمون در ابتدا خطای معیار ($SE(U)$) به شرح زیر حاصل شد:

$$SE(U) = \sqrt{\frac{n(n+1)}{12} \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2} \quad (3)$$

سپس رتبه هریک از متغیرها ($\text{rank}(Z_i)$) در آماره U منظور گردید.

$$U = \sum_{i=1}^n [\text{rank}(Z_i) - \frac{n+1}{2}] T_i \quad (4)$$

بدین ترتیب، امکان آزمون معنی داری شیب تغییرات برپایه آماره آزمون t و با $n-2$ درجه آزادی به شرح ذیل مهیا گردید:

$$|t| = \frac{|U|}{SE(U)} \quad (5)$$

مقدار a در روش ناپارامتری به شکل زیر برآورد می‌شود:

$$a = \text{median} Z_T - bT_i \quad (6)$$

بدین ترتیب، معادله خط رگرسیون برای روند محاسبه و به لحاظ معنی داری حاصل آمد.

۳- تحلیل چرخه‌های مربوط به هر مؤلفه مینا با استفاده از روش بلاکمن و توکی^{۱۷} (۱۹۵۸) که به وسیله عساکره (۱۳۸۸، ۳۳-۵۰) و عساکره (۱۳۸۹، ۱۱-۲۴) ارائه و به کار گرفته شده، انجام شد. این امر با بهره‌گیری از امکان برنامه نویسی در نرم افزار *Matlab* صورت پذیرفت. تحلیل طیفی یکی از روش‌های استخراج و تحلیل نوسان‌های اقلیمی آشکار و نهان با طول موج‌های مختلف است. در تحلیل طیف، تصادفی نبودن نوسان‌ها در سری زمانی در سه سطح ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد آزمون گردید. در این رویه برخلاف تصور و برخلاف روش‌های معمول، سری زمانی تنها حاوی نوسان‌های محدود و با طول موج‌های گسسته در نظر گرفته نمی‌شود، بلکه می‌توان آنها را طول موج‌های نامتناهی و در بازه پیوسته

ای نیز تصور کرد (چتفیلد^{۱۸}، ۱۹۷۵، ۱۳۳). به طور دقیق می‌توان اذعان داشت که طیف در یک سری زمانی اندازه‌ای از توزیع پراش را در امتداد تمامی طول موج‌های سری زمانی به دست می‌دهد. این مقادیر از طول موج‌های نامتناهی (روند خطی) تا کوچکترین طول موج (دوبرابر فاصله بین دو مشاهده متوالی) را در برمی‌گیرد. به عبارت دیگر، طیف، چگونگی توزیع واریانس بین دامنه پیوسته‌ای از بسامدها را نشان می‌دهد. بنابراین، طیف را می‌توان به صورت تجزیه واریانس یک فرایند تفسیر نمود. در تکنیک تحلیل طیفی، ابتدا سری‌های زمانی (در این تحقیق نمرهای مؤلفه‌های مبنا) به تابع فرکانسی (به صورت تابعی دوره‌ای^{۱۹} با دامنه^{۲۰} و فراوانی^{۲۱}) تبدیل شد. در این تابع، فراوانی گویای مقیاس زمانی (چرخه در واحد زمان) و دامنه بیانگر میزان پراش در آن مقیاس زمانی است.

بحث

۱- مؤلفه‌های مبنا نمایه‌های فرین

ماتریس نمره‌های استاندارد شده نمایه‌های فرین بارش در معرض تحلیل مؤلفه‌های مبنا قرار گرفت. نتایج نشان داد که شش مؤلفه هریک با بیش از ۵ درصد پراش حدود ۸۶/۴ درصد پراش نمایه‌ها را توجیه می‌کند. بارهای هریک از این مؤلفه‌ها بر روی هر نمایه در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین، سهم پراش هر مؤلفه و سهم پراش انباشتی مؤلفه‌های ششگانه را در دو ردیف انتهایی می‌توان دید.

جدول ۱: بارهای شش مؤلفه اول بر نمایه‌های فرین بارش زنجان برای دوره آماری ۲۰۰۶-۱۹۶۱

(مآخذ نگارنده)

نمایه	مؤلفه اول	مؤلفه دوم	مؤلفه سوم	مؤلفه چهارم	مؤلفه پنجم	مؤلفه ششم
مجموع بارش صدک اول	-۰/۲۴۸	-۰/۲۸۹	-۰/۰۰۷	-۰/۰۵۷	-۰/۰۱۱	۰/۰۹۷
مجموع بارش صدک پنجم	۰/۲۸۳	۰/۰۱۳	-۰/۰۶۴	-۰/۰۱۶	۰/۳۰۸	۰/۳۱

۱۸ - Chatfield
 ۱۹ - Periodic
 ۲۰ - Amplitude
 ۲۱ - Frequency

تحلیل تغییرات مؤلفه‌های مبنای نمایه‌های فرین بارش شهرزنجان / ۹

-۰/۰۹۱	-۰/۲۳۷	-۰/۱۰۳	۰/۲۷۱	۰/۰۸۵	۰/۲۴۹	مجموع بارش صدک دهم
۰/۱۸۲	۰/۰۴۹	۰/۳۳۷	۰/۲۹۶	-۰/۲۲۳	۰/۰۰۷	مجموع بارش صدک نود
۰/۰۵۳	-۰/۱۲۶	-۰/۱۵۸	-۰/۱۰۸	-۰/۳۵۳	۰/۱۱۴	مجموع بارش صدک نود و پنج
-۰/۲۴۵	۰/۲۰۱	۰/۲۱۹	-۰/۱۸۵	-۰/۱۸۵	۰/۲۱۶	مجموع بارش صدک نود و نه
۰/۱۵۱	۰/۰۰۱	-۰/۰۹۸	-۰/۰۸۴	-۰/۰۴۹	-۰/۳۰۸	سهم بارش صدک اول از کل بارش
۰/۲۹۹	۰/۳۲۸	-۰/۱۵۳	-۰/۰۶۹	۰/۰۱۵	۰/۲۷۹	سهم بارش صدک پنجم از کل بارش
-۰/۱۳۶	-۰/۲۴۵	-۰/۱۱۳	۰/۲۸۱	۰/۰۹	۰/۲۳	سهم بارش صدک دهم از کل بارش
۰/۲۲۶	۰/۰۸۵	۰/۴۱۵	۰/۳۰۲	-۰/۰۱۹	-۰/۰۷۶	سهم بارش صدک نود از کل بارش
۰/۰۳	-۰/۱۸۲	-۰/۲۱۶	-۰/۲۳۲	-۰/۲۵۷	۰/۰۹۵	سهم بارش صدک نود و پنج از کل بارش
-۰/۲۶۸	۰/۲۱۱	۰/۲۰۱	-۰/۳۱۷	۰/۰۹۵	۰/۱۱۹	سهم بارش صدک نود و نه از کل بارش
-۰/۱۰۷	-۰/۲۴۷	-۰/۰۹۶	۰/۲۷۴	۰/۰۸۶	۰/۲۴۳	تعداد روزهای با بارش صدک دهم
۰/۰۹۳	۰/۲۴۹	۰/۲۱۲	۰/۳۳۲	-۰/۱۶۲	-۰/۰۹۸	تعداد روزهای با بارش صدک نود
-۰/۰۲	-۰/۰۶۷	-۰/۲۸۴	-۰/۰۵۳	-۰/۳۴۵	۰/۰۲۸	تعداد روزهای با بارش صدک نود و پنج
-۰/۰۰۸	-۰/۰۷۹	۰/۲۲۱	-۰/۱۲۵	-۰/۲۵۲	۰/۲۴۷	پنج بارش بزرگ
۰/۳۳	۰/۲۷۲	-۰/۲۱۸	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۱۶۹	آستانه صدک اول
۰/۱۸۱	۰/۰۷	-۰/۰۸۶	۰/۱۰۶	۰/۰۹۵	۰/۳۳۳	آستانه صدک پنجم
۰/۲۵۴	-۰/۳۱۶	۰/۲۴۴	-۰/۰۶۶	-۰/۱۵۱	۰/۱۹۳	آستانه صدک نود
۰/۱۹۲	-۰/۳۳۷	۰/۲۵۶	-۰/۰۹۸	-۰/۱۵۲	۰/۱۹۹	آستانه صدک نود و پنج
-۰/۲۳۳	۰/۱۸۶	۰/۲۲۳	-۰/۱۹۹	-۰/۱۶۷	۰/۲۳۲	آستانه صدک نود و نه
-۰/۱۶۹	۰/۱۳۵	-۰/۱۸۳	۰/۲۵۷	-۰/۲۸۶	۰/۰۴۴	تعداد دفعات وقوع روزهای خشک
۰/۲۹۹	-۰/۲۰۳	۰/۰۴۶	-۰/۲۱۶	۰/۱۸۰	-۰/۰۰۵	حداکثر طول دوره خشک
۰/۲۳۶	-۰/۱۱۸	۰/۱۱۲	-۰/۲۵	۰/۲۹۵	-۰/۰۷۷	میانگین طول دوره خشک
۰/۰۷۷	-۰/۰۱۲	-۰/۰۵۵	-۰/۰۰۵	-۰/۲۸۳	-۰/۲۵	تعداد دفعات وقوع روزهای بارانی
۰/۱۹۳	-۰/۰۵۹	-۰/۰۷۶	-۰/۰۶۴	-۰/۱۷۹	-۰/۱۰۶	حداکثر طول روزهای بارانی
۵/۱	۷/۶	۹/۵	۱۶	۲۲/۳	۲۵/۸	سهم پراش
۸۶/۴	۸۱/۲	۷۳/۶	۶۴/۱	۴۸	۲۵/۸	پراش انباشته

مؤلفه اول حدود ۲۵/۸ درصد از پراش مشاهدات را توجیه می کند. این مؤلفه با بیشترین بار بر روی مجموع بارش های کم (مجموع بارش کمتر از صدک اول، پنجم، دهم به ترتیب با بار ۰/۲۴۸-، ۰/۲۸۳ و ۰/۲۴۹)، سهم بارش های مزبور در بارش سالانه (شامل سهم بارش های حاصل از صدک اول، پنجم، دهم به ترتیب با بارهای ۰/۳۰۸-، ۰/۲۷۹ و ۰/۲۳) و آستانه صدک پنجم (با بار ۰/۳۳۳)، به نظر می رسد که این مؤلفه می تواند نماینده بارش های کم مقدار باشد. با این وصف، آستانه صدک ۹۹ و تعداد دفعات وقوع روزهای بارانی نیز به ترتیب با بارهای ۰/۲۳۲ و ۰/۲۵- مشخص شده اند.

مؤلفه دوم به عنوان نماینده فراوانی و تداوم بارش های بزرگ حدود ۲۲/۳ درصد از پراش مشاهدات را توجیه می کند. این مؤلفه با بیشترین بار بر روی مجموع بارش های سنگین (مجموع بارش های حاصل از صدک های ۹۰ و ۹۵ به ترتیب با بارهای ۰/۲۲۳- و ۰/۳۵۳-)، یک مورد مجموع بارش حاصل از صدک اول (با بار ۰/۲۸۹-)، سهم بارش حاصل از صدک ۹۵ (با بار ۰/۲۵۷-)، تعداد روزهای توام با بارش حاصل از صدک ۹۵ (با بار ۰/۳۴۵-) و پنج بارش بزرگ (با بار ۰/۲۵۲-) مشخص می گردد. عموماً بارهای اعمال شده بر این مؤلفه، منفی است. همچنین، بارهای تعداد دفعات وقوع روزهای خشک، میانگین طول دوره خشک و تعداد دفعات وقوع روزهای بارانی (به ترتیب با ۰/۲۸۶-، ۰/۲۹۵ و ۰/۲۸۳-) نیز با مقادیر نسبتاً بزرگ در این مؤلفه مشارکت دارند.

مؤلفه سوم حدود ۱۶ درصد پراش نمایه ها را توجیه می کند. در این مؤلفه، مجموع بارش حاصل از صدک های ۱۰ و ۹۰ (به ترتیب با بارهای ۰/۲۷۱ و ۰/۲۹۶) رخ داده است، اما عمدتاً بارهای بزرگ به سهم بارش های بزرگ (سهم بارش های حاصل از صدک ۹۰، ۹۵ و ۹۹ به ترتیب با ۰/۳۰۲، ۰/۲۳۲ و ۰/۳۱۷) و تعداد روزهای توام با بارش های صدک ۹۰ (با بار ۰/۳۳۲) تعلق دارد. همچنین، مجموع، سهم و تعداد روزهای توام با بارش حاصل از صدک دهم (با بارهای ۰/۲۷۱، ۰/۲۸۱ و ۰/۲۷۴) در این مؤلفه نقش ایفا می کنند. بنابراین و با توجه به بارهای این مؤلفه، مؤلفه مزبور می تواند نماینده سهم بارش های سنگین تلقی شود. با این وصف، تعداد دفعات وقوع روزهای خشک و حداکثر طول دوره خشک با بارهای به ترتیب ۰/۲۵۷ و ۰/۲۱۶- در این مؤلفه دخالت داشته اند.

مؤلفه چهارم به عنوان نماینده بارش‌های سنگین، ۹/۵ درصد از پراش موجود در نمایه‌ها را برعهده دارد. مجموع بارش حاصل از صدک‌های ۹۰ و ۹۹ (به ترتیب با بار ۰/۳۳۷ و ۰/۲۱۹)، سهم بارش‌های حاصل از صدک‌های ۹۰ تا ۹۹ (به ترتیب با بارهای ۰/۴۱۵ و ۰/۲۱۶) و ۰/۲۰۱) تعداد روزهای بارش حاصل از صدک ۹۰ و ۹۵ (با بارهای ۰/۲۱۲ و ۰/۲۸۴) و پنج بارش بزرگ (با بار ۰/۲۲۱)، آستانه صدک‌های ۹۰، ۹۵ و ۹۹ (به ترتیب با بارهای ۰/۲۴۴، ۰/۲۵۶ و ۰/۲۲۳) بزرگترین بارها را در این مؤلفه برعهده دارند.

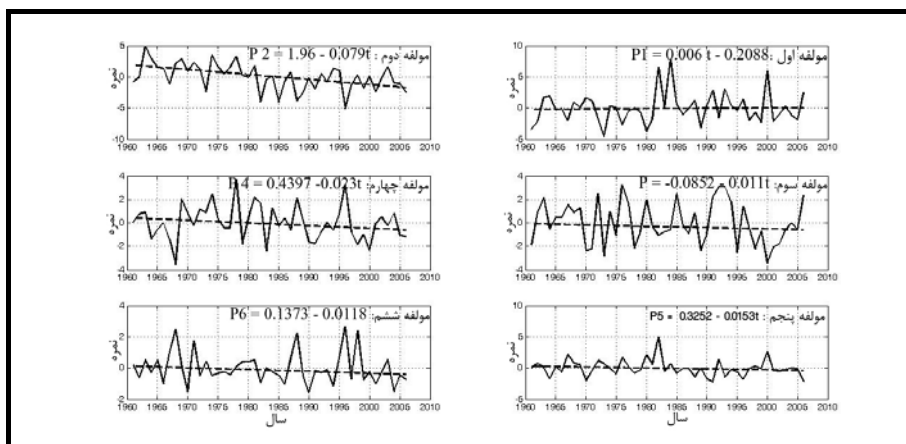
مؤلفه پنجم با ۷/۶ درصد کل پراش موجود در نمایه‌ها مشخص می‌شود. در این مؤلفه مجموع بارش‌های حاصل از صدک‌های پنجم و دهم (با بارهای ۰/۳۰۸ و ۰/۲۳۷)، سهم این بارش‌ها (با بارهای ۰/۳۲۸ و ۰/۲۴۵)، روزهای توام با بارش صدک دهم (با بار ۰/۲۴۷) و آستانه‌های بارش صدک اول، ۹۰ و ۹۵ (به ترتیب با بارهای ۰/۲۷۲، ۰/۳۱۶ و ۰/۳۳۷) و سهم بارش صدک ۹۹ و تعداد روزهای توام با بارش صدک ۹۰ (با بارهای ۰/۲۱۱ و ۰/۲۴۹) و نیز حداکثر طول دوره خشک (۰/۲۰۳) بیشترین بارها را برعهده دارند. از این رو، مؤلفه مزبور را می‌توان نماینده خشکسالی‌های ملایم دانست.

مجموع بارش‌های حاصل از صدک پنجم و ۹۹ (با بارهای ۰/۳۱ و ۰/۲۴۵) سهم بارش‌های حاصل از صدک پنجم، ۹۰ و ۹۹ (با بارهای ۰/۲۹۹، ۰/۲۲۶ و ۰/۲۶۸)، آستانه‌های بارش صدک‌های اول، ۹۰ و ۹۹ (با بارهای ۰/۳۳، ۰/۲۵۴ و ۰/۲۳۳)، حداکثر و میانگین طول دوره خشک (با بارهای ۰/۲۹۹ و ۰/۲۳۶) ۵/۱ پراش کل نمایه‌ها را در مؤلفه ششم تشکیل می‌دهند. بنابراین، مؤلفه ششم به عنوان نماینده دوره‌های خشک و حداکثر طول دوره خشک به شمار می‌آید.

۲- تغییرات زمانی مؤلفه‌های مبنا

بر اساس ضرایب ارائه شده در جدول ۱، نمره‌های مربوط به هر مؤلفه محاسبه و شش سری زمانی برای شش مؤلفه مبنا به دست آمد. تغییرات زمانی این شش سری بررسی و واریسی شد. شکل ۱ تغییرات زمانی مؤلفه‌های ششگانه را نشان می‌دهد.

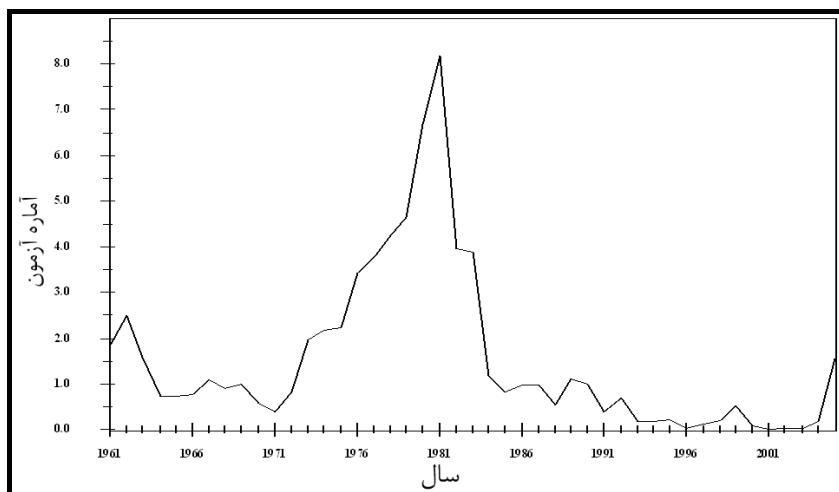
چنانکه در شکل ادیده می‌شود، تمامی مولفه‌ها از روند منفی برخوردار بوده‌اند. با این وصف، به لحاظ آماری و با ۹۵ درصد اطمینان تنها روند مؤلفه دوم معنی دار است. روند این مؤلفه کاهشی سالانه حدود ۰/۰۸ را نشان می‌دهد. همان گونه که دیدیم، مؤلفه دوم به عنوان نماینده فراوانی و تداوم بارش‌های بزرگ تلقی می‌شده است. همچنین، عموماً تأثیر بارش‌های بزرگ در این مؤلفه نیز منفی بوده است. بنابراین، می‌توان استنباط نمود که در دراز مدت سهم این بارهای منفی کاهش و مقادیر بارش‌های بزرگ افزایش می‌یابد.



شکل ۱: تغییرات زمانی و روند شش مؤلفه مبنای نمایه‌های فرین بارش زنگان برای دوره آماری

۲۰۰۶-۱۹۶۱ (مأخذ: نگارنده)

مؤلفه اول به عنوان نماینده بارش‌های کم مقدار فاقد روند معنی داری است. با این وصف، جهش قابل توجهی در مقادیر آن مشاهده می‌شود. به منظور بررسی معنی داری این جهش از آزمون همگنی نرمال استاندارد (SNHT) استفاده شد (برای آشنایی رک: الکساندرسون،^{۲۰} ۱۹۸۶، ۶۶۱-۶۶۵). شکل ۲ مقادیر این آزمون را نشان می‌دهد. بر این اساس، یک جهش منفرد در نمره‌ها از سال ۱۹۸۲ مشاهده می‌شود.

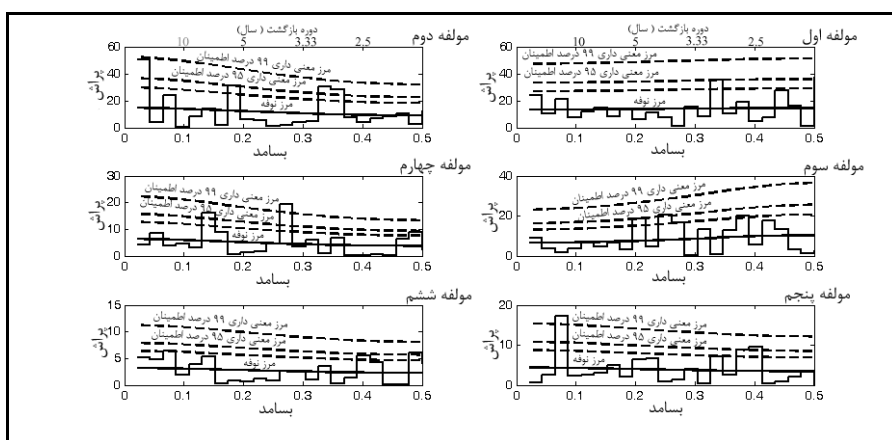


شکل ۲: تغییرات آماره آزمون الکساندرسون برای مؤلفه اول طی دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۰۶ (مأخذ: نگارنده)

همان گونه که در شکل دیده می‌شود، آماره آزمون این جهش ۸/۱۷ با مقدار بحرانی آن (۸/۱) مقایسه و با ۹۵ درصد اطمینان، جهش معنی دار تایید گردید. میانگین میزان تغییر و به عبارت دیگر، جابه جایی میانگین دو نیم دوره در نمره مؤلفه حدود ۲/۳۳۱ بوده است. بررسی‌ها نشان داد که جهش مشابه در بارش‌های حاصل از صدک اول رخ داده است. بنابراین جهش ایجاد شده در مؤلفه اول می‌تواند نماینده جهش مشخصه‌های بارش حاصل از صدک اول (مجموع، سهم و تعداد روزها) باشد. از آنجا که بارهای صدک‌های مزبور برای این مؤلفه منفی است، می‌توان استنباط نمود که مجموع بارش‌های حاصل از این صدک‌ها کاهش سطح داشته و این امر گویای کاهش بارش‌های کم مقدار است. همچنین، سهم و تعداد روزهای توام با بارش‌های مزبور کاسته شده‌اند.

وارسی‌های متوالی مؤلفه‌ها نشان داد که به جز موارد یاد شده در بالا، هیچ روند یا جهش معنی دار دیگری در مؤلفه‌ها وجود ندارد. بدین علت، نوع دیگری از نایستایی زمانی؛ یعنی چرخه‌های سالانه مؤلفه‌ها در معرض توجه قرار گرفت. لذا مؤلفه‌ها در معرض تحلیل طیفی قرار گرفتند. شکل ۳ چرخه‌های هریک از مؤلفه‌ها، مرزهای معنی داری ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد

(خط چین‌ها به ترتیب از پایین به بالا) و مرز نوفه (خط ممتد میانی) را نشان می‌دهد. محور افقی بالایی دوره بازگشت و محور افقی پایینی بسامدها را نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود، مؤلفه اول فاقد چرخه معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۵ درصد و بالاتر است. تنها یک چرخه بین ۲ تا ۳ سال در سطح اعتماد ۹۰ درصد قابل رؤیت است. به این علت که این چرخه تقریباً بر روی مرز معنی‌داری ۹۵ قرار دارد، به عنوان چرخه‌ای معنی‌دار در نظر گرفته نمی‌شود.



شکل ۳: طیف مؤلفه‌های شش گانه بارش‌های فرین برای دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۰۶ (مأخذ: نگارنده)

مؤلفه دوم سه چرخه را با ضریب اطمینان ۹۵ درصد نشان می‌دهد. این چرخه‌ها شامل چرخه‌هایی در بسامدهای ۰/۰۲۱۷، ۰/۳۲۶۱ و ۰/۳۴۷۸ (به ترتیب با دوره بازگشت تقریبی ۴، ۳ و ۲/۹ ساله) است. واضح است که چرخه با بسامد کم (دوره بازگشت زیاد) را می‌توان به روند حاکم بر مؤلفه نسبت داد که پیشتر از آن سخن گفته شد. مؤلفه سوم و ششم نیز همچون مؤلفه اول فاقد چرخه مشخص و معنی‌دار (در سطح ۹۵ درصد اطمینان) است، در حالی که مؤلفه چهارم ضمن نمایش چرخه‌های نسبتاً آشکار در نمودار مربوط به سری زمانی (شکل ۲)، در شکل ۴ نیز در بسامد ۰/۲۶۰۸۷ (بادوره بازگشت تقریبی ۴ ساله) با ۹۹ درصد اطمینان و در بسامد ۰/۱۳۰۴۳ (دوره بازگشت تقریبی ۷/۷ ساله) با ۹۵ درصد اطمینان چرخه‌های معنی‌داری را تجربه نموده است.

تحلیل تغییرات مؤلفه‌های مبنای نمایه‌های فرین بارش شهرستان زنجان / ۱۵

مؤلفه پنجم با اطمینان ۹۹ درصد در بسامد ۰/۰۶۵۲ (دوره بازگشت تقریباً ۱۵ ساله) و با اطمینان ۹۵ درصد در بسامدهای ۰/۳۶۹۶ و ۰/۳۹۱۳ (به ترتیب با دوره بازگشت تقریبی ۳ و ۲/۵ ساله) مؤلفه‌ای پرافت و خیز و نایستا به شمار می آید.

نتیجه گیری

اقلیم سامانه ای متشکل از اجزاء (اتمسفر، لیتوسفر، هیدروسفر و بیوسفر)، عوامل (طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع، فاصله تا پهنه‌های آبی) و عناصر (دما و تابش، رطوبت و بارش، فشار و باد و...) است. هرگونه تغییر در هریک از این زیر سامانه‌ها تغییرات را سریعتر و برخی با تاخیر نشان می‌دهند. عناصر اقلیمی در قیاس با زیر سامانه‌های دیگر واکنش سریعتری نسبت به تغییرات نشان می‌دهند. این واکنش‌ها به صورت تغییر سطح میانگین، توزیع فراوانی و یا فرین‌ها صورت می‌گیرد. بارش یکی از عناصر حساس و پراالتهاب است که انعکاس تغییرات بر آن بسیار زیاد است. توجه به فرین‌های بارش رویکردی نسبتاً نوین در مطالعه تغییر اقلیم به شمار می‌آید. این رویکرد نیازمند مطالعه با تفکیک زمانی - مکانی بالاست.

به منظور بررسی توام فرین‌های بارش، ۲۶ نمایه فرین بارش از بارش‌های روزانه شهر زنجان طی دوره آماری ۲۰۰۶-۱۹۶۱ استخراج گردید. سپس با استفاده از تکنیک تحلیل مؤلفه‌های مینا، شش مؤلفه از ۲۶ نمایه که حدود ۸۶/۵ درصد از تغییرات را توضیح می‌داد، اختیار شد. این شش مؤلفه در برگیرنده بارش‌های کم مقدار، فراوانی و تداوم بارش‌های بزرگ، میزان بارش‌های سنگین، خشکسالی‌های ملایم، دوره‌های خشک و حداکثر طول دوره خشک هستند. شش مؤلفه مزبور به لحاظ تغییرات بلند مدت (وجود روند)، جهش و چرخه‌ها مورد آزمون قرار گرفتند.

از سال ۱۹۸۲ به بعد، مؤلفه اول با تغییر سطح معنی دار بر کاهش بارش‌های حاصل از صدک اول دلالت دارند. مؤلفه دوم به عنوان نماینده فراوانی و تداوم بارش‌های بزرگ حاوی روند کاهشی معنی داری بوده است. بقیه مؤلفه‌ها فاقد روند و جهش بوده‌اند. بنابراین، برخلاف بسیاری نواحی اقلیمی دیگر و نیز مطالعات عمده جهانی زنجان با کاهش فراوانی و

تداوم بارش‌های بزرگ مواجه شده است، در حالی که بقیه مشخصه‌ها همچنان ثابت مانده‌اند. این امر اثباتی بر تبعیت فرین‌های اقلیمی از الگوهای مکانی است. به منظور ردیابی چرخه‌ها در مؤلفه‌های مبنای فرین، تحلیل طیفی مؤلفه‌های مبنای فرین‌های بارش انجام شد. یافته‌ها نشان داد که مؤلفه دوم علاوه بر روند بلند مدت، حاوی چرخه‌های حدوداً سه ساله است. این وضعیت از یک الگوی نوسانی در فراوانی و تداوم بارش‌های بزرگ حکایت دارد؛ یعنی انتظار می‌رود که رفتارهای این نمایه‌ها هر سه سال یک بار تکرار شود. مؤلفه چهارم به عنوان نماینده بارش‌های ابر سنگین با چرخه‌های تقریبی چهار ساله مشخص گردید. مؤلفه پنجم که نماینده میزان، فراوانی و تداوم بارش‌های کم مقدار است، حاوی چرخه‌های ۲-۳ ساله هستند. پیشنهاد می‌شود این نوع تحولات از طریق شرایط سینوپتیک و نیز عملکرد پیوند ازدور (که در حوصله این مقاله نیست) بررسی و ردیابی گردد. به هر حال، با توجه به مطالعات پرشماری که در نقاط مختلف جهان شده و نیز براساس یافته‌های پذیرفته شده اقلیم شناختی، می‌توان پذیرفت که چرخه‌های دوسالانه حاصل تغییر جریان‌های مداری است که از ویژگی عام اقلیم کره زمین است.

منابع

- ۱- جانسون، ریچارد آ و ویچرن دین دبلیو، ترجمه: نیرومند، حسینعلی. (۱۳۸۶). تحلیل آماری چند متغیری کاربردی " انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۲- عساکره حسین. (۱۳۸۶). الف، تغییر اقلیم، زنجان، انتشارات دانشگاه زنجان؛ ۲۳۴ صفحه
- ۳- عساکره، حسین. (۱۳۸۶). ب، "کاربرد رگرسیون خطی در تحلیل روند دمای سالانه تبریز" فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. ش ۸۷، صص ۲۶-۳
- ۴- (۱۳۸۸). "تحلیل طیفی سری‌های زمانی دمای سالانه تبریز" فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. ش ۹۳، صص ۳۳-۵۰
- ۵- (۱۳۸۹). تحلیل چرخه‌های میانگین دمای سالانه شهر زنجان مجله جغرافیا و توسعه. شماره ۱۹. صص ۱۱-۲۴
- ۶- فرشاد فر، عزت الله. (۱۳۸۴). اصول و روش‌های آماری چند متغیره کرمانشاه، انتشارات دانشگاه رازی.
- ۷- مانلی، بی. اف. جی. (۱۳۸۸). ترجمه مقدم، محمد و محمدی شوطی، ابوالقاسم و آقائی سربرزه، مصطفی، آشنایی با روش‌های آماری چند متغیره، انتشارات پیشتاز علم.
- ۸- محمدی، یختیار. (۱۳۸۸). تحلیل هم‌دید بارش‌های ابرسنگین ایران، رساله دکتری اقلیم شناسی، استاد راهنما: دکتر سید ابوالفضل مسعودیان و دکتر محمدرضا کاویانی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه اصفهان.

تحلیل تغییرات مؤلفه‌های مبنای نمایه‌های فرین بارش شهرزنگان / ۱۷

- ۹- محمدی، بختیار و مسعودیان، سیدابوالفضل. (۱۳۸۹). «تحلیل هم‌مدید بارش‌های سنگین ایران، مطالعه موردی، آبان ماه ۱۳۷۳»، مجله جغرافیا و توسعه. ش ۱۹، صص ۴۷-۷۰.
- ۱۰- مسعودیان، سیدابوالفضل. (۱۳۸۷). «شناسایی شرایط هم‌مدید همراه با بارش‌های ابرسنگین ایران»، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز ۲۳ الی ۲۵ مهرماه ۱۳۸۷.
- ۱۱- Alexandersson, H., ۱۹۸۶: A homogeneity test applied to precipitation data. J. Climatol., ۶, ۶۶۱-۶۷۵.
- ۱۲- Blackman, R.B. and Tukey, J.W. ۱۹۵۸, The Measurement of power spectra, Dover Publications, ۱۹۰ pp New York
- ۱۳- Brooks, Harold.E and Stensrud, David.J. ۲۰۰۰: Climatology of heavy rain events in United States from Hourly precipitation observations. Monthly Weather Review. Vol ۱۲۸: ۱۱۹۴-۱۲۰۱
- ۱۴- Chatfield, C., ۱۹۷۵, The analysis of time series: theory and practice, Chapman and Hill, London, ۲۶۳pp.
- ۱۵- Fowler, H.J, EK. Strom, M, Kilsby, C. G. and Jones. ۲۰۰۵: New estimates of Future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations. ۱: Assessment of control climate. Journal of Climatology. ۲۰۰۵: ۲۱۲-۲۳۳.
- ۱۶- Haylock, Malcolm and Nicholls, Neville. ۲۰۰۰: Trend in extreme rainfall indices for an updated high quality data set for Australia, ۱۹۱۰-۱۹۹۸. Int. J. Climatol. ۲۰: ۱۵۳۳-۱۵۴۱.
- ۱۷- IPCC (۲۰۰۱). Climate Change ۲۰۰۱: The Scientific Basis Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- ۱۸- IPCC (۲۰۰۷). Climate Change ۲۰۰۷: The Scientific Basis Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- ۱۹- Loranz, E.N. ۱۹۶۴: The Problem of Deducing The Climate from the Governing Equation. Tellus, Vol ۱۶, ۱-۱۱
- ۲۰- Rahimzadeh, Fatemeh, Asgari, Ahmad and Fattahi, Ebrahim. ۲۰۰۹: Variability of extreme temperature and precipitation in Iran during recent decades. Int.J.Climatol. ۲۹: ۳۲۹-۳۴۳
- ۲۱- SenRoy, Shouraseni ۲۰۰۹: A spatial analysis of extreme hourly precipitation patterns in India. Int.J.Climatol. ۲۹: ۳۴۵-۳۵۵
- ۲۲- WMO ۱۹۸۹. Calculation of Monthly and Annual ۳۰-year Standard Normal, WCDP-No. ۱۰, WMO-TD/No. ۳۴۱, World Meteorological Organization: Geneva.

۱۸ / فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۷، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۱، شماره پیاپی ۱۰۵