نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۷، شماره ۴۵، پاییز ۱۳۹۲، صفحات ۱۴۲-۱۲۱

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۲/۲۷ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۰/۱۰/۲۶

تحلیل مولفه‌های اصلی مشخصات بارش سالانه شهر زنجان

حسین عساکره[۱]

علی بیات[۲]

چکیده

تحلیل مولفه‌های اصلی یک روش بهینه ریاضی برای کاهش حجم داده‌ها و تبدیل متغیرهای اولیه به چند مولفه محدود است به‌طوری که این چند مولفه بیشترین پراش متغیرهای اولیه را توجیه نماید. در این مطالعه برخی مشخصات آماری بارش سالانه شهر زنجان شامل مجموع بارش سالانه، تعداد روزهای بارانی، بزرگ‌ترین بارش روزانه در سال، نسبت بارش بیشینه به مجموع بارش سالانه و مشخصاتی از قبیل انحراف معیار، چولگی، کشیدگی، میانگین قدر مطلق انحراف از میانگین و میانگین قدر مطلق تغییرپذیری سالانه که از بارش ماهانه برای هر سال محاسبه گردید در معرض تحلیل مولفه‌های اصلی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با چهار مولفه می‌توان بیش از ۹۵ درصد از تغییرات بارش سالانه را توضیح داد. مولفه اول که بالاترین پراش داده‌ها (۴۲/۶ درصد) را تبیین می‌کند، نماینده بارش سالانه و شاخص‌های مطلق تغییرپذیری آن یعنی انحراف معیار، میانگین قدر مطلق انحراف از میانگین و میانگین قدر مطلق تغییرپذیری سالانه می‌باشد. مولفه دوم نماینده شاخص‌های شکل توزیع فراوانی (چولگی و کشیدگی)، مولفه سوم نماینده بارش‌های بیشینه و در نهایت مولفه چهارم نماینده تعداد روزهای بارانی می‌باشد. تحلیل روند نمرات مولفه‌ها نشان داد که نمرات مولفه‌های اول و چهارم به ترتیب دارای روند معنی دار کاهشی و افزایشی حول یک خط را دارند که نشان از کاهش بارش در طول دوره آماری مورد مطالعه از یک طرف و یکنواخت شدن توزیع زمانی آن دارد.

واژگان کلیدی: تحلیل مولفه‌های اصلی، روند، بارش، شهر زنجان.

۱ـ دانشیار اقلیم‌شناسی دانشگاه زنجان. Email:asakereh@znu.ac.ir

۲ـ کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی از دانشگاه زنجان. Email:alibayat86@yahoo.com

مقدمه

بارش عنصری اقلیمی است که مقدار آن در مکان و زمان پیوسته تغییر می‌کند. برای مثال در ایران دوازده رژیم بارش متمایز دیده می‌شود. پراکندگی جغرافیایی قلمرو این رژیم‌ها نشان می‌دهد که تفاوت رژیم های بارش ایران عمدتاً متأثر از عرض جغرافیایی است (مسعودیان و کاویانی، ۱۳۸۷: ۸۱). شناخت رفتار مکانی- زمانی بارش و دیگر عناصر اقلیمی در کانون توجه بسیاری از اقلیم‌شناسان بوده است. برای مثال ناحیه‌بندی اقلیمی به ویژه بر پایه تحلیل مولفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای به فراوانی انجام شده است. تکنیک های مزبور از روش‌های چند متغیره در تحلیل‌های مکانی می‌باشند. برای اولین بار استاینر[1] (۱۹۶۵: ۳۲۹) بر اساس شانزده متغیر دما و رطوبت ماهانه اقلیم ایالات متحده را با استفاده از روش تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای ناحیه‌بندی کرد. ویلموت[2] (۱۹۷۸: ۲۷۸) با استفاده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی مناطق بارشی کالیفرنیا را گروه‌بندی نمود. وتون[3] (۱۹۸۸: ۱۵۵) تغییرپذیری بارش جنوب شرقی استرالیا را با تحلیل مولفه‌های اصلی مورد بررسی قرار داد. از دیگر کارهای انجام شده در زمینه مطالعه بارش با استفاده از تکنیک تحلیل مولفه‌های اصلی می‌توان به اسنایرز و همکاران (۱۹۸۹: ۱۹۹)[4]، بالافوتیس[5] (۱۹۹۱: ۹۰) و استاتیس و همکاران[6] (۲۰۰۹: ۴۷۶) اشاره کرد.

اقلیم‌شناسان ایرانی نیز به پهنه‌بندی اقلیمی توجه بسیار داشته‌اند. برای مثال مسعودیان (۱۳۸۲: ۱۷۱) در بررسی نواحی اقلیمی ایران، بر پایه شش عامل اقلیمی پانزده ناحیه برای ایران شناسایی نمود. ناظم‌السادات و همکاران (۱۳۸۲: ۶۱) بارندگی‌های زمستانه سه استان بوشهر، فارس و کهکیلویه و بویراحمد را با استفاده روش تحلیل مولفه‌های اصلی پهنه‌بندی نمودند. غیور و منتظری (۱۳۸۳: ۲۱) رژیم دمایی ایران را با مولفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای مورد پهنه‌بندی قرار دادند و سه قلمرو اصلی رژیم دمایی کشور را مشخص کردند

1- Stiner
2- Wilmot
3- Whetton
4- Sneyers et al.
5- Balafoutis
6- Stathis et al

که عبارتند از قلمرو کوهستانی، قلمرو کوهپایه‌ای و پست، و قلمرو جنوب. مسعودیان و عطایی (۱۳۸۴: ۱) با انجام تحلیل خوشه‌ای بر روی نزدیک به نیم قرن بارش ماهانه ایران پنج ناحیه بارشی شناسایی کرده‌اند. مسعودیان (۱۳۸۶: ۴۷) رژیم‌های بارش ایران را به روش تحلیل خوشه‌ای مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت که در ایران سه رژیم بارش اصلی قابل شناسایی است که عبارتند از رژیم بارش زمستانی، رژیم بارش زمستانی ـ بهاری و رژیم بارش پاییزی. همچنین نشان داد که توزیع زمانی بارش با عرض جغرافیایی ارتباط دارد. رضیئی و عزیزی (۱۳۸۶: ۶۲) بارش‌های غرب کشور را با استفاده از تحلیل مولفه‌های اصلی منطقه‌بندی نمودند. سلیقه و همکاران (۱۳۸۷: ۱۰۱) با استفاده از بیست متغیر اقلیمی و به روش تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای، اقلیم سیستان و بلوچستان را پهنه‌بندی نمودند و نشان دادند که اقلیم استان ساخته پنج عامل است که به ترتیب اهمیت عبارتند از: عوامل رطوبت جوی، بارش، حرارت، تابش و باد و تندر. در این تکنیک‌ها چند متغیر به لحاظ تغییر (پذیری) در معرض توجه قرار می‌گیرند. یکی از کاربردهای تکنیک چندمتغیره که در کشور ما به ویژه در منطقه مورد مطالعه یعنی زنجان کمتر در معرض توجه بوده تحلیل چندمتغیره سری‌های زمانی است. در این پژوهش از تکنیک‌های فوق برای تحلیل تغییرات مشخصه‌های بارش شهر زنجان بهره گرفته شده است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از داده‌های بارش شهر زنجان شامل مجموع بارش، تعداد روزهای بارانی، بزرگ‌ترین بارش روزانه، نسبت بارش بیشینه به مجموع بارش سالانه و مشخصاتی از قبیل انحراف معیار، چولگی، کشیدگی، میانگین قدر مطلق انحراف از میانگین[1] (AMD) و میانگین قدر مطلق تغییرپذیری سالانه[2] (MAIV) که از روی بارش ماهانه برای هر سال محاسبه گردید، استفاده شده است. این تحقیق بر مبنای مشاهدات ایستگاه سینوپتیک شهر زنجان به‌مدت ۵۳ سال (۲۰۰۹ـ۱۹۵۷) بنا نهاده شد. مختصات جغرافیایی ایستگاه سینوپتیک زنجان به ارتفاع ۱۶۶۳ متر به شرح زیر می‌باشد:

1- Absolute Mean Deviation
2- Mean Absolute Interannual Variability

$$N: 36^{\circ}41'$$

$$E: 48^{\circ}29'$$

این تحقیق با بهره‌مندی از تحلیل مولفه‌های اصلی انجام گردید. روش تحلیل مولفه‌های اصلی از خانواده بردارهای ویژه است که عمدتاً به عنوان یک روش ریاضی برای کاهش حجم داده‌ها به کار گرفته می‌شود. این روش مجموعه متغیرهای اصلی را به مجموعه کوچک‌تری تبدیل می‌کند به‌طوری که این مجموعه کوچک بیشترین پراش موجود در داده‌ها را توجیه نماید. هدف از تحلیل مولفه‌های اصلی آن است که پراش موجود در داده‌های چندین متغیر را به مولفه‌هایی تبدیل می‌کند که اولین مولفه تا آن جا که ممکن است بیشترین پراش موجود در داده‌ها، دومین مولفه بیشترین پراش ممکن بعد از مولفه اول و الی آخر را توجیه نماید (فرشادفر، ۱۳۸۴: ۳۱۶). به علاوه در این روش هر مولفه مستقل از مولفه دیگر است و بین مولفه‌ها همبستگی وجود ندارد. بنابراین اگر متغیرهای X_1، X_2،...، Xp را مورد بررسی قرار دهیم، تابع خطی $PC_1 = a_{11}X_1 + a_{21}X_2 + ... + a_{P1}X_P$ را اولین مولفه اصلی گویند. به همین ترتیب دومین مولفه اصلی به صورت زیر خواهد بود:

$$PC_2 = a_{12}X_1 + a_{22}X_2 + ... + a_{P2}X_P$$

و الی آخر به‌طوری که به تعداد متغیرها مولفه خواهیم داشت (برای آگاهی از مبانی نظری و مراحل انجام تحلیل مولفه‌های اصلی به فرشادفر (۱۳۸۴) مراجعه کنید). اندازه هر کدام از مشاهدات در مولفه‌های جدید با عنوان نمرات مولفه‌ها محاسبه می‌شود در نتیجه به جای اندازه مشاهدات، نمرات آنها در مولفه‌های جدید مورد بررسی قرار می‌گیرد.

به دلیل فزونی شاخص‌های بارش، تنوع رفتار آنها و نیز به دلیل وجود همبستگی بسیار بالای برخی از این شاخص‌ها و همچنین به دلیل تفاوت زیاد در مقادیر هر یک از متغیرها (Xij)، با استفاده از رابطه ۱ به نمرات استاندارد تبدیل گردید (روکو و همکاران، ۲۰۰۰: ۳۰۵۷):

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \overline{X}_j}{S_j} \qquad (۱)$$

در رابطه فوق Xij مقادیر متغیرها، $\overline{X}_j$ میانگین و S_j انحراف معیار هر متغیر می‌باشد.

در ادامه یک ماتریس از نمرات استاندارد به ابعاد ۹×۵۳ با آرایش P تشکیل شد (هرناندز و همکاران[1]، ۲۰۰۹: ۲۱۹). در اینجا ۵۳ تعداد سال‌ها (ردیف‌های ماتریس) و ۹ تعداد ستون‌های ماتریس است که شامل مشخصات آماری بارش شهر زنجان می‌باشد. مقرر شد مولفه‌هایی که بیش از ۵ درصد از پراش (تغییرات) را تبیین کنند، به عنوان مولفه‌های توجیه‌کننده بیشینه پراش انتخاب شوند.

اولاً مولفه‌ها بایستی بتوانند خوشه‌بندی متغیرها را به‌نحو کاملاً مستقل از یکدیگر انجام دهند دوم اینکه ممکن است بارگویه‌های متغیرها با مولفه‌های متعددی بالا باشند در صورتی که پردازش باید به گونه‌ای باشد که متغیرها با یک مولفه بالاترین بارگویه معنی‌دار را داشته باشند، برای رفع مشکل اخیر و حصول نتیجه مطلوب معمولاً مولفه‌ها چرخش داده می‌شوند. از حاصل ضرب ماتریس پراکنش در ماتریس بارها، ماتریس نمرات مولفه‌ها به دست می‌آید. ماتریس نمرات مولفه‌ها در واقع رابطه میان مشاهدات و مولفه‌ها را معلوم می‌سازد. به عبارت دیگر نمرات مولفه‌ها ارزش هر کدام از مشاهدات در مولفه‌های جدید بوده و به شرح ذیل محاسبه می‌شود (علیجانی، ۱۳۸۵: ۱۸۵):

$$\hat{F}_{jk} = \sum_{i=1}^{p} W_{ji} Z_{ik} \qquad (۲)$$

که در آن Z_{ik} مقدار استاندارد شده مشاهده k ام از متغیر i ام و W_{ji} ضریب نمرات متغیر i ام در مولفه j ام است. تعداد متغیرها از i=1 تا i=p است. بدین ترتیب با کاهش مشاهدات، به جای بررسی تمام متغیرها برای توصیف بارش، از سری زمانی نمرات چند مولفه محدود که نماینده مشاهدات می‌باشند استفاده گردید. در این پژوهش برای

1- Hernandez et al.

آشکارسازی روند نمرات مولفه‌ها از روش پارامتریک پیرسون و برای مدل‌سازی روند از روش رگرسیون ناپارامتریک بهره گرفته شد.

متداول‌ترین شاخص آشکارسازی روند، ضریب همبستگی گشتاوری پیرسون بین یک متغیر یا شاخص‌های آن (F_j) و زمان (t) است که به صورت زیر برآورد می‌شود (وایزبرگ، ۲۰۰۵: ۱۹)[1]:

$$r_{Ft} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(t_i - \bar{t})(F_j - \overline{F}_j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(t_i - \bar{t})^2 \sum_{j=1}^{n}(F_j - \overline{F}_j)^2}} \qquad (۳)$$

وقتی مقادیر زمان (t) و فراسنج (F_j در این جا مولفه اصلی j ام) با هم تغییر کنند، بالاترین ضریب ممکن (شاخص عددی ۱+) و ضریب همبستگی کامل و مثبت بین متغیرها حاصل می‌شود. ضریب همبستگی (۱−) نشان‌دهنده رابطه کامل و منفی است. اگر ضریب همبستگی زمان و نمایه صفر باشد، گفته می شود آن دو متغیر ناهمبسته هستند.

الگوی رگرسیون خطی یک سری زمانی از مولفه F_j به صورت زیر بیان می‌شود (بازرگان لاری، ۱۳۸۵: ۹):

$$F_j = a + bt + e_t \qquad (۴)$$

در اینجا a عرض ازمبدأ، b شیب خط (تغییر به ازای زمان) و e_t خطا (باقیمانده یا انحراف)های برآورد خوانده می‌شود. این الگو به منظور تصویر تغییرات تدریجی، خطی راست از میان داده‌ها برازش می‌دهد. مقدار b متوسط تغییر به ازای هر واحد زمانی (روند) را نشان می‌دهد. برای محاسبه شیب خط رگرسیون بر اساس روش ناپارامتری، شیب تمام

1- Weisberg

زوج‌های ممکن ($b_{jk} = \frac{F_j - F_k}{T_j - T_k}$) محاسبه و میانه این شیب‌ها به عنوان شیب سری زمانی به شمار می‌آید (عساکره، ۱۳۸۷: ۳):

$$b = median \frac{Z_i - Z_j}{T_i - T_j} \qquad (۵)$$

در اینجا دو نکته شایان یادآوری است: اول این که از زوج‌هایی که برای آنها $T_j = T_k$ است چشم‌پوشی می‌شود. بنابراین حداکثر شیب جفت داده‌های قابل محاسبه، برابر با $\frac{n(n-1)}{2}$ است. دوم این که $j \succ k$ است. برای تشکیل آماره آزمون مراحل زیر ضروری می‌باشد.

۱- محاسبه خطای معیار SE(U) به صورت زیر:

$$SE(U) = \sqrt{\frac{n(n+1)}{12} \sum_{i=1}^{n} \left(T_i - \bar{T} \right)^2} \qquad (۶)$$

۲- منظور کردن رتبه هر یک از متغیرها $(rank(F_j))$ در آماره U، یعنی

$$U = \sum_{J=1}^{n} \left[rank(F_j) - \frac{n+1}{2} \right] T_j \qquad (۷)$$

۳- محاسبه آماره آزمون t_o که دارای توزیع تقریبی t با درجه آزادی n-2 است:

$$|t_o| = \frac{|U|}{SE(U)} \qquad (۸)$$

مقدار a در روش ناپارامتری به شکل زیر برآورد می شود:

$$a = median\ F_j - bT_J \qquad (۹)$$

تکنیک تحلیل طیفی

چرخه‌های (نوسانات) یک‌سری زمانی از داده‌ها را می‌توان به وسیله تکنیک تحلیل طیفی استخراج کرد و نشان داد که چرخه‌ها با چه دوره بازگشتی (ویا با چه احتمالی) بیشترین نقش را دارند. به‌طور کلی بـرای استخراج چرخه‌ها توسط تحلیل طیف مراحل زیر انجام می‌شود:

۱ – تبدیل سری زمانی به فرکانس: برای تبدیل سری زمانی به فرکانس و محاسبه هارمونیک‌ها بایستی دو پارامتر را حساب کنیم (چتفیلد، ۱۳۸۱):

$$a_i = \frac{2}{n}\sum_{t=1}^{n} X_t \cos(\frac{2\pi q}{n}t) \qquad q = 1,2,..., \frac{n}{2} \qquad (۱۰)$$

$$b_i = \frac{2}{n}\sum_{t=1}^{n} X_t \sin(\frac{2\pi q}{n}t) \qquad t = 1,2,..., n \qquad (۱۱)$$

در رابطه فوق q تعداد هارمونیک‌ها (همسازها) می‌باشد، با توجه به این که در یک سری زمانی یک فراز و یک فرود را یک تناوب گویند بنابراین در یک سری زمانی اگر طول دوره آماری (n) زوج باشد آنگاه تعداد همسازها نصف طول دوره آماری ($q = \frac{n}{2}$) خواهد بود. ولی اگر طول دوره آماری (n) فرد باشد (پژوهش حاضر) آنگاه تعداد همسازها از رابطه ($q = \frac{(n-1)}{2}$) به دست خواهد آمد.

۲ـ محاسبه پراش برای فرکانس‌ها

پراش هر یک از فرکانس‌ها (موج‌ها) با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I(f_i) = \frac{n}{2}(a_i^{\,2} + b_i^{\,2}) \qquad (۱۲)$$

در رابطه فوق وقتی (i=1) حساب می‌شود پراش موج اول که یک افت و خیز دارد (پراش ۱ فرکانس) حاصل می‌شود. به همین ترتیب پراش دو فرکانس، سه فرکانس و الی آخر تا q حساب می‌شود.

۳ـ ترسیم نمودار دوره نگار طیف: نمودار دوره نگار نموداری است که محور افقی آن بسامد (احتمال) وقوع دوره‌ها و محور عمودی آن مقادیر پراش هر یک از چرخه‌ها را نشان می‌دهد.

۴ـ آزمون معنی‌داری طیف: با استفاده از آزمون، می‌توان گفت که چرخه‌ها با چه دوره بازگشتی معنی‌دار هستند و یا چرخه‌ها با چه احتمال وقوعی دارای معنی می‌باشند. بدین منظور طیف یک‌سری تصادفی با مشخصات ($\overline{S}$) و (r_1) سری موجود با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\hat{I}(f) = \overline{S}\left[\frac{1-r_1^{\,2}}{1+r_1^{\,2}-2r_1\cos(\frac{\pi \times i}{q})}\right] \qquad i = 1,2,\ldots,q \qquad (۱۳)$$

در رابطه فوق ($\overline{S}$) میانگین طیف و (r_1) همبستگی مرتبه اول مشاهدات است، طیفی که حاصل می‌شود با مشخصات ($\overline{S}$) و (r_1)، نه دارای روند می‌باشد و نه سیکل، برای آزمون ابتدا یک فاصله اطمینان مشخص می‌شود. هر کدام از طیف (فرکانس‌ها) های سری زمانی خارج از فاصله اطمینان باشند آن چرخه‌ها معنی‌دار خواهند بود. بدین منظور از آزمون χ^2 استفاده می‌شود. درجه آزادی آزمون از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$df = \frac{2n - \frac{q}{2}}{q} \qquad (۱۴)$$

با این درجه آزادی و با استفاده از مقادیر جدول χ^2، با یک سطح اطمینان (عموماً ۹۵ درصد)، سطح معنی‌داری با استفاده از رابطه (زیر) محاسبه می‌شود.

$$sig\,\hat{I}(f) = \frac{\chi^2}{df} \times \hat{I}(f) \qquad (۱۵)$$

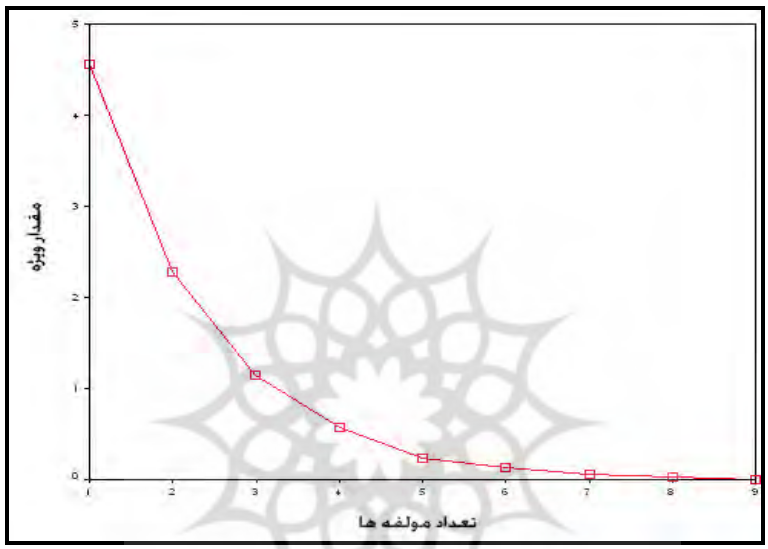
چرخه‌هایی که در آن‌ها مقدار پراش $I(f) \rangle \hat{I}(f)$ باشد معنی‌دار می‌باشند.

یافته‌ها و بحث

به منظور تحلیل مولفه‌های اصلی مشخصات بارش سالانه شهر زنجان، ابتدا یک تحلیل بدون چرخش بر ماتریس اعمال شد و مشخص گردید که چهار مولفه بیش از ۹۵ درصد پراش را تبیین می‌کنند و همچنین شاخص کایزر– مه یر – اولکین[1] برابر ۰/۶۵ به دست آمد که نشان می‌داد مولفه‌ها می‌توانند نماینده شایسته‌ای از متغیرها باشند. شاخص کایزر به مقدار (KMO=۰/۶۵۰) بیانگر کفایت نمونه‌برداری و مشخصه آزمون بارتلت[2] به مقدار ۶۵۳/۱۷۱، معنادار است که نشان می‌دهد ماتریس همبستگی داده‌ها در جامعه صفر نیست. بر این اساس آماره P برابر صفر حاصل شد. بنابراین فرض صفر (همبستگی متغیرهای مورد استفاده برابر صفر است) با صفر درصد خطا رد می‌شود. تعداد مولفه‌های اصلی که استخراج می‌شود با تعداد متغیرها برابر است. وقتی همه مولفه‌ها منظور شوند کل پراش متغیرها توجیه می‌شود. شکل ۲ نمودار اسکری یا شیب‌دار[3]، طرحی از پراش کل تبیین شده به وسیله هر مولفه را در ارتباط با سایر مولفه‌ها نشان می‌دهد. در این طرح معمولاً مولفه‌های بزرگ در بالا و سایر مولفه‌ها با شیبی تدریجی در کنار هم نشان داده می‌شوند. روشن است که هر چه مقدار ویژه بزرگ‌تر باشد، عامل مشترک معنادارتر است. بنابراین نمودار مزبور تشخیص مولفه‌های مشترک واجد شرایط برای نگهداری را تسهیل می‌کند. جدول ۲ ماتریس بارگویه‌های مولفه‌ها، مولفه‌های استخراج شده و مقادیر ویژه و پراش تبیین شده توسط هر

1- Kaiser – Meyer - Olkin
2- Bartlett's Test
3- Scree Plot

یک را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود چهار مولفه که هرکدام بیش از ۵ درصد از پراش کل را تبیین می‌کنند انتخاب شده‌اند و در مجموع بیش از ۹۵ درصد از کل تغییرات را توجیه می‌کنند.



شکل (۱) نمودار شیب‌دار مولفه‌های اصلی مشخصات بارش شهر زنجان (۲۰۰۹-۱۹۵۷)

جدول (۱) بارگویه مولفه‌های منتخب برای متغیرهای مورد استفاده، بدون اعمال چرخش

	مولفه اول	مولفه دوم	مولفه سوم	مولفه چهارم
مجموع بارش سالانه	۰/۸۹۹۸۷	-۰/۴۴۸۳۱	۰/۰۹۴۴۲	-۰/۱۰۴۰۳
بارش بیشینه	۰/۶۷۱۴	۰/۳۵۷۸۱	۰/۶۱۹۴۵	۰/۱۱۸۵۱
نسبت بارش بیشینه به کل بارش	-۰/۰۷۳	۰/۸۱۵۹۱	۰/۵۳۳۶۵	۰/۱۶۶۹۸
تعداد روزهای بارانی	۰/۳۹۳۷۶	-۰/۶۳۹۴۱	-۰/۰۲۷۲	۰/۶۵۶۲۱
انحراف معیار	۰/۹۶۹۱۶	-۰/۰۵۱۹۹	-۰/۰۰۷۷۲	-۰/۱۳۳۷۵
چولگی	۰/۵۸۶۸۲	۰/۶۶۶۵۳	-۰/۴۱۲۴۸	۰/۰۸۶۳۷
کشیدگی	۰/۵۲۲۳۲	۰/۶۱۸۶۱	-۰/۵۳۹۱۳	۰/۱۴۵۲۵
میانگین قدر مطلق انحراف از میانگین	۰/۹۲۴۷۹	-۰/۱۹۶۱۴	۰/۱۱۸۷۸	-۰/۱۹۳۰۴
میانگین قدر مطلق تغییرپذیری سالانه	۰/۹۰۳۵۶	-۰/۰۳۳۶۵	-۰/۰۲۴۵۴	-۰/۰۶۱۷۱

مقادیر ویژه	۴/۵۶۲	۲/۲۷۳	۱/۱۴۸	۰/۵۷۱
درصد پراش	۵۰/۶۸۴	۲۵/۲۵۳	۱۲/۷۵۷	۶/۳۴۳
درصد تجمعی پراش	۵۰/۶۸۴	۷۵/۹۳۷	۸۸/۶۹۵	۹۵/۰۳۸

مولفه اول با مقدار ویژه ۴/۵۶۲ بیش از ۵۰ درصد از کل تغییرات را به خود اختصاص داده است. به همین ترتیب مولفه دوم بیش از ۲۵ درصد، مولفه سوم بیش از ۱۲ درصد و در نهایت مولفه چهارم بیش از ۶ درصد از تغییرات را تبیین نموده است. از طرف دیگر بعضی از متغیرها از جمله تعداد روزهای بارانی، بارش بیشینه، چولگی و کشیدگی با چندین مولفه دارای بارگویه بالاتری هستند. رابطه بین این متغیرها و مولفه‌ها واضح و آشکار نیست و برای این متغیرها هیچ‌کدام از مولفه‌ها نماینده قوی و شایسته‌ای نیستند. در صورتی که پردازش باید به گونه‌ای باشد که متغیرها با یک مولفه بالاترین بارگویه معنی‌دار را داشته باشند. برای حصول چنین نتیجه‌ای معمولاً لازم است که مولفه‌ها چرخش داده شوند. در یاخته‌های جدول که با هاشور مشخص شده‌اند بارگویه متغیرها در دو یا چند مولفه مقدار بالاتری دارد.

بدین ترتیب برای رفع این مشکل یک تحلیل چرخش یافته متعامد از نوع واریماکس[1] بر روی ماتریس مشاهدات اعمال گردید. جدول ۳ ماتریس بارگویه‌های مولفه‌ها، مولفه‌های منتخب و مقادیر ویژه و پراش تبیین شده توسط هر مولفه چرخش یافته را نشان می‌دهد. چهار مولفه با مقادیر ویژه بالاتر از ۱ که هر کدام بیش از ۵ درصد از تغییرات را توجیه می‌کنند استخراج شده‌اند و در مجموع این چهار مولفه نیز بیش از ۹۵ درصد از تغییرات را توجیه نموده‌اند. در حالت چرخش یافته مولفه اول بیش از ۴۲ درصد، مولفه دوم بیش از ۲۳ درصد، مولفه سوم بیش از ۱۷ درصد و مولفه چهارم حدود ۱۲ درصد از تغییرات را بیان کرده‌اند. با چرخش متعامد واریماکس مولفه‌ها به بهترین وجه می‌توانند نماینده متغیرها باشند به نحوی که هر متغیر بالاترین بارگویه را در یکی از مولفه‌ها دارد. بالاترین بارگویه‌ها با هاشور مشخص شده‌اند. مولفه اول که بیش از ۴۲ درصد از پراش را تبیین کرده است نماینده مجموع بارش سالانه و تغییرات آن یعنی انحراف معیار بارش سالانه، میانگین قدر

1- Varimax

مطلق انـحراف از میانگین (AMD) و میانگین قدر مطلق تغییرپـذیری سالانه (MAIV) می‌باشد. مولفه دوم که بیش از ۲۳ درصد از تغییرات را توجیه می‌کند نماینده شاخص‌های شکل توزیع فراوانی بارش سالانه یعنی چولگی و کشیدگی می‌باشد. مولفه سوم که بیش از ۱۷ درصد از پراش را تبیین کرده نماینده بارش بیشینه و نسبت بارش بیشینه به کل بارش می‌باشد، و مولفه چهارم که حدود ۱۲ درصد از تغییرات را بیان می‌کند نماینده تعداد روزهای بارش شهر زنجان می‌باشد. بدین ترتیب می‌توان با انجام تحلیل مولفه‌های اصلی، به جای ۹ مشخصه آماری، با ۴ مولفه بیش از ۹۵ درصد تغییرات بارش سالانه شهر زنجان را تبیین نمود.

جدول (۲) بارگویه مولفه‌های منتخب برای متغیرهای مورد استفاده، با اعمال چرخش

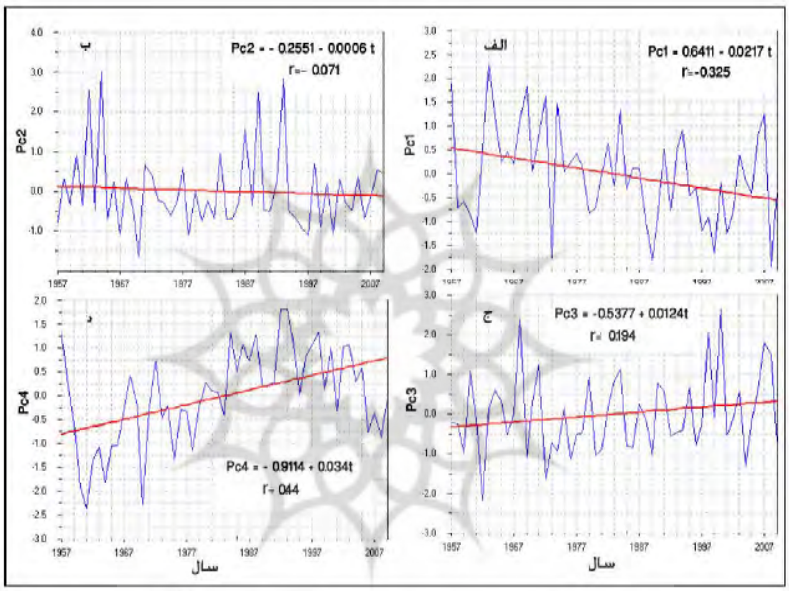
	مولفه اول	مولفه دوم	مولفه سوم	مولفه چهارم
مجموع بارش سالانه	۰/۹۲۲۸۴	-۰/۰۲۷۶۲	-۰/۱۰۳۳	۰/۲۸۲۷۱
بارش بیشینه	۰/۵۶۵۶۹	۰/۱۱۷۸۴	۰/۷۹۵۲۸	۰/۰۶۸۲۵
نسبت بارش بیشینه به کل بارش	-۰/۲۴۵۱۹	۰/۱۷۳۱۴	۰/۹۱۲۸۳	-۰/۲۴۵۶۶
تعداد روزهای بارانی	۰/۲۸۹۳۹	-۰/۰۹۰۶۵	-۰/۱۵۱۴۴	۰/۹۳۸۲۷
انحراف معیار	۰/۹۱۵۵۷	۰/۳۲۶۲۷	۰/۰۶۰۰۷	۰/۱۰۷۶۶
چولگی	۰/۲۴۱۰۳	۰/۹۲۹۹۶	۰/۱۸۷۶۸	-۰/۰۸۹۸
کشیدگی	۰/۱۵۴۵۴	۰/۹۶۸۱۴	۰/۰۷۳۰۳	-۰/۰۲۷۵
میانگین قدر مطلق انحراف از میانگین	۰/۹۵۶۸۳	۰/۱۲۵۲۷	۰/۰۴۷۱۵	۰/۱۰۷۹۲
میانگین قدر مطلق تغییرپذیری سالانه	۰/۸۲۵۱۴	۰/۳۳۷۶۸	۰/۰۶۹۷۷	۰/۱۴۹۰۳
مقادیر ویژه	۳/۳۸۲	۲/۰۹۱	۱/۵۵۱	۱/۰۸۰
درصد پراش	۴۲/۵۷۹	۲۳/۲۳۵	۱۷/۲۲۹	۱۱/۹۹۵
درصد تجمعی پراش	۴۲/۵۷۹	۶۵/۸۱۴	۸۳/۰۴۳	۹۵/۰۳۸

شکل ۲ نمودار تغییرات زمانی نمرات مولفه ها و خط روند برازش یافته را نشان می‌دهد. در این نمودارها محور افقی سال و محور عمودی نمرات مولفه‌ها می‌باشد که در واقع بدون بعد بوده و ارزش هر کدام از مشاهدات را در مولفه‌ها نشان می‌دهد. با عنایت به این که مولفه اول نماینده چهار مشخصه بارش یعنی مجموع بارش سالانه، انحراف معیار، AMD و

MAIV می‌باشد بنابراین این چهار متغیر بیشترین ارزش را در نمرات مولفه اول خواهند داشت و می‌توان به جای این مشخصات، سری زمانی نمرات مولفه اول را مورد تحلیل قرار داد. نمودار سری زمانی مولفه اول (شکل ۲ الف) روند کاهشی را نشان می‌دهد که این کاهش به ازای هر سال حدود ۰/۰۲ می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات با هم و همزمان چهار مشخصه فوق کاهشی است که نشان می‌دهد در کنار کاهش مجموع بارش سالانه، شاخص‌های مطلق تغییرپذیری آن یعنی انحراف معیار، AMD و MAIV نیز روند کاهشی داشته است. بدین ترتیب می‌توان استنباط نمود که روند کاهشی ماه به ماه تغییرپذیری نسبت به میانگین گویای این واقعیت است که توزیع بارش در ماه‌های سال از شباهت بیشتری برخوردار شده است. کاهش روند بارش سالانـه بیانگر این امر است که ماه‌های پرباران با کاهش بارندگی مواجه شده‌اند. لذا این واقعیت گویای نزدیک شدن مقدار بارش ماه‌های پرباران به ماه‌های کم باران است. از این رو کاهش تغییرپذیری زمانی بارش رخ داده است، این کاهش بر اساس ضریب همبستگی پیرسون ۳۲۵/ .- به دست آمده و در سطح ۵ درصد خطا معنی‌دار است. عـلاوه‌بر این الگوسازی روند نمرات مولفه اول نشان می‌دهد که این مولفه دارای روند معنی‌دار خطی می باشد. مقدار آماره t برای آزمون فراسنج β در الگوی خط برابر با ۲/۲- به دست آمد که از حضور معنی دار فراسنج β در الگوی خط حکایت دارد. شکل ۲ ب نمودار تغییرات زمانی نمرات مولفه دوم را نشان می‌دهد. مولفه دوم نماینده چولگی و کشیدگی بارش سالانه شهر زنجان می‌باشد. روند نمودار حاکی از کاهشی بودن نمرات است، رابطه این مولفه با زمان کاهشی و به اندازه ۰۷۱/- و فاقد معنی آماری می‌باشد. با برازش الگوی خط بر نمرات مولفه دوم، مقدار آماره t برابر با ۰/۱۹- به دست آمد، در نتیجه الگوی خط برای نمایش روند مناسب نمی‌باشد و به نظر می‌رسد نمرات مولفه دوم دارای روند ثابت می باشد. بنابراین می توان استنباط نمود که توزیع شکل بارش در امتداد زمان حفظ شده است. در واقع فراوانی ماه‌های کم‌بارش و پربارش هر سال علی رغم افت و خیزهای فـراوان از ثبات نسبی برخوردار بـوده است. با این وصف بـه راحتی می‌توان چهار فاز از این شکل استنباط نمود. فاز اول و سوم به ترتیب در طی ۱۹۶۴-۱۹۵۷ و ۱۹۹۴-۱۹۸۳ با مقادیر زیاد این مولفه و دو فاز دیگر ۱۹۸۲- ۱۹۶۵ و ۲۰۰۹- ۱۹۹۵ با

کاهش مقادیر مشخص می‌شوند. در فاز انتهایی مقدار این مولفه به کمینه مقدار رسیده است. این وضعیت گویای نزدیک شدن توزیع بارش به مقدار نرمال است، چنانکه در بالا گفته شد این امر به دلیل نزدیک شدن مقادیر بارش ماه‌های پرباران به مقدار بارش‌های کم باران می‌باشد. مولفه سوم نماینده بارش‌های بیشینه و نسبت بارش بیشینه به کل بارش سالانه می‌باشد. یعنی مشخصه‌های بارش بیشینه و نسبت بارش بیشینه به کل بارش سالانه بیشترین بارگویه‌ها را در نمرات مولفه سوم دارند بنابراین می‌توان به جای دو مشخصه فوق، نمرات مولفه آنها را مورد تحلیل قرار داد. همانطور که در شکل ۲ ج مشاهده می‌شود روند نمرات مثبت و افزایشی است. این افزایش ۰/۰۱۲۴ به ازای هر سال می‌باشد. با برازش الگوی خط بر روند نمرات مولفه سوم، مقدار t برای فراسنج β ۱/۱۲ حاصل گردید. در نتیجه نمرات مولفه سوم در سطح ۵ درصد خطا فاقد الگوی خطی افزایشی و دارای روند ثابت می‌باشند. در اینجا نیز سه فاز قابل مشاهده است. فاز اول طی دوره ۱۹۶۸-۱۹۵۷ که با نوسانات زیاد و روند افزایشی همراه است. فاز دوم طی دوره نسبتاً طولانی ۲۰۰۰-۱۹۶۹ را شامل می‌شود. در این دوره نیز آرام آرام روند افزایشی در رفـتار نمرات مولفه مشاهده می‌شود. در نهایت فاز سوم طی دوره ۲۰۰۹-۲۰۰۱ می‌باشد. در این فاز مجدداً رفتار کاهشی همراه با تغییرات زیاد به چشم می‌خورد. ضمن اینکه یک تأخیر حدوداً ۵ ساله در فازهای نمرات این مولفه با مولفه دوم مشاهده می‌شود. مولفه چهارم نماینده تعداد روزهای بارانی می‌باشد. روند نمودار سری افزایشی و به میزان ۰/۰۳۴ در سال می‌باشد. علاوه‌بر این نمرات مزبور نیز دارای تغییرات شدید در ابتدای دوره آماری است. شکل ۲ د نمودار سری زمانی نمرات مولفه چهارم را نشان می‌دهد. همچنین می‌توان رفتار دوره‌ای را در نمرات مولفه چهارم مشاهده نمود. با برازش الگوی خط بر روند نمرات مولفه چهارم مقدار آماره t برای آزمون معنی‌داری فراسنج β، ۳/۱۸ به دست آمد. بنابراین نمرات مولفه چهارم دارای روند افزایشی معنی‌دار حول یک خط می‌باشد. با افزودن متغیر توضیحی t^2 الگوی سهمی نیز بر نمرات مولفه چهارم برازش گردید. مقادیر آماره t برای آزمون معنی‌داری فراسنج‌های β_1 و β_2 به ترتیب ۳/۱۳ و ۲/۲۲- حاصل شـد که حاکی از مـعنی‌داری الگوی سهمی می‌باشد. به منظور انتخاب الگوی نهایی مناسب برای روند نمرات مولفه چهارم، مانده‌های دو الگو در

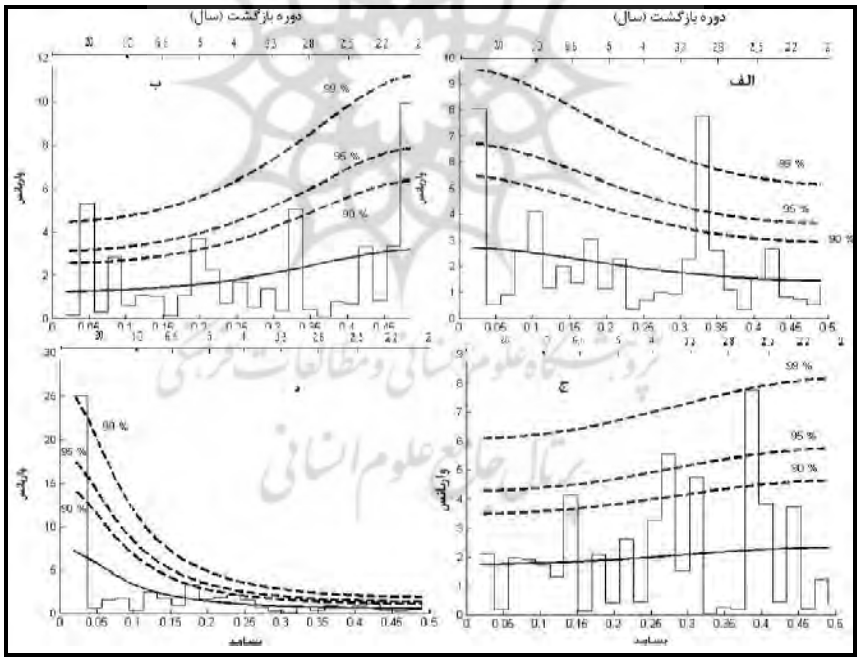
معرض آزمون‌های نرمال بودن، تصادفی بودن و استقلال قرار گرفت. نتایج آزمون نشان داد باقیمانده‌های الگوی خط نرمال، مستقل و تصادفی بوده در نتیجه الگوی خط برای نمایش روند نمرات مولفه چهارم مناسب می‌باشد، پس الگوی خط به عنوان الگوی نهایی انتخاب می‌شود.



شکل (۲) سری زمانی نمرات مولفه‌های بارش شهر زنجان (۲۰۰۹-۱۹۵۷)

برای آشکارسازی چرخه‌های مولفه از تحلیل طیفی بهره گرفته شد. شکل ۴ الف نمودار دوره نگار نمرات مولفه اول را نشان می‌دهد. همسازهای ۱ و ۱۷ در سطح ۹۰ و ۹۵ درصد اطمینان معنی‌دار هستند. بنابراین چرخه‌های ۵۳ ساله و ۳ ساله در این سری مشاهده می‌شود. در سطح ۹۹ درصد اطمینان فقط چرخه ۳ ساله معنی‌دار است. بنابراین به‌طور کلی می‌توان گفت که چرخه‌های ۳ ساله در نمرات مولفه اول وجود دارد و با توجه به این که همساز اول یعنی چرخه ۵۳ ساله برابر با طول دوره آماری می‌باشد پس معنی‌داری همساز اول را باید به روند داده‌ها نسبت داد. با توجه به اینکه همساز معنی دار اول بیشترین پراش

را دارد بنابراین روند دار بودن نمرات مولفه اول مورد انتظار است. شکل ۴ ب نمودار دوره نگار نمرات مولفه دوم را نشان می‌دهد. در سطح ۹۰ درصد اطمینان ۵ چرخه یعنی همسازهای ۲، ۴، ۱۰، ۱۷ و ۲۵ معنی‌دار هستند. فرکانس این همسازها به ترتیب ۰/۰۳۷۷، ۰/۰۷۵۵، ۰/۱۸۸۷، ۰/۳۲۰۸ و ۰/۴۷۱۷ و دوره بازگشت آنها نیز به ترتیب ۲۶/۵، ۱۳، ۵، ۳ و ۲ ساله می‌باشد. چرخه ۲ ساله بیشترین پراش را به خود اختصاص داده است. در سطح ۹۵ درصد اطمینان همسازهای ۲ و ۲۵ معنی‌دار می‌باشند. پس چرخه‌های ۲۶/۵ ساله و ۲ ساله در نمرات مولفه دوم بارش شهر زنجان رخ داده است. در نهایت در سطح ۹۹ درصد اطمینان فقط چرخه ۲۶/۵ ساله معنی‌دار هست. بنابراین مشاهده می‌شود که در نمرات مولفه دوم طیف متنوعی از چرخه‌ها از فرکانس پایین (رخداد در هر ۲۶/۵ سال) تا چرخه با فرکانس بالا (تکرار در هر ۲ سال) مشاهده می‌شود.



شکل (۳) نمودار دوره نگار نمرات مولفه اول (الف) دوم (ب) سوم (ج) و چهارم (د)

باوجود این که همسازهای اولیه (۲ و ۴) معنی‌دار هستند ولی با داشتن پراش کمتر می‌توان معنی‌دار نبودن روند نمرات مولفه دوم را استنباط نمود. با توجه به نمودار دوره نگار نمرات مولفه سوم (شکل ۴ج) در سطح ۹۰ درصد اطمینان همسازهای ۷، ۱۴، ۱۶ و ۲۰ معنی‌دار هستند. افت و خیزهای زیادی در پراش همسازها مشاهده می‌شود. چرخه‌های با فرکانس بالا پراش بیشتری نسبت به چرخه‌های کم فرکانس دارند. همساز ۷ با پراش حدود ۴ کمترین پراش و همساز ۲ با پراش نزدیک ۸ بیشترین پراش را دارد. همساز ۷ با فرکانس ۰/۱۳۲۱ چرخه‌ای با دوره بازگشت ۷/۵ ساله می‌باشد. همساز ۱۴ با فرکانس ۰/۲۶۴۲ دوره بازگشت ۴ ساله دارد، همساز ۱۶ دارای فرکانس ۰/۳۰۱۹ و دوره بازگشت ۳/۵ می‌باشد و در نهایت همساز ۲۰ با فرکانس ۰/۳۷۷۴ چرخه‌ایست که تکرارهای ۲/۵ ساله را به خود گرفته است. در سطح ۹۵ درصد اطمینان چرخه‌های با دوره بازگشت ۴ ساله و ۲/۵ ساله در نمرات مولفه سوم مشاهده می‌شود. پراش کم همسازهای ابتدایی دوره نگار نیز حاکی از فقدان روند در نمرات مولفه سوم می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود در سطح ۹۹ درصد اطمینان هیچ چرخه معنی‌داری به چشم نمی‌خورد. شکل نمودار حاکی از متفاوت بودن وضعیت و روند نمرات مولفه چهارم با نمرات مولفه‌های دیگر و سایر مشخصات آماری بارش زنجان می‌باشد. از مشاهده شکل ۴ د می‌توان استنباط نمودکه سری زمانی نمرات مولفه چهارم به شدت ناایستاست، چرا که میزان طیف از یک طول موج بزرگ‌تر به صورت توانی کاسته شده و شکل کشیده به خود گرفته است. در سطح ۹۰ درصد اطمینان همسازهای ۱ و ۲۶ معنی‌دار هستند. همساز ۱ با فرکانس ۰/۰۱۸۹ و دوره بازگشت حدود ۵۳ سال بیش از ۴۸ درصد از پراش کل طیف‌ها را به خود اختصاص داده است و دامنه خیلی زیادی در مقایسه با سایر همسازها دارد. از همساز دوم، پراش و دامنه طیف‌ها به شدت افت پیدا کرده‌اند. با توجه به این که دوره بازگشت همساز اول برابر با طول دوره آماری می‌باشد بنابراین این همساز (چرخه) را می‌توان به وجود روند قوی و یا جهش‌های زیاد در سری زمانی نمرات مولفه چهارم نسبت داد. ضمن این که در سطوح ۹۰ و ۹۵ درصد اطمینان فقط همساز اول معنی‌دار است و چرخه معنی‌دار دیگری در نمرات مولفه چهارم مشاهده نمی‌شود.

نتیجه‌گیری

انجام یک تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی ماتریس همبستگی داده‌های بارش سالانه شهر زنجان و برخی مشخصات آماری آن با آرایش P، روشن ساخت که ۴ مولفه اصلی بیش از ۹۵ درصد از پراش داده‌ها را تبیین می‌کنند. با چرخش متعامد واریماکس محور مولفه‌ها، پردازش به خوبی صورت پذیرفت به‌طوری که از ۹ مشخصه بارش سالانه شهر زنجان، هر مشخصه بیشترین بارگویه را روی یک مولفه دارا بود. مولفه اول که به تنهایی بیش از ۴۲ درصد از پراش داده‌ها را توضیح می‌دهد نماینده مجموع بارش سالانه و شاخص‌های تغییرپذیری آن یعنی انحراف معیار، AMD و MAIV می‌باشد. تحلیل و مدل‌سازی روند نمرات مولفه اول نشان داد که این مولفه روند معنی‌دار کاهشی حول یک خط دارد. این بدان معناست که تغییرات همزمان و باهم چهار مشخصه معنی‌دار می‌باشد. بنابراین در کنار کاهش بارش در طول دوره آماری مورد مطالعه، توزیع زمانی آن نیز یکنواخت‌تر شده و بارش در ماه‌های بیشتری از سال باریده است. یکنواخت شدن توزیع زمانی بارش در شهر زنجان را از روند افزایشی معنی‌دار نمرات مولفه چهارم نیز می‌توان استنباط کرد. مولفه چهارم به تنهایی نماینده تعداد روزهای بارانی می‌باشد. از طرف دیگر نمرات مولفه چهارم روند افزایشی معنی‌دار حول یک خط دارد. در نتیجه می‌توان گفت که بارش زنجان در طول دوره آماری مورد مطالعه دو رفتار مجزای معنی‌دار کاهش بارش و توزیع یکنواخت تر را تجربه کرده است. ضمن اینکه بارش‌های بیشینه و شاخص‌های شکل توزیع فراوانی یعنی چولگی و کشیدگی فاقد هرگونه روند معنی‌دار می‌باشند. بنابراین با استفاده از تکنیک تحلیل مولفه‌های اصلی می‌توان از فزونی متغیرهای همبسته کاست و با تبدیل آنها به چند مولفه محدود، به جای متغیرها، مولفه‌های منتخب را مورد تحلیل و بررسی قرار داد. همچنین می‌توان به جای خود متغیرها، از نمرات مولفه‌های منتخب برای پهنه‌بندی نیز استفاده نمود که این مقوله از حوصله این نوشته خارج است. برای تحلیل و آشکارسازی چرخه‌های مولفه‌ها از تکنیک تحلیل طیفی بهره گرفته شد. بر اساس این تکنیک روندهای معنی‌دار در مولفه‌های اول و چهارم و افت و خیزهای متعدد در مولفه‌های دوم و سوم به اثبات رسید. در مجموع می‌توان گفت که بارش شهر زنجان در طول دوره آماری مورد مطالعه در کنار روند

کاهشی، هم رفتار باثبات و هم توزیع یکنواخت‌تر به خود گرفته است. بنابراین کاهش مجموع بارش سالانه تا حدودی با توزیع یکنواخت بارش از طریق بیشتر شدن ماه‌های بارشی و افزایش روزهای بارش جبران شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

۱- بازرگان لار، عبدالرضا (۱۳۸۵)، «***رگرسیون خطی کاربردی***»، دانشگاه شیراز.

۲- چتفیلد، سی (۱۳۸۱)، «***مقدمه‌ای بر تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی***»، ترجمه حسنعلی نیرومند و ابوالقاسم بزرگ‌نیا، انتشارات فردوسی مشهد.

۳- رضیئی، طیب و قاسم عزیزی (۱۳۸۶)، «منطقه‌بندی رژیم بارش غـرب ایران با استفاده از روش‌های تحلیل مولفه‌های اصلی و خوشه‌بندی»، ***تحقیقات منابع آب ایران***، شماره ۲.

۴- سلیقه، محمد؛ بریمانی، فرامرز و مرتضی اسماعیل‌نژاد (۱۳۸۷). «پهنه‌بندی اقلیمی استان سیستان و بلوچستان»، ***مجله جغرافیا و توسعه***، شماره ۱۲

۵- عساکره، حسین (۱۳۸۷)، «کاربرد رگرسیون خطی در تحلیل روند دمای سالانه تبریز»، ***تحقیقات جغرافیایی***، شماره ۸۷ .

۶- علیجانی، بهلول (۱۳۸۵)، «***اقلیم‌شناسی سینوپتیک***»، انتشارات سمت.

۷- غیور، حسنعلی و مجید منتظری (۱۳۸۳)، «پهنه‌بندی رژیم‌های دمایی ایران با مولفه‌های مبنا و تحلیل خوشه‌ای»، ***مجله جغرافیا و توسعه***، شماره ۴.

۸- فرشادفر، عزتا... (۱۳۸۴)، «**اصول و روش‌های آماری چندمتغیره**» ،دانشگاه رازی کرمانشاه.

۹- مسعودیان، سیدابوالفضل (۱۳۸۲)، «نواحی اقلیمی ایران»، ***مجله جغرافیا و توسعه***، شماره ۲.

۱۰- مسعـودیان، سـیدابوالفضل (۱۳۸۶)، «شناسایی رژیم‌های بارش ایـران بـه روش تحلیل خوشه‌ای»، ***پژوهش‌های جغرافیایی***، شماره ۵۲

۱۱- مسعودیان، سیدابوالفضل و هوشمند عطایی (۱۳۸۴) ، «شناسایی فصول بارشی ایران به روش تحلیل خوشه‌ای»، ***مجله علوم انسانی دانشگاه اصفهان***، جلد هجدهم، شماره ۱.

۱۲- مسعودیان، سیدابوالفضل و محمدرضا کاویانی (۱۳۸۷)، «**اقلیم‌شناسی ایران**»، دانشگاه اصفهان.

۱۳- ناظم‌السادات، سیدمحمدجعفر؛ بیگی، بهزاد و سیف‌الله امین (۱۳۸۲)، «پهنه‌بندی بارندگی زمستانه استان‌های بوشهر، فارس و کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی»، ***علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی***، شماره ۱

14- Alexanderson, H.A., (1986), "A Homogeneity Test Applied to Precipitation Data", ***J. Climatol***., 6, 661-675.

15 - Alexandersson H, Moberg A. (1997), "Homogenization of Swedish Temperature Data, Part 1: Homogeneity Test for Linear Trends", ***International Journal of Climatology***, 17, 25-34

16- Balafoutis C, (1991), "Principal Component Analysis of Albanian Rainfall", ***Journal of Meteorology***, 16, 90-96.

17- Hernandez A.R.P, Balling R.C, Martinez L.R.B, (2009), "Comparative Analysis of Indices of Extreme Rainfall Events: Variations and Trends from Southern Mexico", ***Atmosfera*** 22(2), 219-228.

18- Rouco, J.F.G, Jimenez J.L, Quesada V., Valero F. (2000), "Quality Control and Homogeneity of Precipitation Data in the Southwest of Europe, ***Journal of Climate***.

19- Sneyers, R., Vandiepenbeeck, M. and Vanlierde, R. (1989), "Principal Component Analysis of Belgian Rainfall", ***Theoretical and Applied Climatology***, 39, 199-204.

20- Stathis, D., Myronidis, D. (2009), "Principal component analysis of Precipitation in Thessaly Region (Central Greece)", ***Global NEST Journal***, 4, 467-476.

21- Steiner, D. (1965), "A Multivariate Statistical Approach to Climatic Regionalization and Classification", Nederlansch Gerootschap Reeks, LxxxII: 4 , 329-347.

22- Weisberg, S. (2005), "***Applied Linear Regression***", Wiley Interscience, John Wiley & Sons, Inc., Publication, New Jersey.

23- Whetton P.H. (1988), "A Synoptic Climatological Analysis of Rainfall Variability in Southeastern Australia", ***J. of Climatology***, 8, 155-177.

24- Wilmot, C.J. (1978), "P-mode Principal Component Analysis Grouping and Precipitation Regions in California", ***Bioclimatology***, Springer Verlog, Vol. 26, No 4.