

رفتارشناسی مکانی-زمانی بارش در محدوده استان قزوین با استفاده از روش توابع متعامد معمولی و فازی

محسن ناصری^۱، فرحناز تقوی^{۲*} و بنفشه زهرایی^۳

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی عمران، دانشکده عمران، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، ایران

^۲ استادیار، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

^۳ دانشیار، دانشکده عمران، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۸۸/۱۲/۱۸، پذیرش نهایی: ۸۹/۱۱/۱۹)

چکیده

رفتارشناسی مکانی-زمانی بارش در حوضه آبریز قزوین به دلیل اهمیت اقتصادی-صنعتی و توسعه‌ای آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شناسایی رفتار و الگوی اقلیمی در این منطقه می‌تواند تأثیر به‌سزایی در توسعه آبی و تخصیص منابع آب موجود در منطقه نیز داشته باشد. با توجه به این اهمیت و تغییرات اقلیمی در طول ۳۰ سال گذشته، با استفاده از اطلاعات سالانه بارش به این رفتارشناسی پرداخته شده است. در این مقاله با استفاده از روش توابع متعامد تجربی به دو شکل متعارف و فازی آن به این تحلیل اقدام و سعی در به‌کارگیری تأثیر بارش سالانه در کل منطقه مورد بررسی با استفاده از دو شاخص بارش میانگین سالانه و مقدار استاندارد شده بارش (SPI, Standardized Precipitation Index) شده است. در این روش مقادیر میانگین بارش و SPI بارش سالانه کل حوضه به بازه [0,1] تحویل یافته و شاخصی کیفی به‌صورت فازی به منظور وزن‌دهی در تشخیص الگوی وزن‌دار بارش تعریف شده است. سپس رده‌های متفاوت این الگوی بارش و رفتار زمانی-مکانی بارش، مورد تحلیل قرار گرفته است. در انتها با توجه به سطح تفکیک‌پذیری به مقایسه دو روش پرداخته و ارزیابی نتایج حاصل آورده شده است. نتایج گویای هم‌راستایی تغییرات بلندمدت و کوتاه‌مدت و همچنین تطبیق مناسب نتایج رفتارسنجی خطی و غیرخطی در محدوده مورد بررسی است.

واژه‌های کلیدی: الگوی زمانی-مکانی بارش، توابع متعامد اصلی، SPI، فازی

Investigation of spatiotemporal behavior of annual precipitation based on EOF and fuzzy EOF: Ghazvin Province area

Nasseri, M.¹, Taghavi, F.² and Zahraie, B.³

¹ Ph. D. Student of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Tehran, Iran

² Assistant Professor, Space Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

³ Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Tehran, Iran

(Received: 9 March 2010, Accepted: 8 Feb 2011)

Abstract

Introduction: The pattern of annual precipitation in developing areas and the related industries is known as one of the most important infrastructure in such studies. This investigation is based on statistical analysis of the frequency of the total annual amount of precipitation using Empirical Orthogonal Function (EOF). The long time statistical studies support the effectiveness of the implemented statistical EOF in the area. Fuzzy logic is a new fold of logical reasoning that is estimated rather than a fixed and exact

form. It has been developed to implement the concept of partial truth, where the truth value may vary between completely true and false. In this study, two concepts for fuzzification are implemented, the first one is based on Standardized Precipitation Index (SPI) and the other is founded on long term annual precipitation. These two concepts have been compared for analyzing the stability of extracted patterns of EOF on the area of interest.

Materials and Methods: Investigation of the spatiotemporal pattern of annual rainfall in the Ghazvin province, as one of the most important developing area, is an important issue. This pattern may highly affect the future program for this region in the North West of Iran. This investigation is based on about thirty years of annual precipitation fifty rain gauge stations over the area of interest. The precipitation data from the Islamic Republic of Iran Ministry of Energy have been used. The first regionalization was implemented by means of the EOF method. The first extracted component described more than 80% of the total information on the annual precipitation over the area, and its spatio-temporal pattern was classified as one the most stable structures as well. In this paper based on Empirical Orthogonal Function (EOF) and its fuzzy form (FEOF), spatial and temporal behavior and stability of regional precipitation are investigated. Normal EOF is categorized as the linear decomposition method, but these new fuzzy weighted methods are classified as a class of nonlinear structures as well. EOF, FEOF and SPI was performed using "MATLAB" software. Finally, based on the linear and nonlinear spatio-temporal pattern recognition, the original space-time precipitation structure of the studied area has been evaluated.

Results and Discussion: After extracting the most important space-time pattern of precipitation based on EOF and FEOF, the stability of the linear form was evaluated. These three approaches, EOF, FEOF based on SPI weight and mean annual precipitation, represent the whole information via their first component and their projected first spatial patterns depict is high compatibility as is possible because of the structure of long term rainfall over the studied area. These spatial compatibilities are presented in Fig. 5, Fig. 6, Fig. 9 and Fig. 11. The temporal variabilities of the first component are also showed in Fig. 12 to Fig. 14.

Conclusion: These resulted patterns are investigated for considering the anomalous structure of rainfall. These resulted anomaly models are very similar and take a unique variation form and, this similarity may be explained as stable precipitation structure over the area of interest. The most important point in the space-time projections is the well-matched structure of the area DEM and first spatial component. This shows the impact of elevation on the configuration of space-time precipitation in this mountainous area. On the other hand, two spatial fronts of highlighted and intensive precipitation recognized in the projected first components may be taken as signs of two important rain cloud paths over internal of Iran as well. On the projected second spatial terms, both of linear and nonlinear methods, some local areas with high or low intensive precipitation can be concluded. But their spatial compatibilities are less than the first spatial components. Based on this comparison, the linearity of the space-time structure of precipitation over the Ghazvin province could be inferred.

Key words: Spatiotemporal patterns of precipitation, Empirical Orthogonal Function (EOF), Standardized Precipitation Index (SPI), Fuzzy Empirical Orthogonal Function (FEOF)

۱ مقدمه

گوشه‌های گوناگونی از علوم، وابستگی ساختاری به کاوش در اطلاعات و استنتاج صریح و صحیح از آن دارد. عمدتاً این دسته از علوم از جمله هوا و اقلیم‌شناسی به اطلاعاتی از جنس‌های متفاوت با ابعاد گوناگون سروکار دارند. اقلیم پدیده‌ای بلند مدت است که بصورت تجمعی و ناشی از رفتار و خصوصیات هواشناسی یک منطقه است. این رفتار بلندمدت، ناشی از اندرکنش پدیده‌های متفاوت و پیچیده جوئی، و یا گاهی فراجوئی است که به دلیل این پیچیدگی و عوامل موثر بسیار بر آن، در دامنه پدیده‌های تصادفی طبقه‌بندی می‌شود. این مولفه‌های متعدد، دلیل تلاش بسیاری از دانشمندان در یافتن راهکارها و روش‌های متعددی در زمینه هواشناسی و اقلیم، به منظور کاهش ابعاد پیچیده مسئله و یافتن پارامترهای اصلی و در نهایت الگوی حاکم بر ساختار هواشناختی نواحی در چند دهه اخیر بوده است (حناچی، ۲۰۰۹؛ حناچی و همکاران، ۲۰۰۹). در روش‌های مذکور همه سال‌های آماری از درجه اهمیت یکسانی برخوردار بوده‌اند و تمایزی در اولویت‌بخشی و یا پررنگ ساختن برخی از سال‌های آماری نسبت به دیگر سال‌های موجود در کار نیست. اما در واقع، تأثیر برخی از سال‌ها در روند اقلیمی به حدی است که می‌باید آنها را در حکم نقطه عطفی در تحلیل در نظر گرفت، این تأثیر ممکن است مثبت و منفی باشد و یا در فرآیند بررسی اقلیمی اثری افزایش‌دهنده و یا کاهش‌دهنده (نسبت به تأثیر نرمال در هر واقعه) داشته باشد. برای این منظور و در این گزارش، منطقه‌ای از استان‌های شمالی کشور که بین مناطق کوهستانی و دشت‌ها واقع است با ۵۰ ایستگاه هواشناسی در داخل و اطراف آن مورد بررسی واقع شده است. در این مقاله روشی به منظور تأثیر متقابل اطلاعات بر مبنای الحاقیه فازی به روش استاندارد توابع متعامد عرضه شده که نتایج

آن با روش استاندارد توابع متعامد به منظور کشف ساختار الگوی بارش در استان قزوین مورد مقایسه قرار گرفته است. در ادامه به توضیح روش پیش‌گفته پرداخته می‌شود.

۲ مواد و روش‌ها

اولین تلاش به منظور بررسی الگوی رفتاری بارش به صورت مستقیم و با روش‌های مورد بحث در این تحقیق، در دهه ۶۰ و با گزارش تحقیقاتی لورنز آغاز شد (لورنز، ۱۹۵۶ و ۱۹۷۰). وی در این مقاله با به‌کارگیری خواص ریاضی ماتریس کوواریانس اطلاعات به بررسی الگو و نحوه رفتار تاریخی بارش در منطقه مورد بررسی‌اش پرداخت (حناچی و همکاران، ۲۰۰۹ و کیراماگامگ، ۲۰۰۹). وی این روش که در دانش آمار با عنوان آنالیز فاکتورهای اصلی (PCA, Principal Component Analysis) شناخته می‌شود، در هواشناسی با عنوان توابع تجربی متعامد (EOF, Empirical Orthogonal Function) معرفی کرد. از آن پس روایت‌ها و اصلاحات متعددی از این روش مورد استفاده محققان هواشناسی آماری واقع شد که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود (ریچمن، ۱۹۸۶). در ابتدا، در روش به‌کار رفته، ساختار خطی حاکم بر PCA و یا به عبارت دیگر EOF مبنای اصلی شناخت بود.

پس از مدتی به منظور تصریح و تفکیک بیشتر فاکتورهای متناظر با زمان و یا مکان و در یک فضای متعامد، از برخی از تبدیل‌های ریاضی بهره گرفته شد. از این میان می‌توان به چرخش (Rotation) فاکتورهای اصلی در راستای بیشترین عدم تطابق و یا تجانس آماری اشاره کرد.

ماتریس کلی اطلاعات به صورت زیر داده می شود،

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{1i} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{2i} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{t1} & x_{ti} & \dots & x_{tn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

چنانچه اطلاعات فوق در هر ایستگاه بر مبنای میانگین بلندمدت نرمال شود، ماتریس جدید \bar{X} به دست خواهد آمد. به منظور به دست آوردن توابع متعامد، ماتریس S به صورت زیر ایجاد می شود،

$$S = \frac{1}{t} \bar{X}^T \bar{X} \quad (2)$$

و سپس چنانچه از ماتریس S بردار ویژه به دست آید، توابع متعامد حاصل شده است. در حالت فازی ماتریس وزنی به صورت μ در ساختار فوق ظاهر می شود که در معادله فوق به صورت $S = \frac{1}{t} \bar{X}^T \mu \bar{X}$ نمایش داده شده است. در جدول (۱) روابط فازی مورد استفاده بر مبنای روابط اصلی آورده شده است.

ریچمن (۱۹۸۶) و حناچی (۲۰۰۹) در مقالات خود به برخی از عمده ترین این روش ها اشاره داشته اند (ریچمن، ۱۹۸۶؛ حناچی، ۲۰۰۹ و ۲۰۰۴).

در برخی از روش های فوق فقط بر همبستگی در زمان و یا مکان و یا هر دو آنها تأکید شده است. برخی از محققان با توجه به پتانسیل موجود در این روش ها، به برآوردهای زمانی-مکانی پرداخته اند (کیم و نورث، ۱۹۹۸ و ۱۹۹۸؛ نورث و وو، ۲۰۰۱). توانایی این روش ها در تشخیص الگو و نحوه ارتباط ساختاری اقلیم و هواشناسی با پدیده های متفاوت جوئی نیز همچنان از جذابیت علمی درخوری برخوردار است (کمپاگنچی و ریچمن، ۲۰۰۸).

مبنای روش توابع متعامد تجربی و آنالیز فاکتورهای اصلی به صورت مناسب و توسط پریزنورفر (۱۹۸۸) و جلیف (۲۰۰۲) آورده شده است. به منظور درک ساختار ریاضی حاکم بر فرآیند استخراج توابع متعامد معمول و فازی، در ادامه به عرضه کلیات روش پرداخته می شود. بدین منظور چنانچه اطلاعات در n ایستگاه و در طول t سال مورد بررسی واقع شود،

جدول ۱. برخی از روابط آماری براساس اطلاعات فازی و غیر فازی.

پارامتر	فازی	غیر فازی
میانگین	$\frac{\sum_{i=1}^n x_i \mu_i}{N}$	$\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N}$
واریانس و کوواریانس	$\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)(x_j - \bar{x}_j) \mu_{ij}}{N}$	$\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)(x_j - \bar{x}_j)}{N}$

مربع بوده که بیشترین آن به آبرفت قزوین - تاکستان-بویین با وسعت ۵۷۳۷ کیلومتر مربع اختصاص دارد و بقیه مناطق کوهستانی و دارای ارتفاعات بلند است که دامنه غربی سلسله جبال البرز را تشکیل می‌دهد. در شکل ۲ حدود ارتفاعی مناطق در استان قزوین آورده شده است. به منظور کشف ساختار بارش سالانه این استان از اطلاعات ۳۰ ساله ۵۰ ایستگاه ثبت بارش که نحوه قرارگیری آن در شکل ۱ آورده شده، استفاده شده است. این اطلاعات به صورت سالانه از ۱۳۵۷ تا ۱۳۸۶ در ایستگاه‌های موردنظر دارای گستردگی زمانی است. در قسمت بعد نحوه استخراج ساختار زمانی و مکانی موردنظر در منطقه و مقایسه نتایج آورده شده است.

۴ مدل سازی الگوی بارش در منطقه مورد بررسی

در ابتدا با استفاده از EOF به بررسی ساختار کلی مدل در حالت خطی پرداخته شده است. با استفاده از این آزمون خطی، دو دسته بردار به دست می‌آید. بردارهای اول که متناظر با تعداد ایستگاه‌های مورد استفاده‌اند، مبین وضعیت ساختار مکانی اطلاعات بارش در ایستگاه‌ها هستند، و در دسته دوم متناظر با شمارشگر فاکتور اصلی، بردار تغییرات زمانی در دامنه مورد بررسی و یا به عبارتی فاکتور زمانی اصلی متناظر با هر فاکتور اصلی مکانی به دست می‌آید. از درجه آزادی‌های موجود، یکی به کارگیری EOF تعداد فاکتورهای اصلی معناداری است که می‌توان از آن استفاده کرد. برای این منظور مطابق با پیشنهاد پریزندورفر (۱۹۸۸) و جلیف (۲۰۰۱) تعداد فاکتوری که منطبق با شکست نمودار واریانس متناظر با هر فاکتور باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد (پریزندرف، ۱۹۸۸؛ جلیف ۲۰۰۲). در شکل ۳، نحوه تغییرات حجم اطلاعات در فاکتورهای اصلی نشان داده شده است. آن گونه که پیدا است، فاکتور اول تقریباً همه حجم اطلاعاتی مجموعه را

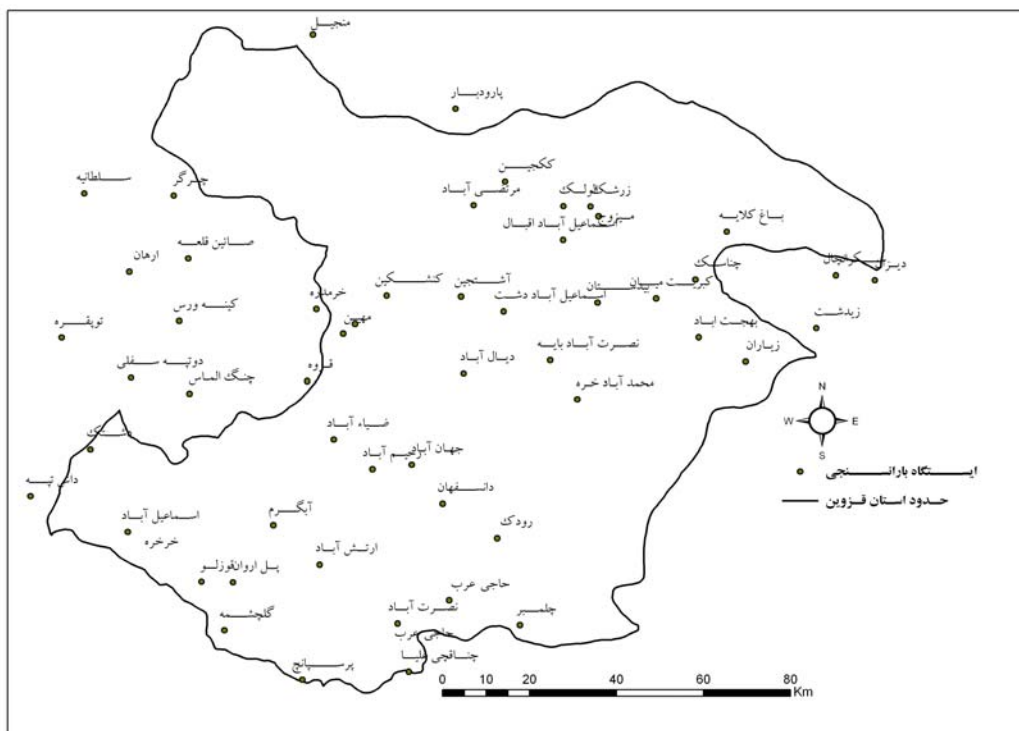
در رابطه فوق N ، معرف تعداد نمونه‌های مورد بررسی است. با توجه به روابط بالا، کافی است که هنگام محاسبه ماتریس کوواریانس در روابط EOF، ماتریس کوواریانس محاسبه شود (رابطه ۲) که براساس کیفیت و شاخص‌های عضویت فازی تهیه شده باشد. این روش با برخی از تلاش‌های صورت پذیرفته در زمینه Fuzzy Principal Component دارای تفاوتی اساسی است و آن استفاده از یک دسته در خوشه‌های بکار گرفته شده می‌باشد (لوکا، ۲۰۰۹؛ ساریو و پاپ، ۲۰۰۵؛ پاپ و همکاران، ۲۰۰۹). شاخص عضویت تعریف شده برای هر سطر و یا زمان از مسئله دارای یک شاخص عضویت فازی است که با μ_i نمایش داده می‌شود. این روش امکان ساده‌سازی شده‌ای است مبنی بر پرهیز از اجرای یک فرآیند بهینه‌یاب به‌رغم روش‌های موجود برای تعیین وزن‌های گوناگون در هر دسته از اطلاعات است. در ادامه با استفاده از اطلاعات بارش در منطقه قزوین به بررسی توانایی این روش در تشخیص الگوی بارش پرداخته می‌شود.

۳ منطقه مورد بررسی

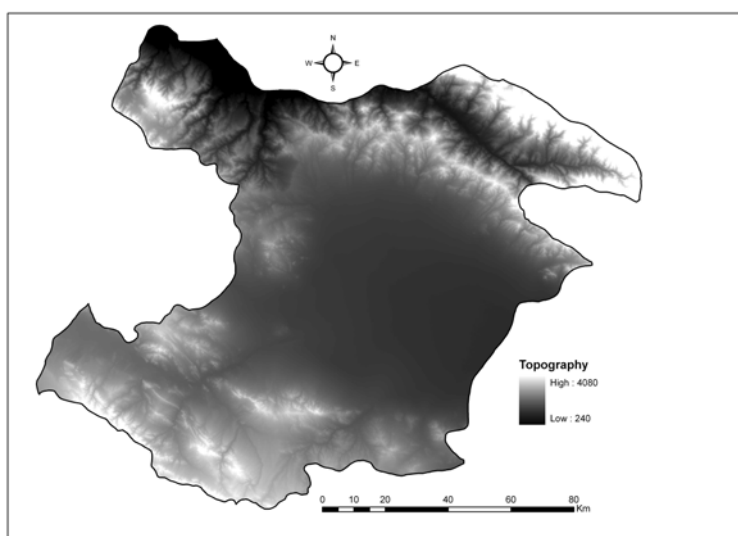
استان قزوین با مساحتی بالغ بر ۱۵۴۴۰ کیلومتر مربع در موقعیت جغرافیایی ۴۵' و ۴۸' تا ۵۰' و ۵۰" طول شرقی و ۲۴' و ۳۵" تا ۴۹' و ۳۶" عرض شمالی در بخش شمال غربی کشور قرار گرفته است. این استان از شمال با استان گیلان، از شمال شرقی با استان مازندران، از شرق با استان تهران، از جنوب با استان‌های مرکزی و همدان و از غرب با استان زنجان همجوار است. در شکل ۱، موقعیت قرارگیری این استان در میان سایر استان‌های ایران نشان داده شده است. این استان براساس تقسیم‌بندی سیاسی سال ۱۳۷۵ مرکز آمار ایران شامل سه شهرستان: قزوین (مرکز استان) تاکستان و بوئین‌زهرا است. وسعت دشت‌های آبرفتی در استان قزوین بالغ بر ۶۴۶۸ کیلومتر

این فاکتورها در کنار مقادیر میانگین بلندمدتی که از اطلاعات به دست آمده، نشان داده شده است. مقادیر مزبور، میانگین بارش ایستگاه‌های مورد بررسی در طول سال‌های آماری موجود و میانگین بلندمدت (۳۰ ساله) هر ایستگاه است.

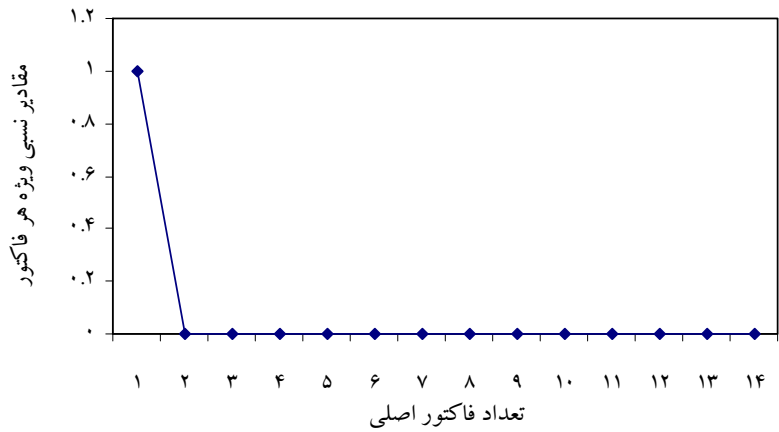
حامل می‌کند. شکل ۴، فاکتورهای زمانی متناظر با فاکتور اول و دوم در طول ۳۰ سال آمار موجود در ایستگاه‌های منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد. به منظور بررسی ارتباط فاکتورهای اصلی زمانی و مکانی موجود در منطقه، در شکل‌های ۵ و ۶،



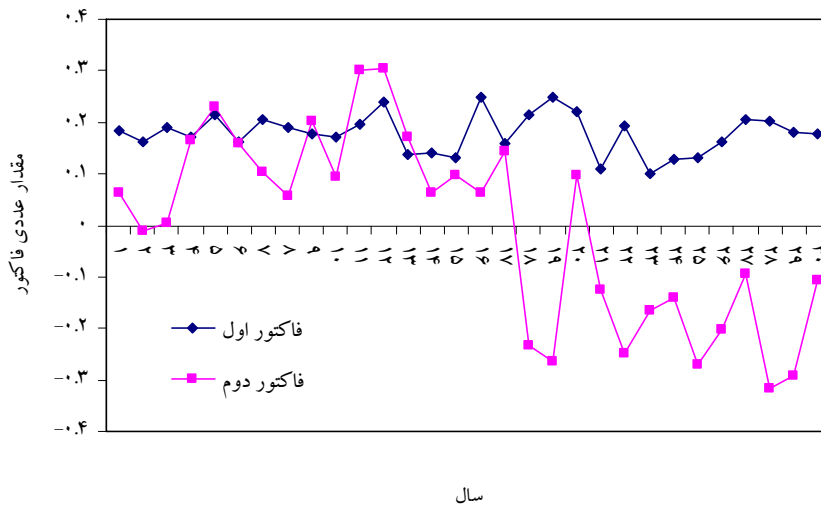
شکل ۱. موقعیت قرارگیری استان قزوین در ایران و ایستگاه‌های مور استفاده در استان قزوین.



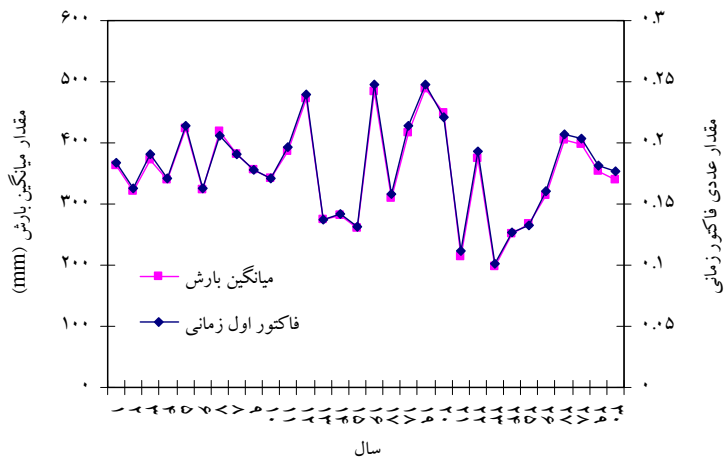
شکل ۲. وضعیت توپوگرافی حاکم بر استان قزوین.



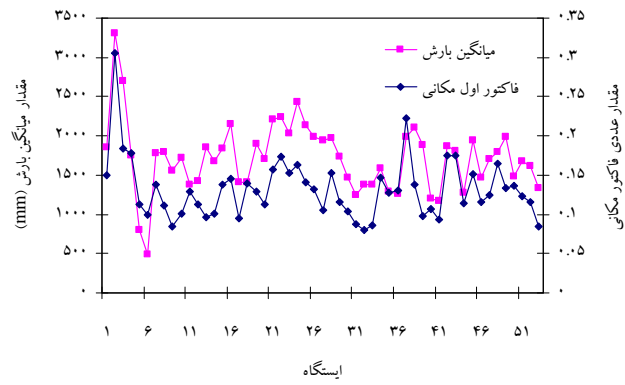
شکل ۳. تغییرات واریانس براساس تعداد فاکتورهای اصلی EOF.



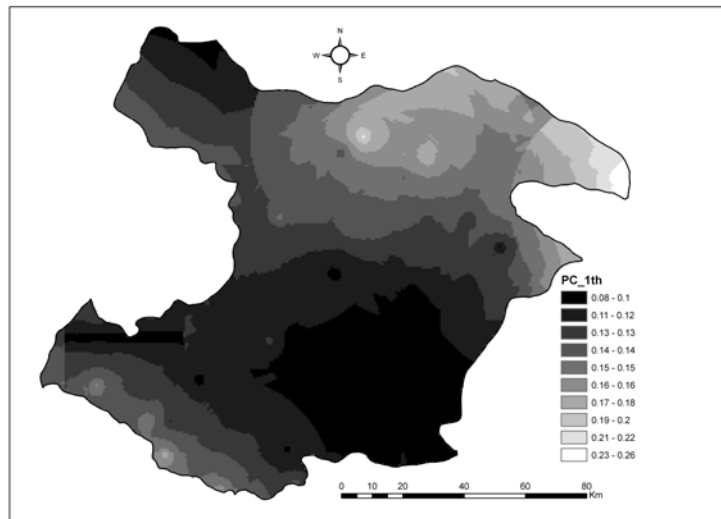
شکل ۴. تغییرات فاکتور زمانی اول و دوم EOF در طول سال‌های دارای آمار.



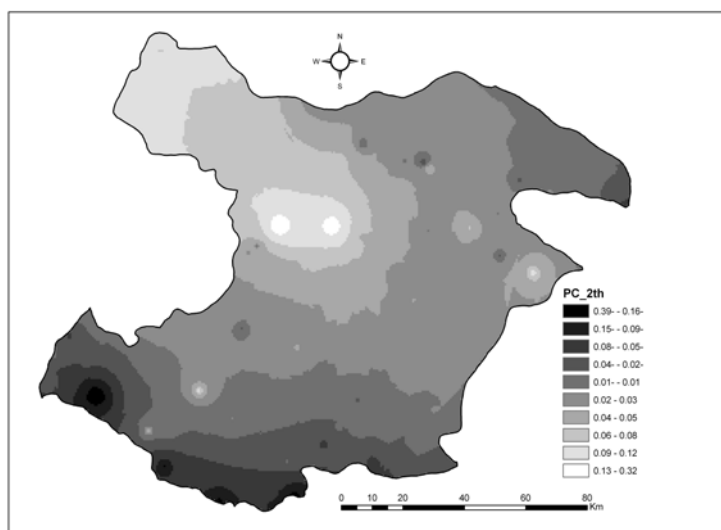
شکل ۵. تغییرات فاکتور زمانی اول EOF و میانگین سالانه ایستگاه‌های موجود در منطقه طرح.



شکل ۶. تغییرات فاکتور مکانی اول EOF و میانگین بلندمدت ایستگاه‌های مورد بررسی.



شکل ۷. توزیع فاکتور اول مکانی EOF توسعه داده شده در استان مورد بررسی.



شکل ۸. توزیع فاکتور دوم مکانی EOF توسعه داده شده در استان مورد بررسی.

شکل‌های ۱۴ و ۱۵ آورده شده است. به منظور بررسی بیشتر شکل ۱۶ مبین رفتار مدل ایجاد شده با EOF و Fuzzy EOF و با استفاده از شاخص کمی بارش SPI است. به رغم مدل‌های غیرخطی کاهش ابعاد مسئله، فاکتورهای زمانی و مکانی به دست آمده کاملاً با یکدیگر متناظرند و از دیدگاه ریاضی در تناظر یک‌به‌یک قرار دارند.

۵ نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق، بررسی امکان تغییر نتایج در الگوی زمانی و مکانی بارش در منطقه قزوین با استفاده از روش‌های خطی فازی و متعین تشخیص الگو است. در این تحقیق از دو روش توابع متعامد معمولی و فازی بهره گرفته شده است. وزن‌های فازی مورد استفاده برگرفته از مقادیر تصویر شده در دامنه واحد بارش و مقدار SPI هستند. نتایج فازی حاصل از دیدگاه عددی در دامنه مکان دارای تفاوت‌های فاحشی هستند ولی از دید تغییرات نسبی (نرمال شده) شدیداً از یکدیگر تبعیت کرده‌اند به نحوی که به موازات یکدیگر در طول ایستگاه‌ها به ترتیب تغییر کرده‌اند. نتایج حاصل از مقدار میانگین به صورت پوش پایینی و مقادیر ناشی از مقدار استاندارد شده بارش به صورت پوش فوقانی تغییرات روش EOF عمل کرده‌اند. این تغییرات در نقشه‌های ایجاد شده (اشکال ۷، ۹ و ۱۱) به وضوح آشکار است. تغییرات زمانی نیز در دو روش مبتنی بر فازی با یکدیگر تطبیق زیادی دارند اما با نتایج حاصل از روش معمولی دارای تفاوتی ملموسی‌اند، گرچه فاکتور دوم نقشی جدی در انتقال اطلاعات ندارد، اما فاکتور دوم روش فازی مبتنی بر مقدار استاندارد شده بارش با روش معمولی دارای تفاوتی چشمگیر هم از نظر روند و هم مقدار با تناسب فاکتور زمانی اول دارد. همه نتایج فوق گویای تطبیق وزن‌دهی ناشی از مقدار بارش سالانه و پایداری آن در مقایسه با روش غیرفازی و غیر وزن‌دار

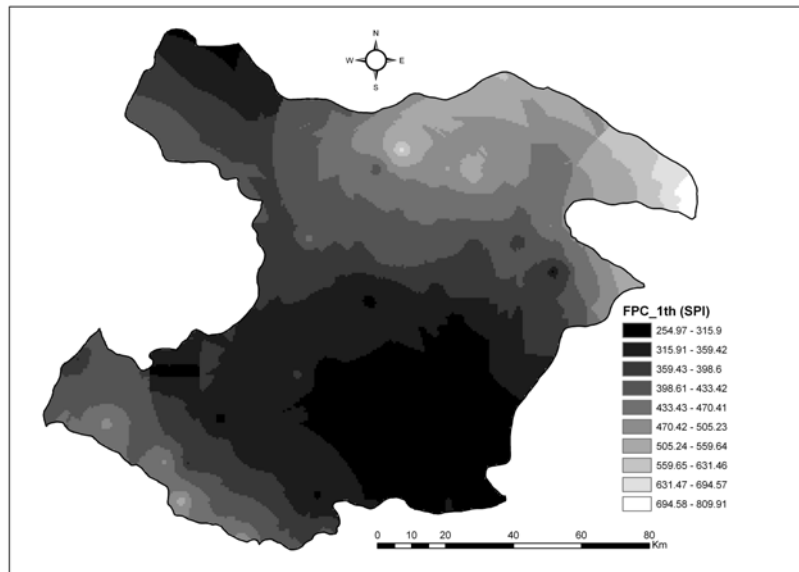
تشابه رفتاری این مقادیر قابل توجه است. به منظور بررسی نحوه تغییرات مکانی توابع متعامد اصلی، مقادیر فاکتور اول (تقریباً همه بار اطلاعاتی منطقه) و فاکتور دوم در ایستگاه‌های مورد بررسی به کل استان تعمیم داده شده است، نتایج این تعمیم در کل استان در شکل‌های ۷ و ۸ نمایش داده شده است.

حال به منظور عرضه نتایج روش توابع متعامد فازی می‌باید شاخص‌های فازی هر سال تهیه و تولید شود. برای این منظور از دو روش آسان شاخص فازی تولید شده است. در ابتدا با میانگین‌گیری از اطلاعات ایستگاه‌های مورد نظر در هر سال از ۳۰ سال آمار میانگین برای منطقه مورد بررسی تولید شده است، پس از آن شاخص SPI برای این دوره آماری محاسبه شده است و مقادیر به دست آمده در دامنه صفر تا یک با استفاده از یک تابع خطی تصویر شده است. با این روش وزن‌های مناسب در دامنه واحد براساس شاخص استاندارد شده بارش برای هر سال به دست آمد. همین روش با استفاده از مقدار میانگین (به تنهایی) پیگیری، و سری جدیدی از وزن‌ها تولید شد. حال با استفاده از وزن‌های موجود و به کارگیری روش فازی توسعه داده شده، نتایج توابع متعامد باز تولید شده‌اند.

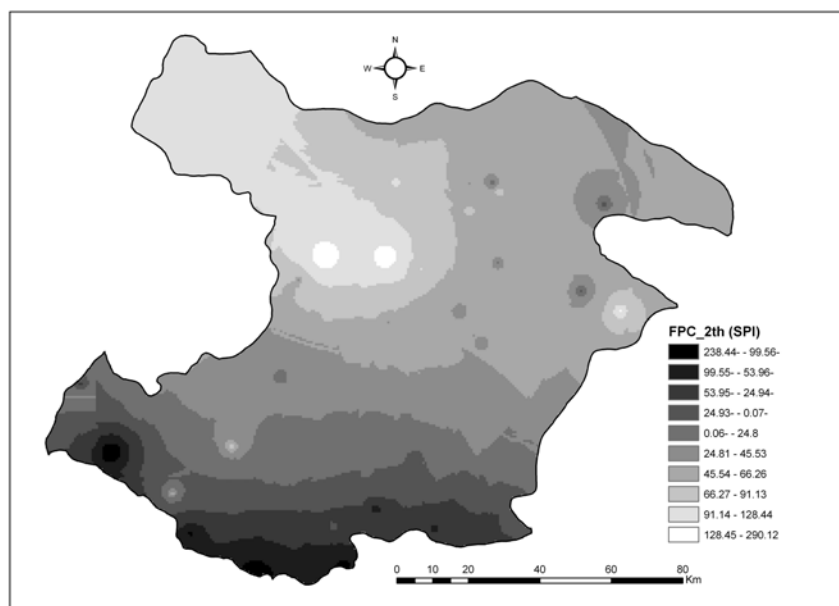
شکل‌های ۹ و ۱۰ به ترتیب فاکتورهای اول و دوم مکانی به دست آمده با استفاده از وزن‌های فازی SPI و شکل ۱۱ فاکتور اول مکانی با استفاده از شاخص حاصل از میانگین بارش را در منطقه مورد بررسی بیان می‌دارد. با توجه به رویکرد مورد استفاده در تعیین درجه آزادی موثر فاکتور مکانی-زمانی، در هر دو این روش‌ها، فاکتور اول بیش از ۰/۹۹ بار اطلاعاتی را حمل می‌کند، و در نهایت به بررسی فاکتور دوم بسنده شده است. در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نحوه تغییرات فاکتور اول مکانی با استفاده از EOF و Fuzzy EOF و بهره‌گیری از دو دسته فاکتورهای متفاوت مورد استفاده، آورده شده است. فاکتورهای زمانی اول در سه دسته مدل ایجاد شده نیز در

نبود، امکان تفاوت ماهوی نتایج ایجاد شده فراهم تر می شد. بنابراین می توان انتظار داشت، که در ساختارهای خطی امکان تفاوت در استنتاج ساختار اطلاعاتی با وزن دهی خطی (و یا حتی غیر خطی) بر اطلاعات لزوماً فراهم نیست.

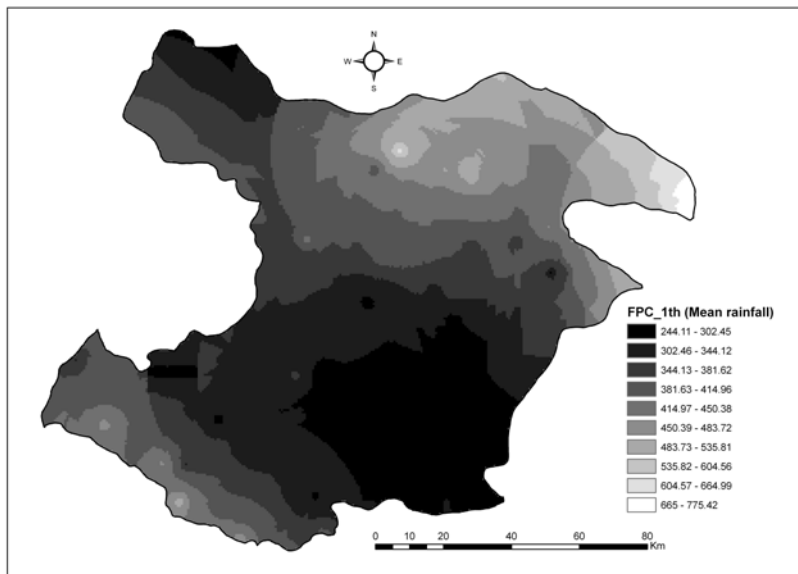
است. همچنین این نتایج تشابه عملکردی وزن دهی ناشی از مقادیر طیفی بارش میانگین و مقدار آن در زمان و تأثیر متشابه آن روی جست و جوی ساختار مسئله دارد. چنانچه بارش موجود در استان قزوین از چنان ساختار دقیق خطی (با توجه به شکل ۳) برخوردار



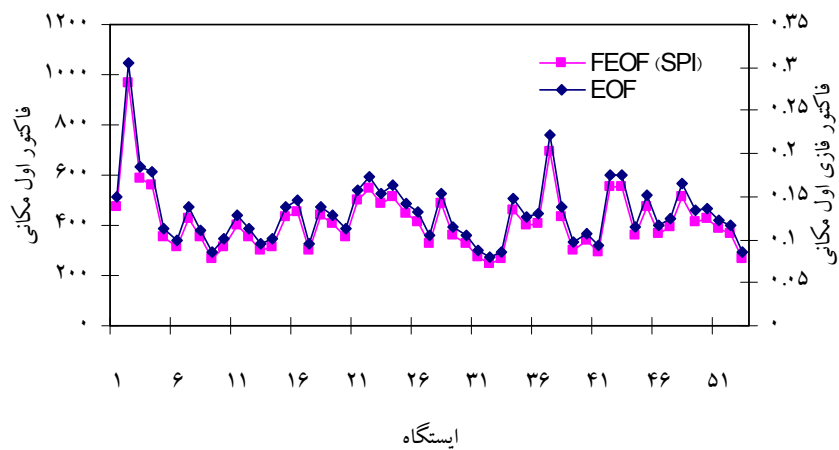
شکل ۹. توزیع فاکتور اول مکانی FEOF توسعه داده شده با استفاده از شاخص SPI.



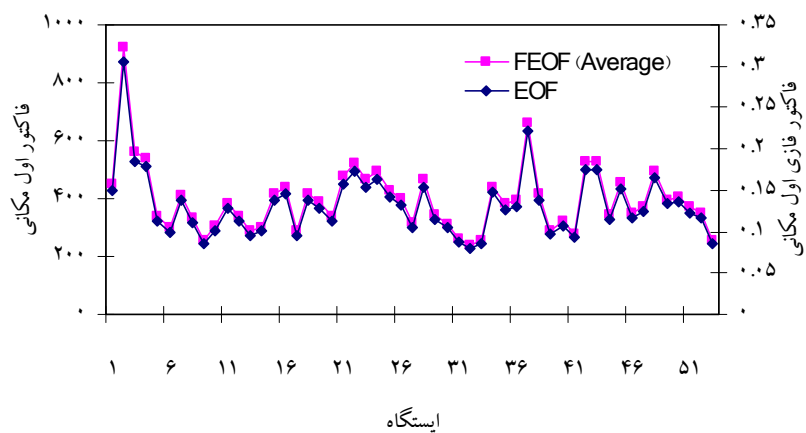
شکل ۱۰. توزیع فاکتور دوم مکانی FEOF توسعه داده شده با استفاده از شاخص SPI.



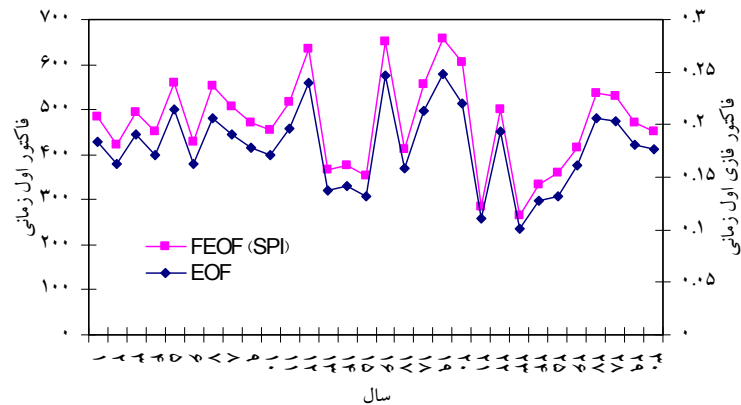
شکل ۱۱. پخش فاکتور اول مکانی FEOF توسعه داده شده با استفاده از شاخص میانگین سالانه بارش.



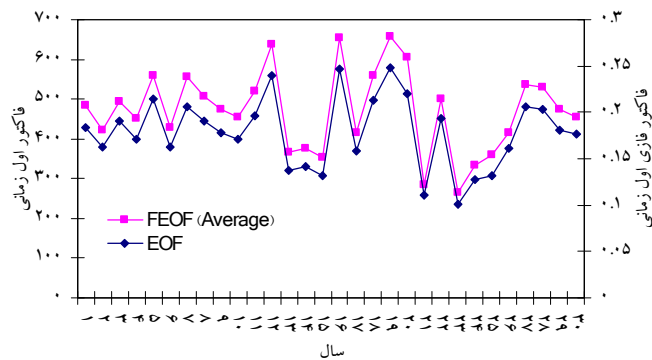
شکل ۱۲. تغییرات فاکتور اول مکانی EOF و FEOF توسعه داده شده با استفاده از شاخص SPI.



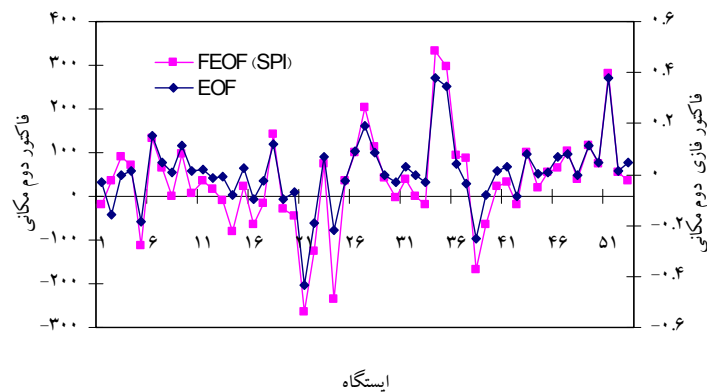
شکل ۱۳. تغییرات فاکتور اول مکانی EOF و FEOF توسعه داده شده با استفاده از شاخص میانگین سالانه بارش.



شکل ۱۴. تغییرات فاکتور اول زمانی EOF و FEOF توسعه داده شده با استفاده از شاخص SPI.



شکل ۱۵. تغییرات فاکتور اول زمانی EOF و FEOF توسعه داده شده با استفاده از شاخص میانگین سالانه بارش.



شکل ۱۶. تغییرات فاکتور دوم زمانی EOF و FEOF توسعه داده شده با استفاده از شاخص SPI.

توابع متعامد زمانی نیز با هر دو روش شاخص گذاری فازی قابل تشخیص است و در برخی مواقع فقط تفاوتی شبیه به مقدار ثابت با یکدیگر دارند (شکل های ۱۴ و ۱۵)، این تفاوت در شاخص دهی در توابع دوم (شکل ۱۶) زمانی تا حدودی نمایان می شود. همه موارد تشابه فوق گویای

با توجه به نقشه های ارائه شده از پخش توابع متعامد مکانی با استفاده از شاخص فازی SPI و مقدار میانگین بارش، می توان برداشت کرد که نحوه پخش مکانی این مقادیر تا حدود بسیار زیادی از یکدیگر تبعیت کرده اند و تشابه رفتاری دارند (اشکال ۹ و ۱۱). این تشابه در ساختار

- related techniques in atmospheric science: A review, *International Journal of Climatology*, **27**(9), 1119-1152.
- Jolliffe, I. T., 2002, *Principal component analysis*, 2nd Edition, Springer, New York.
- Kim, K. Y., North, G. R., 1998, EOF-Based Linear Prediction Algorithm: Theory, *Journal of Climate*, **11**, 3046-3056.
- Kim, K. Y. and North, G. R., 1998, EOF-based linear prediction algorithm: Examples, *J. Climate*, **12**, 2076-2092.
- Lorenz, E. N., 1970, Climate change as a mathematical problem, *J. Appl. Meteor.*, **9**, 325-329.
- Lorenz, E. N., 1956, Empirical orthogonal functions and statistical weather prediction. Technical report, Statistical Forecast Project Report 1, Dept. of Meteor., MIT, 49pp.
- Luukka, P., 2009, Classification based on fuzzy robust algorithms and similarity classifier, *Expert systems with applications*, **36**, 7463-7468.
- North, G. R. and Wu, Q., 2001, Detecting climate signals using space-time EOFs, *J. Climate*, **14**, 1839-1862.
- Preisendorfer, R. W., 1988, *Principal Component Analysis in Meteorology and Oceanography*, Elsevier, Amsterdam.
- Pop, H. F., Einax, J. W. and Sarbu, C., 2009, Classical and fuzzy principal component analysis of some environmental samples concerning the pollution with heavy metals, *Chemometrics and Intelligent Laboratory systems*, **97**, 25-32.
- Richman, Michael, B. 1986, Rotation of principal components, *International Journal of Climatology*, **6**(3), 293-335.
- Sarbu, C. and Pop, H. F., 2005, Principal component analysis versus fuzzy principal component analysis, a case study: the quality of Danube water (1985-1996), *Talanta*, **65**, 1215-1220.
- Wickramagamage, P., 2009, Seasonality and Spatial Pattern of Rainfall of Sri Lanka: Exploratory Factor Analysis, *International Journal of Climatology*, **27**, 1-15.

رفتار پایستار در الگوی بارش در منطقه مورد بررسی است و همچنین تغییرات کلی و یا ساختاری اقلیم در منطقه مورد بررسی از الگویی ریاضی و معین تبعیت می‌کند. از دیدگاه هواشناختی، با توجه به پیچیده و غالب بودن حداقل دو سامانه باران‌زا در شمال مرکزی ایران، می‌توان ساختار و جهت مقادیر بیشینه فاکتورهای اول و دوم را در روش EOF به این ساختارهای بارشی مربوط دانست؛ اول جبهه سیبری که از شمال شرقی مناطق شمال مرکزی را متأثر می‌سازد و دیگری جبهه مدیترانه‌ای که از سمت غرب و شمال غربی به ایران وارد می‌شود، با این توضیح ردپای هر دو ساختار قابل شناسایی است. اگرچه آن گونه که گفته شده، نحوه تغییرات فاکتور اول با ارتفاع در ایستگاه‌های منطقه دارای همبستگی معناداری در حدود ۰/۵۱ است.

در نهایت با توجه به تشابه نتایج، می‌توان نتیجه گرفت که ساختار عمده حاکم بر اطلاعات در منطقه خطی است و تبدیل مدل از حالت خطی صرف به خطی وزن‌دار مبتنی بر اطلاعات بارش استان بر ساختارهای به‌دست آمده تأثیر چندانی ندارد. پیشنهاد می‌شود که به‌منظور درک کردن و نشان دادن تفاوت در نتایج به سبب تفاوت در ساختار الگوی بارش از روش‌های فازی چنددرده‌ای استفاده کرد. نگارندگان در حال حاضر در حال توسعه روشی آسان‌تر، در راستای روش‌های فازی چنددرده‌ای در حالت بهینه هستند.

منابع

- Compagnucci, R. H. and Richman, M. B., 2008, Can principal component analysis provide atmospheric circulation or teleconnection patterns?, *International Journal of Climatology*, **28**, 703-726.
- Hannachi, A., 2009, Pattern hunting in climate: a new method for finding trends in gridded climate data, *International Journal of Climatology*, **27**(1), 1-15.
- Hannachi, A., Jolliffe, I. T. and Stephenson, D. B., 2009, Empirical orthogonal functions and