

## Research Paper

# Spatiotemporal Analysis of Precipitation and its Relationship with Teleconnection Patterns (Case study: Urmia Lake basin)

Hadi Sanikhani<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Associate Professor, Department of Water Sciences Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran



10.22125/IWE.2021.273828.1487

Received:  
**March.16.2020**  
Accepted:  
**April.07.2021**  
Available online:  
**October.05.2022**

Keywords:  
**precipitation,**  
**Spatiotemporal**  
**analysis,**  
**teleconnection**  
**patterns,**      **Cluster**  
**analysis,**      **Principal**  
**component analysis**

## Abstract

Temporal and spatial variations in precipitation play a key role in the balance of water resources. The catchment area of Lake Urmia, as the largest inland lake in Iran, is the destination of the most important rivers in the northwest of the country. Accordingly, in the present study, the temporal and spatial distribution of precipitation in the Lake Urmia basin was investigated. The data used are the total frequency of seasonal and annual precipitation of 59 meteorological stations and data related to 11 teleconnection patterns during 1992-2016 and the main methods, statistical characteristics (first quartile, third quartile, and seasonal and annual Coefficient of variation), principal component analysis, Ward hierarchical cluster analysis, Kriging geostatistical method, and Pearson correlation. In the study of statistical features, it was found that the highest coefficient of variation in summer and the highest numerical value of the first and third quartile in winter were calculated and the highest coefficient of variation in the middle, central and southern parts, more values of the first quartile in the northern and western parts and higher quartile values are observed in the western and southern halves. Based on the results of temporal and spatial analysis, it was determined that the highest amount of precipitation occurs in the spring in the western half. Performing principal component analysis determined that the six main factors explain about 95% of the variance of the data and the most important influential components are the first and third quartile of autumn, winter, and annual. The results of cluster analysis identified three groups in central and southern regions, western and southwestern and northern half. The study of the relationship between winter precipitation and teleconnection patterns showed that this relationship is significant with NAO, EAWR, and MOI patterns.

\* **Corresponding Author:** Hadi Sanikhani  
**Address:** Department of Water Eng., University of  
Kurdistan, Sanandaj, Iran,

**Email:** h.sanikhani@uok.ac.ir  
**Tel:** +9891125550600

## 1. Introduction

Precipitation is one of the vital and complex elements of the earth's atmosphere, whose temporal and spatial variations, can control Iran's climate (Rasouli et al., 2012). The classification of precipitation characteristics with the help of multivariate methods such as cluster analysis and principal component

analysis and zoning of precipitation areas helps to understand the temporal and spatial system of precipitation (Ashrafi, 1389). Temporal-spatial separation of precipitation into independent units with the help of multivariate statistical methods with minimum error is one of the most effective methods of investigating this phenomenon. Identification of homogeneous precipitation areas is the most important prerequisite for environmental planning, especially planning for water resources management and land use planning (Raziei, 2016).

The Urmia Lake basin shows significant spatial and temporal changes in precipitation. These changes have significant effects on agriculture, hydrology, environment, and etc. Therefore, it is necessary to be done comprehensive research to identify the effective variables in the temporal and spatial distribution of precipitation and the zoning of precipitation areas to prevent possible damages in the catchment area of Urmia Lake. The purpose of this research is to identify the spatial and temporal differences in precipitation in the Urmia Lake basin and to identify the most important characteristics of precipitation.

## 2. Materials and Methods

The studied area in this research is Urmia Lake basin in northwest of Iran. The data used are the total frequency of seasonal and annual precipitation of 59 weather stations and data related to 11 teleconnection patterns (i.e. Arctic Oscillation, North Atlantic Oscillation, Pacific Decadal Oscillation, Mediterranean Oscillation, East Atlantic-West Russian Oscillation, Enso patterns) in the 1992-2016 years. First, the statistical characteristics of the data including the seasonal and annual coefficient variation of precipitation, the first quartile, and the third quartile were calculated. Using the KMO test, the adequacy of the data was checked. Then, principal component analysis method was used to reduce the dimensions of the data that have a high correlation. To obtain relatively homogeneous precipitation areas, Ward's hierarchical cluster analysis method with squared Euclidean distance was used. After clustering, homogeneous stations and homogeneous areas were shown on the map. Kriging geostatistics method was used for zoning. Finally, the relationship of teleconnection patterns with winter precipitation anomaly was measured by Pearson correlation method.

## 3. Results

Spatial distribution of statistical characteristics in seasonal and annual time scale showed that the high values of the coefficient of variation in all periods were in the middle, central and southern regions, the highest spatial distribution of the first quartile were in the northern and semi-western parts, and the highest values of the third quartile were in all time intervals have been calculated in the western half and southern parts.

According to the results of the analysis of the principal components, the value of the KMO test is calculated to be about 0.83. Also, six main components cumulatively explain about 95% of the explanatory variance. In addition, it was determined that the variables of the first and third quartiles of autumn, winter, and annual precipitation are influential factors in the spatial pattern of precipitation in Urmia Lake basin. Spatial distribution of the values of the main calculation components based on the factor loads related to the six main components determined that the amount of precipitation decreases from west to east. The results of the cluster analysis show that there are three separate groups with similar trends: 1) stations in the middle areas and several southern stations 2) western and southwestern stations 3) northern half stations, which the frequency of precipitation in the second group is the highest.

Examining the statistical characteristics of the homogeneous groups resulting from the cluster analysis showed that the maximum average seasonal precipitation in spring and winter, the highest value of the coefficient of variation in the summer season in the first group, the highest value of the first quartile in the season spring and the highest values of the third quartile in the second group occurred in spring.

The results of the spatial analysis showed that the maximum spatial distribution of precipitation belongs to the western half of the study area, but the main focus of its occurrence is the southwest corner, focusing on the Sardasht station. In the investigation of the relationship of precipitation with teleconnection patterns, it was found that three patterns of North Atlantic, Mediterranean oscillations, and East Atlantic-West Russian oscillations have a significant relationship with winter precipitation.

#### 4. Discussion and Conclusion

The results of the statistical characteristics showed that the highest value of the coefficient of variation belongs to summer, and the highest value of the first and third quartiles belongs to winter. It was also found that the highest value of the coefficient of variation is in the middle, central and southern regions, most of the first quartile is in the northern and western regions and the maximum of the third quartile is in the western and southern half. According to the results of temporal and spatial analysis, we found that the maximum precipitation occurs in the spring season in the western half of Urmia lake basin. The results of principal component analysis showed that, in general, 6 main factors explain about 95% of the data variance. In addition, it was found that the most important influencing factors include: the first and third quartiles of autumn, winter, and annual seasons.

The implementation of the cluster analysis method showed that there are three homogeneous groups: 1) the central and southern regions, 2) the western and southwestern regions, and 3) the northern half. Finally, the correlation analysis of teleconnection patterns with winter precipitation showed that the strongest significant relationship is related to NAO, EAWR, and MOI patterns.

#### 5. Six important references

1. Alijani, B and J.R. Harman. 1985. Synoptic climatology of precipitation in Iran. *Annals of the Association of American Geographers*, 75: 404–416.
2. Ashrafi, S. 2011. Precipitation Classification Of Northwest Of Iran Using Cluster Analysis And Discriminate Analysis. *Journal of climate research*, 1(3-4): 27-44.
3. Dehghan, Z., Eslamian, S.S., Modarres, R. 2019. Using the principal component analysis approach for weighting statistical, climatic, and geographical attributes of the maximum 24-hour rainfall and spatial clustering analysis (A case study: Urmia Lake Basin). *Water and soil science*, 22 (4): 41-58.
4. Fazel, N., Berndtsson, R., Bertacchi Uvo, C., Madani, K and B. Kløve. 2017. Regionalization of precipitation characteristics in Iran's Lake Urmia basin. *Theoretical and Applied Climatology*, 132: 363–373.
5. Isazadeh, M., Dinpashoh, Y. 2018. Spatio-temporal delineation of Iran's s precipitation climate and selection of Indicator stations using the multivariate statistical methods. *Water and soil science*, 28 (3): 169-181.
6. Sobhani, B., Isazadeh, M., Dinpajoo, Y. 2019. Trend analysis and spatiotemporal zoning of Urmia Lake basin precipitation and selection of indicator stations by multivariate statistical methods, *Iranian journal of soil and water research*, 50 (7): 1581-1593.

#### Conflict of Interest

The author declared no conflict of interest.

#### Acknowledgments

University of Kurdistan Vice Chancellor for Research is commended for supporting this research.

## تحلیل زمانی-مکانی بارش و ارتباط آن با الگوهای پیوند از دور (مطالعه موردی: حوضه آبریز دریاچه ارومیه)

هادی ثانی‌خانی<sup>۱</sup>

تاریخ ارسال ۱۳۹۹/۱۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۰۷

مقاله علمی پژوهشی

### چکیده

تغییرات زمانی و مکانی بارش نقش اساسی در بیان منابع آبی ایفا می‌کند. حوضه آبریز دریاچه ارومیه نیز به عنوان بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران مقاصد مهم‌ترین رودخانه‌های شمال غربی کشور است، به همین منظور شناسایی متغیرهای موثر در توزیع زمانی و مکانی بارش و ناحیه‌بندی مناطق بارشی در این منطقه ضرورت می‌یابد. بر این اساس در پژوهش حاضر به بررسی توزیع زمانی و مکانی بارش حوضه دریاچه ارومیه پرداخته شد. داده‌های مورد استفاده، مجموع فراوانی بارش فصلی و سالانه ۵۹ ایستگاه هواشناسی و داده‌های مربوط به ۱۱ الگوی پیوند از دور در سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۷۰ و روش‌های اصلی، ویژگی‌های آماری (چارک اول، چارک سوم و ضریب تغییرات فصلی و سالانه)، تحلیل مولفه‌های اصلی، تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی وارد، روش زمین آمار کریجینگ و همبستگی پیرسون هستند. در بررسی ویژگی‌های آماری مشخص شد که بیشترین ضریب تغییرات در تابستان و بیشترین مقدار عددی چارک اول و سوم در زمستان محاسبه شده است و بیشترین ضریب تغییرات در بخش‌های میانی، مرکزی و جنوبی، مقادیر بیشتر چارک اول در بخش‌های شمالی و غربی و مقادیر بالاتر چارک سوم در نیمه غربی و جنوبی مشاهده شده است. براساس نتایج تحلیل‌های زمانی و مکانی معین گردید بیشترین مقدار بارش در فصل بهار در نیمه غربی رخ می‌دهد. اجرای تحلیل مولفه‌های اصلی معین کرد که شش عامل اصلی حدود ۹۵ درصد واریانس داده‌ها را تبیین می‌نماید و مهم‌ترین مولفه‌های تاثیرگذار چارک اول و سوم فصول پاییزی، زمستان و سالانه هستند. نتایج تحلیل خوشه‌ای سه گروه را در ۱- نواحی میانی و جنوبی ۲- غربی و جنوب غربی و ۳- نیمه شمالی مشخص کرد. بررسی ارتباط بارش فصل زمستان با الگوهای پیوند از دور معین نمود که این ارتباط با الگوهای NAO، EAWR و MOI معنادار است.

واژه‌های کلیدی: بارش، تحلیل زمانی-مکانی، الگوهای پیوند از دور، تحلیل خوشه‌ای، تحلیل مولفه‌های اصلی

<sup>۱</sup> دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران (h.sanikhani@uok.ac.ir)

## مقدمه

بارش مهمترین پدیده یا ویژگی زیست محیطی است که وقوع آن در هر منطقه متأثر از حضور عامل صعود و رطوبت به همراه الگوی گردشی جوی مناسب می‌باشد (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۰). بارش یکی از عناصر حیاتی و پیچیده جو زمین است که تغییرات زمانی و مکانی آن می‌تواند اقلیم ایران را کنترل کند (رسولی و همکاران، ۱۳۹۲). تفاوت مکانی بارش در ایران بسیار زیاد است و این تفاوت‌ها از یک سو به طبیعت رفتار مکانی بارش بازمی‌گردد که اساس متغیری سرکش است و تغییرات مکانی شدید را از خود نشان می‌دهد (مسعودیان و کاویانی، ۱۳۸۷).

از آنجاییکه توزیع زمانی و مکانی بارندگی بسیار ناموزون است، توزیع منابع آب نیز یکنواخت نیست. از این رو برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب تحت تاثیر میزان تغییرپذیری بارش است. بنابراین بارش یکی از متغیرهای اساسی برای ارزیابی مهبیایی منابع بالقوه آب در مناطق مختلف ایران است. یکی از راه‌های برنامه‌ریزی و مدیریت بارش، شناسایی ویژگی‌های بارندگی و مناطق تحت پوشش آنهاست. طبقه‌بندی خصوصیات بارندگی به کمک روش‌های چند متغیره مانند تحلیل خوشه‌ای و تحلیل مولفه‌های اصلی و به تبع آن پهنه‌بندی مناطق بارشی به شناخت نظام زمانی و مکانی بارش کمک شایانی می‌نماید (اشرفی، ۱۳۸۹). مرزبندی و تفکیک زمانی- مکانی بارش به واحدهای مستقل از یکدیگر به کمک روش‌های آماری چند متغیره با حداقل خطا، یکی از موثرترین روش‌های بررسی این پدیده پرنوسان می‌باشد. توزیع زمانی- مکانی بارش نقش اساسی را در بیلان منابع آبی مناطق مختلف جغرافیایی ایفا می‌کند. شناسایی مناطق همگن بارشی مهمترین پیش نیاز برنامه‌ریزی‌های محیطی به ویژه برنامه-ریزی مدیریت منابع آب و آمایش سرزمین است (رضیعی، ۱۳۹۶).

دریاچه ارومیه با وسعت بیش از ۵۰۰۰ کیلومتر مربع به عنوان یکی از مهمترین دریاچه‌های کشور به علت مصرف بیش از حد آب و تغییر اقلیم دارای وضعیت نامناسب زیست محیطی شده است. اثرات مثبت و منفی کاهش و افزایش تراز آب این دریاچه، بر اقلیم، هیدرولوژی و محیط زیست

مناطق پیرامون آن بسیار جدی است. یکی از گام‌های موثر جهت احیا و مدیریت بهتر دریاچه ارومیه و حوضه آبریز آن بررسی و تحلیل نحوه پراکنش زمانی و مکانی توزیع بارش در آن منطقه می‌باشد (سبحانی و همکاران، ۱۳۹۸). به دلیل اهمیت تغییرپذیری مکانی و زمانی بارش و نقش آن در ارتباطات و وقوع مخاطرات طبیعی همچون سیلاب و خشکسالی و مشکلات غذایی و موارد دیگر، بررسی و شناخت تغییرات ویژگی‌های بارندگی در مقیاس‌های زمانی و مکانی متنوع بسیار ضرورت دارد.

در سطح جهان تحقیقات مقایسه‌ای وسیعی در ارتباط با روش‌های مختلف طبقه‌بندی ویژگی‌های مختلف بارش و پهنه‌بندی آن با روش‌های آماری متنوعی صورت گرفته که از جمله مهمترین آنها شامل موارد زیر هستند:

Escalante و Arellano (2013)، مناطق همگن بارشی مکزیک را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که ضرایب تغییر لحظه‌ای همراه با ارتفاع و طول عرض جغرافیایی در هر ایستگاه برای تشخیص مناطق بارشی همگن کفایت می‌کند. Darand و Mansouri (2014)، با منطقه‌بندی رژیم‌های بارندگی ایران دریافتند که بیشترین بارندگی در فصل زمستان روی می‌دهد. همچنین متوجه شدند که بالاترین مقادیر بارندگی در نواحی جنوب غرب و جنوب شرق در فصل زمستان، در سواحل دریای خزر در فصل پائیز و در شمال غرب در فصل بهار رخ می‌دهد. Venkata و Raja (2015)، مناطق همگن آب و هواشناسی در هند را مورد بررسی قرار دادند و از روش تحلیل خوشه‌ای فازی مبتنی بر موجک و روش تحلیل مولفه‌های اصلی برای طبقه‌بندی استفاده کردند. نتایج طبقه‌بندی نشان داد که ۲۱ منطقه آب و هوایی در هند وجود دارد. Irwin et al (2016)، با شناسایی مناطق همگن بارشی در شمال کانادا متوجه شدند که در نظر گرفتن دو پارامتر طول و عرض جغرافیایی به همراه فاصله از دریا برای طبقه‌بندی مناطق بارشی بسیار با اهمیت می‌باشد. Mesgari و Arab Amiri (2016)، به مطالعه تغییرات مکانی بارش در شمال غربی ایران پرداختند و با استفاده از روش‌های تحلیل خوشه‌ای و تحلیل مولفه‌های اصلی منطقه را به چهار گروه طبقه‌بندی کردند و الگوی



منطقه را به هشت طبقه تقسیم کردند. علاوه بر این مشخص نمودند.

در رابطه با پهنه‌بندی ویژگی‌های بارش و شرایط اقلیمی مرتبط با آن مطالعات فراوانی در ایران با روش‌های آماری چند متغیره انجام شده است که از آن جمله می‌توان به مطالعه خسروی و همکاران (۱۳۹۳)، اشاره نمود که ایران را با توجه به مقادیر بارش و دما به پنج پهنه اقلیمی تقسیم نمودند که شامل: منطقه معتدل گرم با بارش زیاد، منطقه سرد نیمه خشک با بارش متوسط، منطقه معتدل و مرطوب با بارش بسیار زیاد، منطقه گرم خشک با بارش کم و منطقه بسیار گرم و خشک با بارش بسیار کم هستند. عساکره و همکاران (۱۳۹۳)، با پهنه‌بندی احتمال وقوع شرایط بارشی در ایران، سه پهنه اصلی شمالی، مرکزی و جنوبی در کشور را تشخیص دادند. همچنین با توجه به ویژگی احتمال شرطی بارش به شرط حالات دمایی برای بارش، هفت زیرگروه نیز تعیین نمودند. محمد خورشیددوست و شیرزاد (۱۳۹۳)، به شناسایی تفاوت‌های زمانی-مکانی بارش در شمال ایران پرداختند. نتایج نشان داد که بر حسب مقدار و زمان بارش چهار خوشه عمده بارشی در منطقه وجود دارد که مقدار بارش در آن از سمت سواحل جنوب غربی دریای خزر به سمت شرق و به بیرون کاهش می‌یابد. ناحیه‌بندی و تحلیل بارش‌های نواحی مرکزی ایران توسط فرجی و همکاران (۱۳۹۶)، نشان داد که چهار پهنه اقلیمی (۱- ناحیه بارش زیاد، دمای بسیار کم و رطوبت زیاد، ۲- بارش متوسط، دمای کم و رطوبت متوسط، ۳- بارش بسیار کم، دمای بسیار زیاد و رطوبت بسیار کم و ۴- بارش کم، دمای زیاد و رطوبت کم) شناسایی شد. دهقان و همکاران (۱۳۹۷)، در زمینه منطقه‌بندی حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته حوضه دریاچه ارومیه مشخص کردند که دسته ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی-جغرافیایی خوشه‌بندی مناسب‌تری را در سطح حوضه نشان می‌دهد. مطالعه صالح‌وند و همکاران (۱۳۹۷)، در ارتباط با طبقه‌بندی اقلیمی کارون بزرگ نشان داد که پنج عامل حدود ۶۸/۹۲ درصد از واریانس متغیرها را توضیح می‌دهند. این مؤلفه‌ها به ترتیب: ۱- عامل دمایی-رطوبتی، ۲- عامل بارشی، تدری، ابری ۳- عامل رطوبتی-دمایی ۴- عامل ابری ۵- عامل گرد و غباری و ساعات آفتابی هستند. همچنین دو بزرگ اقلیم خشک و نیمه خشک و

مکانی بارش را شناسایی نمودند. Machiwal et al (2017)، در پژوهشی به بررسی تغییرات مکانی روند طولانی مدت بارندگی‌های فصلی و سالانه هند پرداختند و ایستگاه‌های مورد بررسی را به دو خوشه کاملاً خشک و تا حدی خشک طبقه‌بندی نمودند. سپس متوجه شدند روند افزایشی در هر دو خوشه وجود دارد و بارندگی در مناطق خشک و سرد هم در حال افزایش می‌باشد. Fazel et al (2017)، در تحلیل بارش‌های حوضه دریاچه ارومیه، منطقه را به سه گروه طبقه‌بندی کردند (گروه اول: مرکزی و جنوب غربی، گروه دوم: شمالی و شمال شرقی، گروه سوم: غرب و جنوبی) و بر اساس روش تحلیل مولفه‌های اصلی متوجه شدند شش عامل اول حدود ۹۲ درصد تغییرات را تبیین می‌نماید. Mesgari و Arab Amiri (2017)، با مدل-سازی تغییرات زمانی-مکانی بارندگی در شمال غرب ایران به این نتیجه رسیدند که بیشترین تغییرات بارندگی بین سالانه و درون سالانه در بخش‌های غربی و شمال غربی و کمترین تغییر در قسمت شرقی منطقه رخ داده است. Praene et al (2019)، با انجام تحلیلی خوشه‌ای به منطقه‌بندی اقلیمی ماداگاسکار پرداختند. سپس بر اساس تحلیل خوشه‌ای سه منطقه آب و هوایی خشک، مرطوب و مناطق مرتفع را شناسایی کردند. Meena و Machiwal (2019)، به ترسیم الگوهای مکانی بارندگی ماهانه، فصلی و سالانه غرب هند پرداختند و سپس چهار خوشه بارشی را مشخص نمودند: ۱- غرب (کمترین بارندگی با بیشترین تغییرات) ۲- شرق (بیشترین بارندگی) ۳- شمال و شمال شرق ۴- جنوب. Mesgari و Arab Amiri (2019)، در تحلیل تغییرات فضایی بارندگی در چهار محال و بختیاری ایران دریافتند که تغییرات درون سالانه و بین سالانه بارندگی از جنوب شرق به شمال غرب کاهش می‌یابد و بر اساس طبقه‌بندی‌ها سه منطقه: ۱- شمال شرقی (خشک با تغییر منطقه‌ای زیاد بارندگی) ۲- مرکزی و جنوبی (دارای بیشترین بارندگی فصلی) ۳- شمال غربی (بارانی با تغییرات بین سالانه و درون سالانه کم) را شناسایی نمودند. Rahman و Rahman (2020)، در پژوهشی پس از به-کارگیری روش‌های تحلیل مولفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای به بررسی سیل‌های منطقه‌ای استرالیا پرداختند و

این پژوهش شناسایی تفاوت‌های مکانی و زمانی بارش در حوضه دریاچه ارومیه به عنوان بزرگ‌ترین دریاچه داخلی کشور و شناسایی مهمترین ویژگی‌های بارش با روش‌های آماری چند متغیره تحلیل خوشه‌ای و تحلیل مولفه‌های اصلی است.

## داده‌ها و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران قرار گرفته و بخش از استان‌های آذربایجان غربی (۴۷/۷)، آذربایجان شرقی (۴۳/۴) و کردستان (۹/۸) را شامل می‌شود و در حدفاصل رشته کوه‌های زاگرس و دامنه جنوبی سهند و نیز دامنه‌های شمالی، غربی و جنوبی کوه سهند در بین طول ۱۳' ۴۴° تا طول ۵۳' ۴۷° درجه شرقی و عرض ۴۱' ۳۵° تا ۳۸' ۳۰° درجه شمالی واقع شده است. (سبحانی و همکاران، ۱۳۹۸). دریاچه ارومیه با طول ۱۴۶ کیلومتر و عرض ۵۸ کیلومتر مربع بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران، دومین دریاچه آب شور دنیا و بیستمین دریاچه جهان از لحاظ وسعت محسوب می‌شود. وسعت حوضه آبریز این دریاچه ۵۲۳۵۵ کیلومتر مربع است که نسبت به کل سطح کشور حدود ۳/۱۵ درصد مساحت کل کشور ایران را دربرمی‌گیرد و منابع آب سطحی آن حدود هفت درصد از کل منابع آب کشور است (کازم پور و همکاران، ۱۳۹۸). متوسط بارندگی منطقه بین ۳۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر متغیر است و میانگین بارش سالانه ۴۰۴ میلی‌متر محاسبه شده است (جاماب، ۱۳۸۴). متوسط درجه حرارت سالیانه آن ۱۱ درجه سانتیگراد است (سبحانی و همکاران، ۱۳۹۸). رطوبت نسبی هوا در مقیاس سالانه بین ۵۲ تا ۶۴ درصد متغیر است. متوسط جمع ساعت آفتابی در منطقه ۲۷۰۰ ساعت است و مقدار سالانه تبخیر نیز از ۱۰۰۰ میلی‌متر در ارتفاعات تا ۲۰۰۰ میلی‌متر در بخش جنوبی نوسان دارد (جاماب، ۱۳۸۴). دریاچه ارومیه در بالاترین تراز یکی از مهمترین و ارزشمندترین زیست بوم‌های آبی ایران، مقصد نهایی مجموعه‌ای از رودخانه‌های شمال غربی کشور است (حصاری و زینال زاده، ۱۳۹۸). از آنجاییکه حجم تراز پیکره‌های آبی تابع عوامل بیلان و

۱۳ خرده اقلیم در منطقه مشاهده شد. عیسی‌زاده و دین-پژوه (۱۳۹۷)، در پهنه‌بندی بارش ایران شش ناحیه بارش متمایز را (زاهدان، تهران، ارومیه، ایلام، یاسوج، گرگان و رشت) تشخیص دادند. همچنین مشخص شد که بارش ماه-های می، اوت و دسامبر تقریباً کل اطلاعات بارش سالانه را دربردارد. رورده و همکاران (۱۳۹۸)، به شناسایی تفاوت مکانی بارش ایران پرداختند. نتایج این تحقیق شش خوشه بارشی را در ایران نشان داد. نواحی ساحلی خزر، سواحل خلیج فارس و دریای عمان، نواحی بسیار خشک مرکزی، نواحی نیمه خشک، نواحی کوهستانی و نیمه کوهستانی این خوشه‌ها هستند. سبحانی و همکاران (۱۳۹۸)، در تحلیل روند و پهنه‌بندی زمانی-مکانی بارش حوضه دریاچه ارومیه شش ناحیه بارشی متمایز را تشخیص دادند. همچنین معلوم شد که چهار ایستگاه واقع در نقاط مختلف حوضه آبریز دریاچه ارومیه شامل مهماندار، سراب، بابارود و سننه می‌توانند به عنوان ایستگاه‌های شاخص در نظر گرفته شوند.

همان‌طور که ذکر شد، تحلیل زمانی و مکانی بارش در جهان و ایران بیشتر با استفاده از روش‌های مدل‌سازی و روش‌های چند متغیره و تنها با در نظر گرفتن تعداد معدودی مولفه ویژگی‌های اقلیمی مورد بررسی قرار گرفته است. تحلیل ویژگی‌های بارش، طبقه‌بندی منطقه با توجه به ویژگی‌های آماری و پهنه‌بندی آن با روش زمین آمار و بررسی ارتباط بارش با الگوهای پیوند از دور می‌تواند شرایطی را فراهم کند که تغییرات زمانی و مکانی این پدیده را با دقت مورد تحلیل و ارزیابی قرار دهیم.

حوضه آبریز دریاچه ارومیه، تغییرات مکانی و نوسانات زمانی قابل توجهی در زمان و مکان بارش‌های ماهانه، فصلی و سالانه از خود نشان می‌دهد که این تغییرات در طول زمان تاثیرات قابل ملاحظه‌ای بر بخش‌های کشاورزی، هیدرولوژی، زیست محیطی، برنامه‌ریزی‌های عمرانی و انسانی و ... می‌گذارد. بنابراین لزوم اجرای تحقیق جامع و مستقل جهت شناسایی متغیرهای موثر در توزیع زمانی و مکانی بارش و ناحیه‌بندی مناطق بارشی به منظور جلوگیری از خسارات احتمالی بارش برای مدیریت این پدیده در حوضه آبریز دریاچه ارومیه احساس می‌شود. هدف



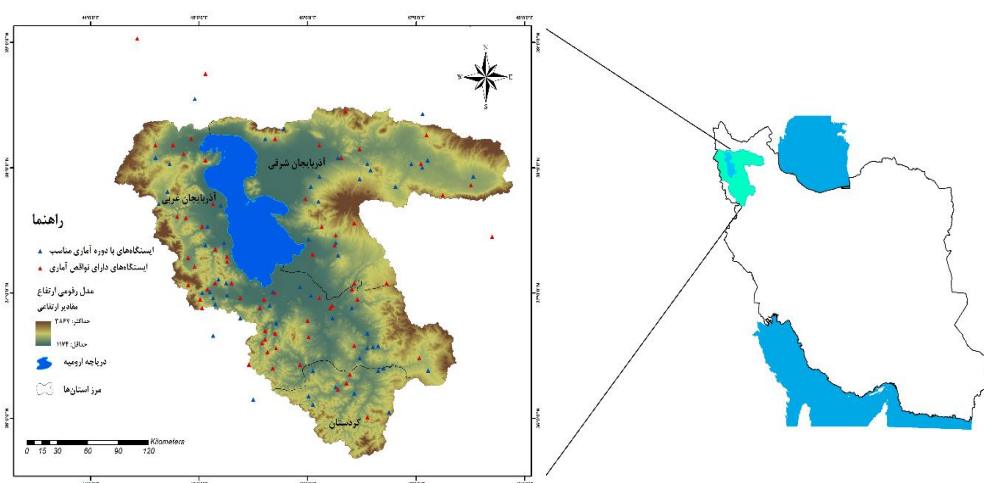
انتخاب مناسب‌ترین الگوهای پیوند از دور در این پژوهش، ابتدا داده‌های بسیاری از الگوهای پیوند از دور که در دسترس بودند به طور کامل جمع‌آوری و پردازش شدند، سپس به طور نمونه ارتباط این الگوها با داده‌های تعدادی از ایستگاه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. بعد از اینکه مشخص شد الگوهای مورد بررسی فاقد ارتباط معنادار هستند بسیاری از این الگوها از پژوهش حذف شدند و در نهایت چندین الگوی عمده که در سطح جهانی تاثیرگذار بودند انتخاب گردید.

تمامی داده‌های مورد استفاده از بازه آماری ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۴ شمسی به مدت ۲۵ سال جهت تحلیل و ارزیابی استفاده گردیدند. سعی شد با در نظر گرفتن دوره آماری مشترک بین داده‌ها، ایستگاه‌هایی انتخاب شوند که ضمن داشتن حدکثر سال‌های آماری موجود از پراکنش فضایی مناسبی در منطقه برخوردار باشند تا نوسانات زمانی و مکانی بارش با نتایج قابل اعتمادتری به دست آید. موقعیت جغرافیایی آنها در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطوریکه در شکل ۱ نشان داده شده است ایستگاه‌هایی که دارای دوره آماری کافی هستند با مثلث آبی رنگ و داده‌های دارای نقض آماری با مثلث قرمز رنگ مشخص شدند.

متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی موثر بر آن است، بنابراین تحلیل تغییرات عناصر اقلیمی همچون بارش با تغییرات زمانی و مکانی معنی‌دار، به عنوان مهمترین عامل در بیان آبی می‌تواند نقش بسیار موثری در بررسی علل تغییرات سطح حوضه آبریز ایفا کند.

### داده‌ها و روش انجام تحقیق

در این پژوهش از داده‌های مجموع مقادیر بارندگی فصلی و سالانه حدود ۴۷ ایستگاه هیدرومتری و ۱۲ ایستگاه سینوپتیک در مجموع حدود ۵۹ ایستگاه، برای بررسی ویژگی‌های بارندگی، طبقه‌بندی و تحلیل تغییرات زمانی و مکانی بارندگی در حوضه دریاچه ارومیه استفاده شده است. این داده‌ها از سازمان هواشناسی کشور و وزارت نیرو اخذ شدند. علاوه بر این از داده‌های ۱۱ الگوی پیوند از دور (پرکاربردترین و مهمترین الگوهای پیوند از دور مشتمل بر نوسانات شمالگان، نوسانات اطلس شمالی، نوسانات دهه‌ای اقیانوس آرام، الگوی نوسانات مدیترانه، الگوی شرق-اطلس غرب روسیه، الگوهای انسو که شامل شاخص‌های دمای سطح آب اقیانوس آرام (نینو ۱+۲، نینو ۳، نینو ۳/۴، نینو ۴)، شاخص نوسان جنوبی و شاخص چند متغیره‌ی انسو) از سایت سازمان نو<sup>۱</sup> در همین بازه زمانی استفاده شد. برای



شکل (۱): موقعیت منطقه و ایستگاه‌های مورد مطالعه

<sup>1</sup> NOAA  
(<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>)



خرده نواحی، تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی وارد با مجذور فاصله اقلیدسی بر روی نمرات عاملی اعمال شد. هدف تحلیل خوشه‌ای ایجاد گروه‌های همگن از نمونه‌های مختلف در یک سری داده‌ها بر اساس همگنی درون گروهی است. در نهایت پس از انجام عملیات خوشه‌بندی، ایستگاه‌های همگن و نواحی همگن مشخص شده و موقعیت آن‌ها بر روی نقشه حوضه نشان داده شد. روش زمین آمار کریجینگ برای پهنه‌بندی مورد استفاده قرار گرفت. روش کریجینگ یکی از روش‌های پیشرفته درون‌یابی است با دقت بالایی آماری می‌باشد. کریجینگ بهترین تخمین‌گر خطی ناریب است و عاری از خطای سیستماتیک می‌باشد. روش کریجینگ کمترین مقدار واریانس تخمینی را به دست می‌دهد. در چنین سیستمی خطاهای نظام‌مند حذف شده و اطلاعات با بهترین کیفیت موجود استفاده می‌شود. این روش می‌تواند از تبدیلات استفاده نماید و همچنین می‌تواند خطای اندازه‌گیری را بپذیرد (قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۳).

سرانجام با توجه به اینکه بارش‌های فصل زمستان در حوضه دریاچه ارومیه به طور کلی تحت تاثیر الگوهای پیوند از دور زمستانی و بادهای غربی هستند (Darand and Daneshvar, 2014; fazel et al, 2017). ارتباط الگوهای پیوند از دور با آنومالی بارش فصل زمستان با روش همبستگی پیرسون مورد سنجش قرار گرفت. در این بخش آنومالی‌های بارش زمستانه با استفاده از محاسبه نمره Z استاندارد مورد بررسی قرار گرفت و با در نظر گرفتن میانگین و انحراف معیار بلند مدت، مقادیر استاندارد شده برآورد شد. سپس با توجه به ارتباط همزمان الگوهای پیوند از دور با بارش زمستانه، نمودارهای مربوطه ترسیم شد.

در این پژوهش پس از اخذ داده‌های مجموع فراوانی بارش ماهانه، با تجمیع هر سه ماه یک فصل، فراوانی‌های فصلی و از تجمیع مقادیر فراوانی وقوع ۱۲ ماهه هر سال، مجموع بارش سالانه برای ۵۹ ایستگاه محاسبه شد. سپس مشخصات آماری داده‌های موجود از جمله ضریب تغییرات فصلی و سالانه بارش، چنک ۰/۲۵ و ۰/۷۵ محاسبه شد (ضریب تغییرات فصل بهار، ضریب تغییرات فصل تابستان، ضریب تغییرات فصل پاییز، ضریب تغییرات فصل زمستان، ضریب تغییرات سالانه، چارک اول فصل بهار، چارک اول فصل تابستان، چارک اول فصل پاییز، چارک اول فصل زمستان، چارک اول سالانه، چارک سوم فصل بهار، چارک سوم فصل تابستان، چارک سوم فصل پاییز، چارک سوم فصل زمستان، چارک سوم سالانه)، با استفاده از این شاخص‌ها می‌توان میزان تغییرات داده‌ها را نسبت به میانگین بررسی کرد. مجموعه داده‌ها جهت تحلیل در روش تحلیل مولفه‌های اصلی به کار گرفته شد. کفایت داده‌ها جهت به‌کارگیری روش تحلیل مولفه‌های اصلی با استفاده از آزمون KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) مورد بررسی قرار گرفت. مطابق این آزمون اگر مقدار این شاخص بزرگ‌تر از ۰/۷ باشد همبستگی‌های موجود در بین داده‌ها برای تحلیل مولفه‌های اصلی مناسب خواهد بود. سپس روش تحلیل مولفه‌های اصلی جهت کاهش ابعاد داده‌هایی که همبستگی نسبی بالایی دارند، مورد استفاده قرار گرفت. در تحلیل مولفه‌های اصلی از ۱۵ شاخص ذکر شده در بررسی-های آماری استفاده گردید. نوع و روش سازماندهی ماتریس ورودی در این پژوهش با هدف کاهش پیچیدگی متغیرها R mode می‌باشد. در حالت R داده ماتریسی تنظیم می‌شود که سطرهای آن ایستگاه‌ها و ستون‌های آن ۱۵ شاخص آماری هستند. با استفاده از روش R mode تحلیل مولفه‌های اصلی، ۱۵ شاخص آماری طبقه‌بندی و گروه‌های همگن از نظر فضایی تقسیم‌بندی می‌شوند.

خروجی‌های تحلیل مولفه‌های اصلی در تحلیل‌های خوشه‌ای استفاده می‌شود. با گروه‌بندی نمرات مولفه‌های اصلی می‌توان به تفکیک مکانی مبادرت نمود. با هدف به دست آوردن پهنه‌های بارشی نسبتاً همگن و مرزبندی آن



## نتایج و بحث

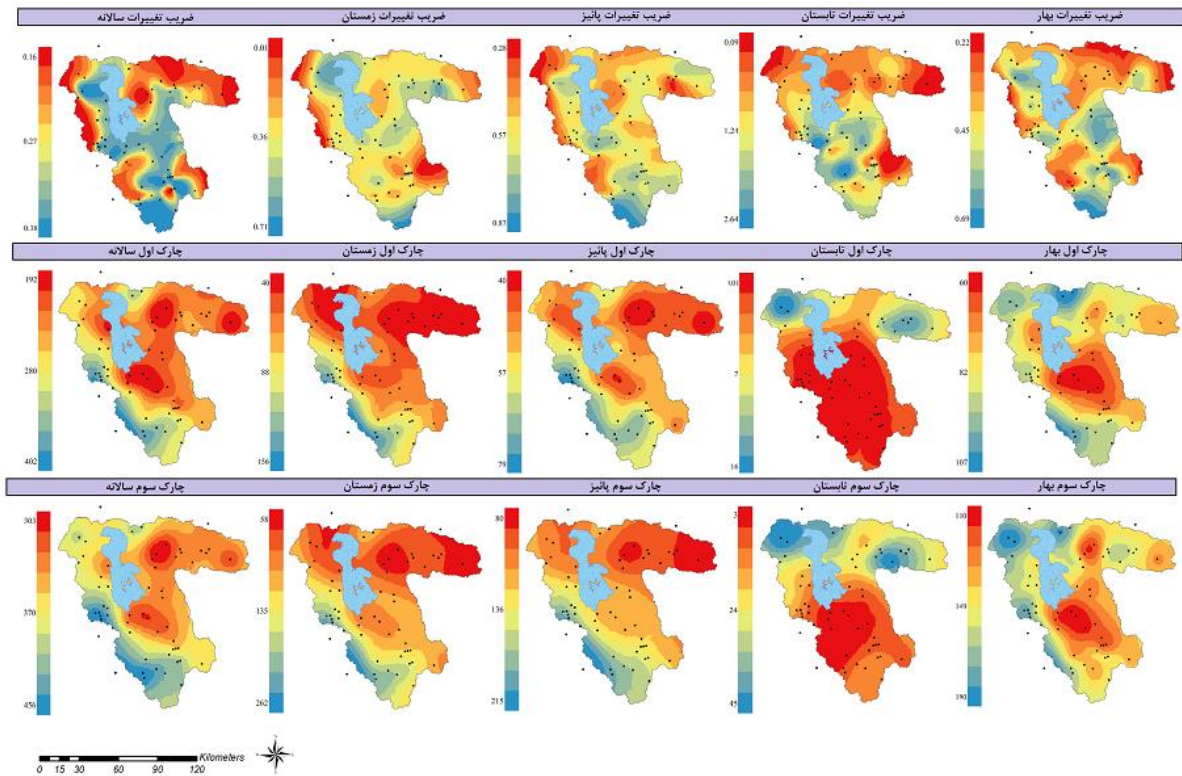
### توزیع فضایی ویژگی‌های آماری مجموع بارش فصلی و سالانه حوضه دریاچه ارومیه

نتایج محاسبه ضرایب تغییرات مجموع بارش فصلی و سالانه ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه در شکل ۳ ارائه شده است. با توجه به شکل مشاهده می‌گردد که در تمامی مقاطع زمانی تقریباً در نواحی شمال شرقی، غرب، جنوب شرقی و بخش کوچکی از گوشه جنوب غربی حوضه دریاچه ارومیه کمترین مقادیر ضریب تغییرات وجود دارد اما مقادیر بیشتر این شاخص آماری در بخش‌های میانی، مرکزی و جنوبی می‌باشد. بالاترین مقدار عددی فصلی ضریب تغییرات به ایستگاه ماسو با میزان  $2/53$  درصد در فصل تابستان تعلق دارد و کمترین میزان این ضریب در فصل زمستان در ایستگاه پی قلعه حدود  $0/20$  می‌باشد. در مقطع زمانی سالانه نیز بالاترین مقدار عددی ضریب تغییرات در ایستگاه تلخاب با مقدار  $0/39$  در جنوب منطقه محاسبه شده است.

نقشه مقادیر محاسبه شده چارک اول مجموع بارش فصلی و سالانه ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه در شکل ۳ نشان می‌دهد که بیشترین مقادیر در تمامی بازه‌های زمانی در بخش‌های شمالی و نیمه غربی مشاهده می‌گردد، در سایر نواحی به خصوص در بخش‌های میانی، مرکزی و نیمه شرقی از میزان چارک اول کاسته می‌شود. بالاترین ضریب افزایشی چارک اول در مقطع زمانی فصلی به ایستگاه سردشت در فصل زمستان تعلق دارد که  $257$

میلیمتر است و کمترین مقدار در فصل تابستان در اکثر ایستگاه‌ها مقدار عددی صفر می‌باشد. بالاترین مقدار عددی چارک اول در مقطع زمانی سالانه حدود  $634$  میلیمتر در سردشت محاسبه شده است. به طور کلی مقادیر چارک اول در فصل زمستان بیشترین مقدار است و پس از آن در فصل بهار بالاترین مقدار مشاهده می‌گردد. در فصل پائیز مقدار چارک اول نسبت به بهار کمتر شده و در تابستان به کمترین مقدار خود می‌رسد.

مقادیر ضرایب چارک سوم در مقاطع زمانی فصلی و سالانه برای مجموع بارش‌های ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه در شکل ۳ نشان می‌دهد که بیشترین مقادیر چارک سوم در تمامی بازه‌های زمانی در نیمه غربی و بخش‌های جنوبی محاسبه شده است. در سایر نواحی، این ضریب به خصوص در بخش‌های میانی، مرکزی و جنوب شرقی دارای روند کاهشی است. نکته قابل توجه در این تصاویر تفاوت چارک سوم در فصل تابستان نسبت به سایر مقاطع زمانی است که در این فصل بالاترین مقادیر در نیمه شمالی و کمترین مقادیر از بخش‌های میانی به سمت نواحی جنوبی مشاهده می‌گردد. بیشترین مقدار ضرایب چارک سوم حدود  $431$  میلیمتر در فصل زمستان در سردشت و کمترین مقدار در فصل تابستان در ایستگاه پل بهراملو با مقدار عددی صفر محاسبه شده است. در مقطع زمانی سالانه نیز ایستگاه سردشت با  $931$  میلیمتر بالاترین مقدار را به خود اختصاص داده است.



شکل (۳): توزیع فضایی متغیرهای آماری در بازه زمانی فصلی و سالانه طی ۱۳۷۰-۱۳۹۴

### نتایج تحلیل مولفه‌های اصلی

مقدار آزمون KMO حدود ۰/۸۳ محاسبه شده است که این امر نشان‌دهنده مناسب بودن متغیرهای انتخابی برای مطالعه بارش حوضه دریاچه ارومیه می‌باشد. حدود ۱۵ متغیر آماری که شامل چارک اول تا سوم و ضریب تغییرات

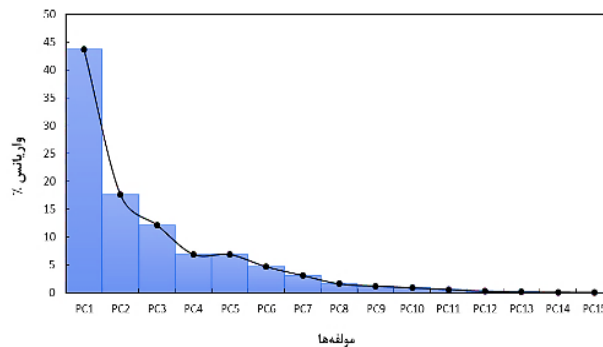
فصلی و سالانه می‌باشد برای شش مولفه اصلی در ۵۹ ایستگاه مورد مطالعه، محاسبه و نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس جدول می‌توان ذکر نمود اولین مولفه تا مولفه ششم به ترتیب حدود ۰/۴۴، ۰/۲۰، ۰/۱۳، ۰/۰۷، ۰/۰۶ و ۰/۰۳ درصد واریانس تغییرات را تبیین می‌نمایند.

جدول (۱): خلاصه ویژگی‌های آماری شش مولفه موثر بر بارش حوضه دریاچه ارومیه طی ۱۳۷۰-۱۳۹۴

متغیرها	مولفه اول	مولفه دوم	مولفه سوم	مولفه چهارم	مولفه پنجم	مولفه ششم
ضریب تغییرات بهار	-۰/۰۲۰	-۰/۱۶۷	۰/۹۵۲	۰/۰۹۵	۰/۰۵۷	-۰/۱۰۰
ضریب تغییرات تابستان	۰/۱۱۵	-۰/۸۲۵	۰/۳۱۵	۰/۱۹۰	-۰/۰۸۱	۰/۳۳۶
ضریب تغییرات پاییز	-۰/۲۲۳	-۰/۳۷۰	۰/۳۶۰	-۰/۰۳۷	۰/۷۹۶	-۰/۰۴۳
ضریب تغییرات زمستان	-۰/۳۱۱	۰/۰۷۵	۰/۲۲۴	۰/۹۱۸	-۰/۰۱۶	۰/۰۲۰
ضریب تغییرات سالانه	-۰/۱۱۴	-۰/۲۷۰	۰/۷۸۰	۰/۲۱۱	۰/۳۸۵	۰/۱۶۴
چارک اول بهار	۰/۷۰۰	۰/۴۰۳	-۰/۳۸۸	۰/۰۴۱	-۰/۰۰۱	۰/۳۵۵
چارک اول تابستان	-۰/۱۷۶	۰/۸۶۸	-۰/۱۲۹	۰/۱۵۵	-۰/۲۳۹	۰/۰۶۸
چارک اول پاییز	۰/۹۰۷	-۰/۰۸۰	۰/۰۲۱	-۰/۲۰۲	-۰/۱۶۲	-۰/۰۱۴
چارک اول زمستان	۰/۹۳۷	-۰/۲۱۸	-۰/۰۶۲	-۰/۱۹۹	-۰/۰۰۲	-۰/۰۸۸
چارک اول سالانه	۰/۹۷۴	۰/۰۴۹	-۰/۱۰۵	-۰/۱۰۸	۰/۰۶۴	۰/۰۲۶
چارک سوم بهار	۰/۷۴۰	۰/۴۵۹	-۰/۰۷۴	۰/۰۳۷	-۰/۲۱۲	-۰/۳۶۱
چارک سوم تابستان	-۰/۱۱۹	۰/۹۱۹	-۰/۱۱۷	۰/۰۷۶	-۰/۱۷۶	۰/۱۷۹
چارک سوم پاییز	۰/۹۴۶	-۰/۲۵۱	۰/۰۴۲	-۰/۰۷۳	۰/۰۲۳	۰/۰۳۲
چارک سوم زمستان	۰/۹۴۹	-۰/۲۴۰	-۰/۰۱۴	-۰/۰۸۹	-۰/۰۳۱	-۰/۰۵۲
چارک سوم سالانه	۰/۹۸۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۷۱	-۰/۰۳۳	۰/۰۷۱	۰/۰۸۸
انحراف معیار	۲/۶۵۵	۲/۰۳۴	۱/۲۲۲	-۰/۰۳۳	۰/۷۰۶	۰/۵۴۵
درصد واریانس	۴۴/۴۲۹	۲۰/۴۸۶	۱۳/۳۴۸	۷/۱۴۷	۶/۴۱۰	۳/۱۰۰
واریانس تجمعی	۴۴/۴۲۹	۶۴/۹۱۴	۷۸/۲۶۲	۸۵/۴۰۹	۹۱/۸۱۹	۹۴/۹۱۹

تحلیل مؤلفه‌های اصلی می‌باشد. مطابق شکل، شش مولفه اصلی حدود ۹۵ درصد واریانس را توجیه می‌کنند.

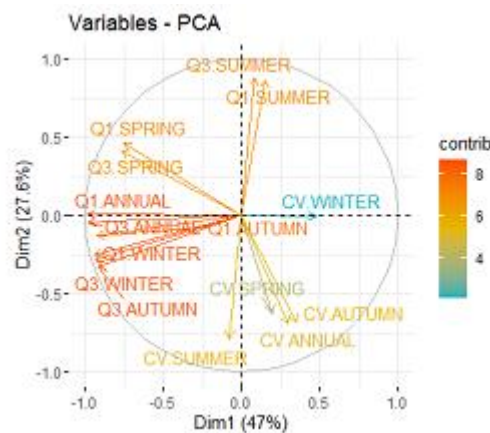
نمودار واریانس تبیینی مؤلفه‌های اصلی (شکل ۴) بیانگر این مطلب است که از مؤلفه ششم به بعد، تأثیر مؤلفه‌ها بر روی پراش داده‌ها تقریباً صفر می‌شود و خط نمودار هموار می‌شود، که این خود تأییدی بر درستی انجام



شکل (۴): نمودار درصد واریانس تبیینی مؤلفه‌های اصلی

نمودار ۵ می‌توان دید که اولین سری از مولفه‌های اصلی چرخش یافته دارای مقادیر بار عاملی بالا و مثبت برای متغیرهای چارک اول و سوم بارش‌های فصلی پائیز، زمستان و سالانه هستند که این خود بیانگر تغییرات بارش به‌عنوان عاملی تاثیرگذار و کلیدی در توصیف الگوی مکانی بارش در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد.

در شکل ۵ نمودار مقادیر بارهای عاملی متغیرهای مورد بررسی در این تحقیق برای گروه مولفه‌های اصلی اول و دوم به همراه واریانس مربوطه ارائه شده است. در این نمودار مقادیر بارهای عاملی مولفه‌های اصلی اول و دوم در فضای مختصات قطبی نمایش داده شده است که با تصویر نمودن این مقادیر بر روی محورهای افقی (PC1) و قائم (PC2) به مقادیر ارائه شده در جدول ۱ خواهیم رسید. با توجه به



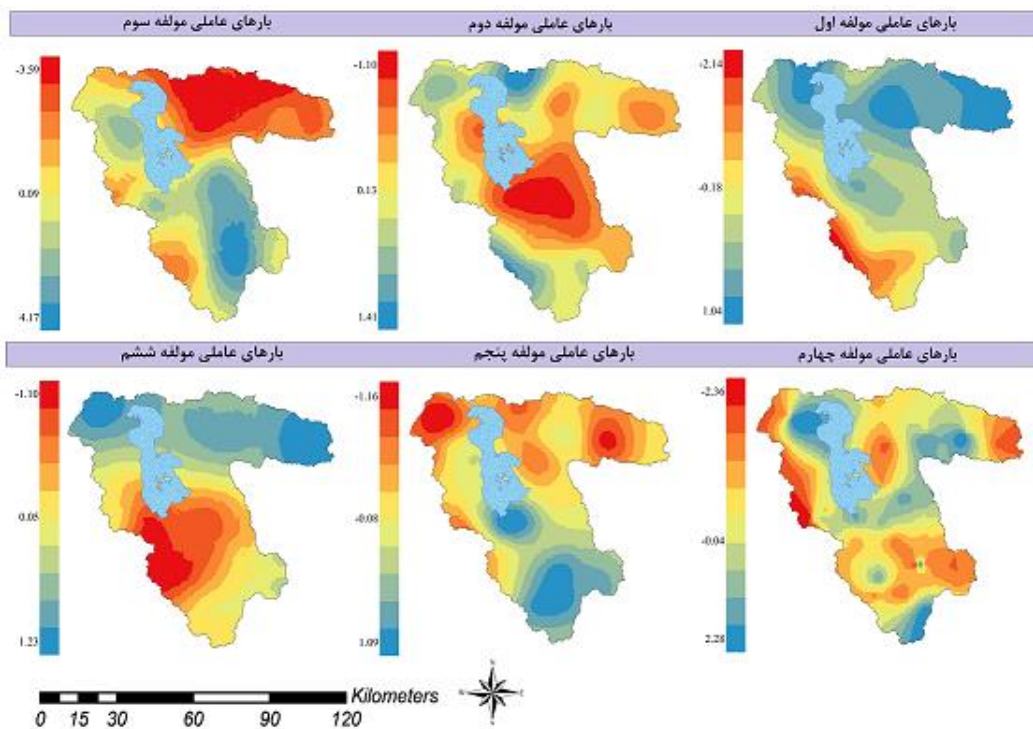
شکل (۵): نمودار بای پلات مربوط به مولفه‌های اصلی

حرکت به سمت نواحی شرقی از میزان رطوبت و در نتیجه مقدار بارش کاسته می‌شود. با توجه به شکل ۶، می‌توان دید که دومین مولفه اصلی بیان کننده ۲۰/۵ درصد از میزان واریانس می‌باشد که بیشترین همبستگی را با مقادیر ضریب تغییرات، چارک اول و سوم بارش فصل تابستان دارد. بنابراین بارش تابستانه را می‌توان دومین متغیر تاثیرگذار در ناهمگنی الگوی بارش حوضه آبریز در نظر گرفت. با توجه به شکل ۶، مقادیر مثبت و بالای بارهای عاملی در دومین مولفه اصلی در بخش‌های کوچکی از نواحی شمالی و جنوب غربی حوضه مشاهده می‌شود. همچنین با توجه به شکل ۶، می‌توان دید که مقادیر مثبت بارهای عاملی در نواحی شرقی و جنوب شرقی حوضه تحت تاثیر مقادیر ضریب تغییرات بارش بهاره و سالانه بعنوان سومین متغیر تاثیرگذار در سطح حوضه می‌باشد. در چهارمین مولفه اصلی که توجیه کننده ۷ درصد از کل واریانس می‌باشد می‌توان به اهمیت مقادیر مثبت بارهای عاملی تحت تاثیر ضریب تغییرات بارش زمستانه اشاره کرد. در پنجمین مولفه اصلی

در شکل ۶، توزیع مکانی مقادیر مولفه‌های اصلی محاسباتی بر مبنای بارهای عاملی مربوط به شش مولفه اول اصلی چرخش یافته ارائه شده است. مقادیر بالا و مثبت بارهای عاملی اولین گروه از مولفه‌های اصلی چرخش یافته در نواحی شمالی و شمال شرقی حوضه دیده می‌شود. همچنین مقادیر منفی بارهای عاملی برای اولین مولفه اصلی در بخش‌های غربی و جنوب غربی حوضه مشهود می‌باشد. قابل ذکر است که بر اساس مطالعه دین‌پژوه و همکاران (۲۰۰۴) نواحی غربی و جنوب غربی حوضه مقادیر بارش بیشتری در طول فصل سرد دریافت می‌کنند. بارش در طول فصول مرطوب در کل ناحیه اغلب به دلیل وزش بادهای غربی که حامل رطوبت دریای مدیترانه هستند ایجاد می‌شود. قابل توجه است که توپوگرافی منطقه نقش مهمی در تنظیم توزیع بارش در سطح حوضه دارد. معمولاً بارش از غرب به شرق حوضه کاهش می‌یابد که این خود در اثر وجود کوه‌های موجود در نواحی غربی و جنوبی حوضه که در برگیرنده رطوبت قابل توجهی هستند می‌باشد و با

اصلی حدود ۳ درصد از واریانس را در بر داشته و متغیر تاثیرگذار و با اهمیتی در این گروه شناسایی نشد.

نیز ضریب تغییرات بارش پائیزه موجب ایجاد بارهای عاملی بالا و مثبت گردید است و این مولفه تبیین کننده ۶/۵ درصد از میزان واریانس می باشد. در نهایت ششمین مولفه



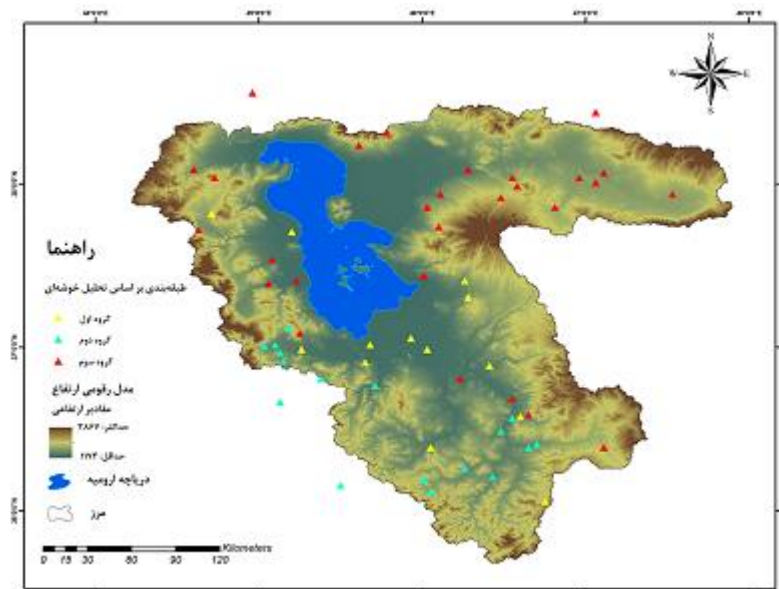
شکل (۶): توزیع فضایی بارهای عاملی مربوط به شش مولفه اول اصلی

بالاترین مقدار بارش سالانه با مقدار حدود ۴۳۶ میلیمتر در این گروه رخ می دهد. سایر ایستگاههای مورد مطالعه که بیشترین تعداد ایستگاهها در نیمه شمالی حوضه دریاچه ارومیه در گروه سوم قرار دارند. این گروه به طور میانگین حدود ۲۹۹ میلیمتر بارندگی در سال را تجربه می نمایند. ایستگاههای موجود در این بخش کمترین مقدار بارندگی را نسبت به دو گروه اول دریافت می کنند. به طور کلی در تمامی گروهها بالاترین میزان بارندگی در فصول بهار و زمستان روی می دهد و فصل تابستان کمترین مقدار ریزشهای جوی را دریافت می کند.

### نتایج تحلیل خوشه‌ای

تحلیل خوشه‌ای و ترسیم درخت خوشه‌بندی با روش تحلیل سلسله مراتبی وارد انجام گرفت و با انجام یک برش سه خوشه‌ای، سه گروه همسان مطابق شکل ۷، استخراج شدند. در گروه اول ایستگاههای نواحی میانی و تعدادی از ایستگاههای جنوبی قرار دارد. میانگین بارندگی سالانه در این گروه حدود ۲۶۶ میلیمتر می باشد و بیشترین مقدار بارندگی در این گروه به ایستگاه باغچه میشه تعلق دارد. گروه دوم ایستگاههای غربی و جنوب غربی را دربرمی گیرد.

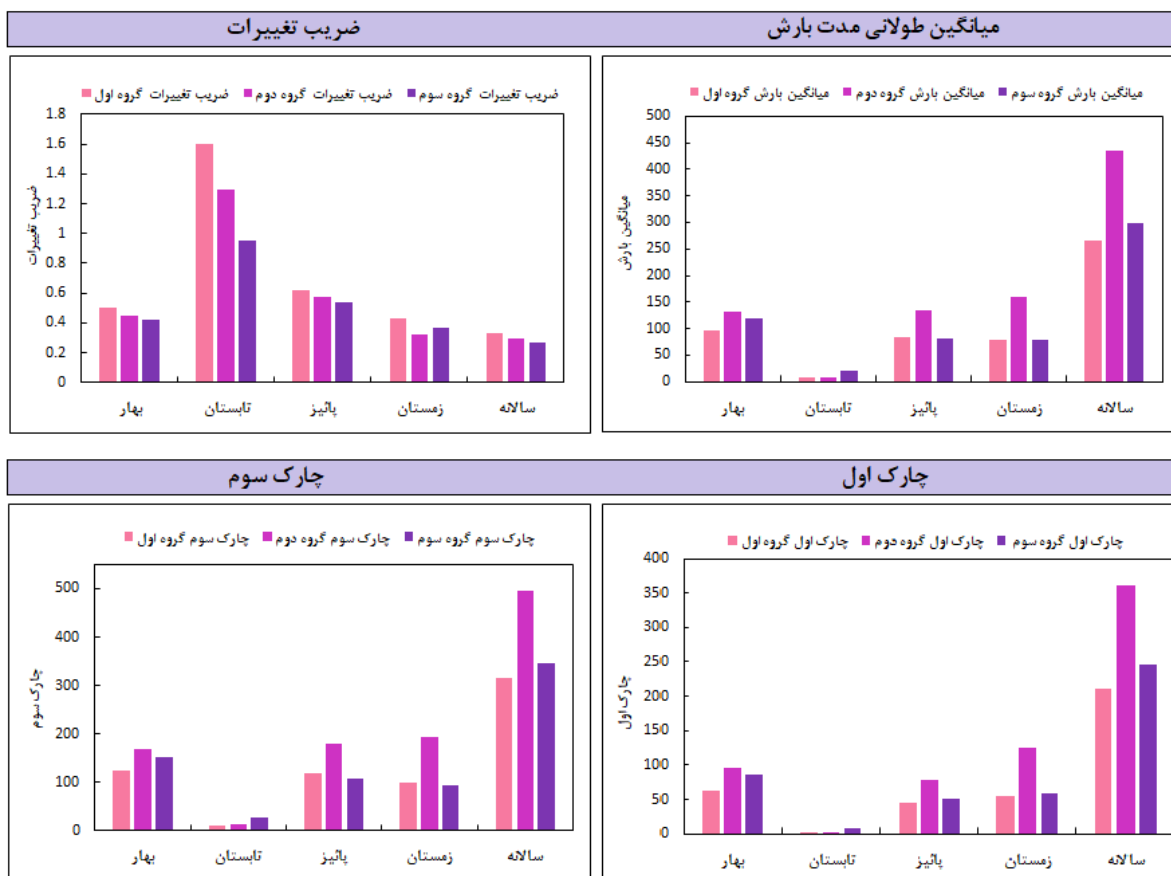




شکل (۷): نتایج حاصل از طبقه‌بندی بارش بر اساس تحلیل خوشه‌ای طی ۱۳۷۰-۱۳۹۴

بعد از آن فصل پائیز بیشترین مقدار را دریافت می‌کند و در فصل تابستان کمترین بارندگی اتفاق می‌افتد. مطابق شکل گروه دوم بالاترین مقادیر بارندگی را دارد. دامنه ضریب تغییرات بارش‌های حوضه دریاچه ارومیه ایران بین  $0/2$  تا  $1/6$  متغیر است. بیشترین مقدار ضریب تغییرات در فصل تابستان محاسبه شده است و از فصل تابستان به سمت فصول سرد از مقدار آن کاسته می‌شود. مقدار ضریب تغییرات در مقطع زمانی سالانه به حداقل خود می‌رسد. میزان بیشتر ضریب تغییرات در گروه اول مشاهده می‌گردد و مقادیر آن به سمت گروه سوم کاهش می‌یابد. با توجه به چارک اول می‌توان گفت، میزان بیشتر این شاخص به گروه دوم و مقدار کمتر آن به گروه اول تعلق دارد. مقدار چارک اول در فصل بهار به بیشترین میزان خود می‌رسد و در فصل تابستان کمترین مقدار چارک اول مشاهده می‌گردد. مقدار این شاخص در مقطع زمانی سالانه در گروه دوم با  $362$  میلیمتر بارندگی بالاترین میزان است. در چارک سوم نیز همچون چارک اول بالاترین مقدار در گروه دوم رخ داده است. مقدار چارک سوم در فصل بهار به اوج خود می‌رسد و در فصل تابستان به شدت نزولی می‌باشد. در بازه سالانه نیز بیشترین مقدار چارک سوم با  $498$  میلیمتر در گروه دوم مشاهده شده است.

مقادیر میانگین بلند مدت بارش، ضریب تغییرات، چارک اول و چارک سوم در بازه‌های زمانی فصلی و سالانه، گروه‌های منتج از خوشه‌بندی بارش حوضه دریاچه ارومیه در شکل ۸، آورده شده است. نتایج حاصل از تحلیل فراسنج‌های آماری نشان داد که بیشترین مقدار بارندگی در سه گروه، در فصول مرطوب روی می‌دهد. حداکثر میانگین بارش‌های فصلی در بهار و سپس زمستان با مقدار بالای  $100$  میلیمتر رخ داده است. معمولاً در فصل بهار که وضعیت جوی ناپایدار بوده و هوا دوره‌ی انتقالی خود را می‌گذراند بارندگی افزایش می‌یابد. در واقع در این فصل در اثر تابش مستقیم خورشید، شرایط جوی ناپایدار، همرفت دامنه‌ای، حضور بادهای غربی و بادهای محلی نسبت به سایر مواقع سال مقدار بارندگی در شمال غرب علی‌الخصوص حوضه دریاچه ارومیه بیشتر خواهد بود. به عبارت دیگر در فصل بهار به علت اینکه زمستان به تازگی خاتمه یافته و زمین هنوز سرد می‌باشد، با ورود توده‌های هوایی گرم و مرطوب در حضور بادهای قوی همراه با مکانیزم‌هایی که به وسیله‌ی توپوگرافی محلی و اقلیم‌شناسی توده‌های هوا متاثر می‌گردند، باعث ناپایداری‌های شدیدی می‌شود و این ناپایداری، زمینه افزایش ریزش‌های جوی را فراهم می‌آورد.



شکل (۸): ویژگی‌های آماری گروه‌های منتج از تحلیل خوشه‌ای طی ۱۳۷۰-۱۳۹۴

### تحلیل ارتباط الگوهای پیوند از دور با آنومالی بارش زمستانی

اتلس- غرب روسیه در ماه‌های سرد سال باعث شار جریان هوای مرطوب از دریای سرخ و شرق دریای مدیترانه به سمت شمال غرب ایران می‌شوند (فلاح و همکاران، ۱۳۹۵). Alijani and Harman (1985) معتقدند رطوبت دریای سیاه و اطلس شمالی در بارندگی‌های دوره سرد سال حوضه دریاچه ارومیه تاثیرگذار هستند. به صورتیکه در فاز منفی نوسان اطلس شمالی، کم‌فشارها به همراه جریانات رطوبتی وارد ایران می‌شوند (محمد خورشیددوست و همکاران، ۱۳۸۶). نوسانات مدیترانه نیز در طی فاز منفی با تقویت مراکز چرخندزایی مدیترانه و انتقال سامانه‌های بارش زا، جریانات رطوبتی را به سمت ایران روانه کرده و سبب وقوع بارش‌های سنگین می‌شود (پژوه، ۱۳۹۶).

بالاترین همبستگی معنادار بارش زمستانه حوضه دریاچه ارومیه با الگوی شرق اطلس غرب-روسیه محاسبه

در بررسی ارتباط بارش‌ها با الگوهای پیوند از دور مشخص شد که به طور کلی سه الگو ارتباط معناداری را با بارش فصل زمستان برقرار می‌نمایند که این سه الگو نوسانات اطلس شمالی، نوسانات مدیترانه و نوسانات شرق اطلس-غرب روسیه هستند. که در ادامه نتایج مربوط به بررسی هریک به صورت نمودار جداگانه ارائه شده است. سه الگوی مذکور از جمله مهمترین الگوهای هستند که در دوره سرد سال با بارش‌های کشور ایران ارتباط خوبی را برقرار می‌نمایند. ارتباط و همبستگی منفی معنادار بین الگوی نوسانات مدیترانه و نوسانات اطلس شمالی (رضایی و قویدل رحیمی، ۱۳۹۵) و ارتباط مثبت معنادار و قوی بین الگوی شرق اطلس- غرب روسیه با بارش‌های دوره سرد سال در ایران (دارند و رحمانی، ۱۳۹۷) در بسیاری از مطالعات تایید شده است. در شرایط مثبت الگوی شرق



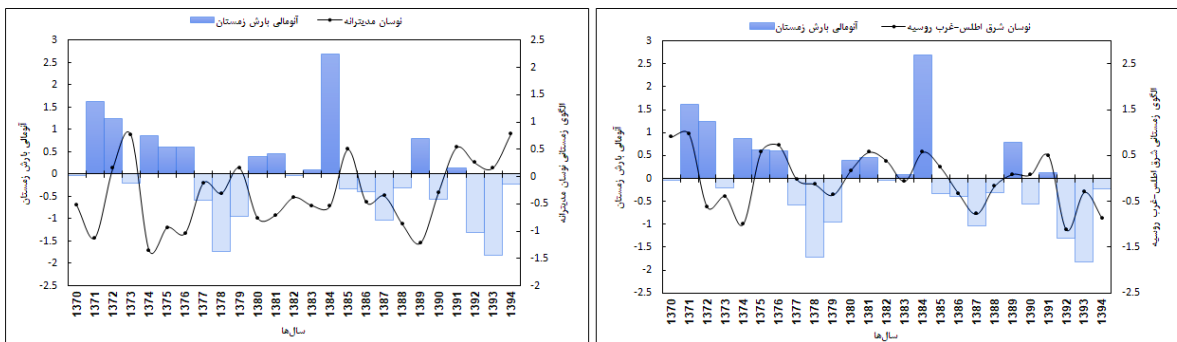
زمستان در شکل ۹ ارائه شده است. مطابق تصویر، ارتباط به صورت معکوس می‌باشد به صورتیکه با افزایش مقدار الگوی نوسانات مدیترانه، مقدار بارش‌های فصل زمستان کاهش می‌یابد و بالعکس. برای مثال روند کاهش الگوی نوسانات مدیترانه در سال‌های ۷۴-۷۶، ۸۰-۸۴ و ۸۸-۸۹ درست همزمان با افزایش بارش زمستانه رخ داده است.

سومین الگوی موثر بر رخداد بارش‌های زمستانه، الگوی نوسانات اطلس شمالی می‌باشد. مقدار ضریب همبستگی بین مجموع بارش‌های فصل زمستان حوضه دریاچه ارومیه با الگوی نوسانات اطلس شمالی ۰/۳۲۰- می‌باشد. مقدار ضریب در سطح ۹۵ درصد به صورت منفی و معکوس معنادار است به طوریکه با کاهش مقدار عددی الگوی نوسانات اطلس شمالی، میزان بارش فصل زمستان افزایش می‌یابد و برعکس. بر اساس شکل ۹ می‌توان گفت در سال‌های ۷۴-۷۶، ۸۴، ۸۹ و ۹۱ که میزان عددی الگوی نوسانات اطلس شمالی کاهش یافته به تناسب آن بر مقدار بارش زمستانه افزوده شده است

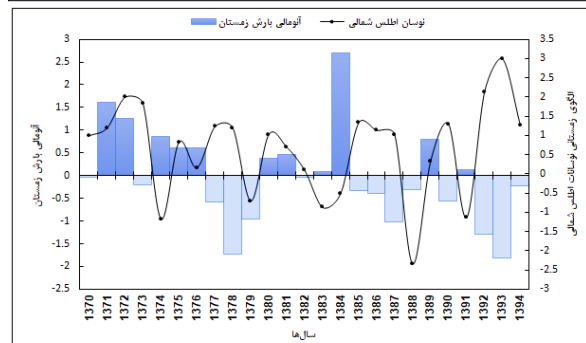
شده است. ارتباط بین مجموع بارش فصل زمستان حوضه دریاچه ارومیه با الگوی شرق اطلس-غرب روسیه با ضریب همبستگی ۰/۴۴۵ در سطح ۹۵ درصد مثبت و معنادار است. این ارتباط به صورت نمودار در شکل ۹ آورده شده است. همانطوریکه در تصویر ملاحظه می‌گردد تغییرات هر دو متغیر با یکدیگر همخوانی دارد و ارتباط مستقیمی را نشان می‌دهد به گونه‌ای که با افزایش مقدار الگوی شرق اطلس-غرب روسیه بر مقدار بارش زمستانی نیز افزوده می‌گردد. نقطه اوج افزایش بارندگی زمستانه در سال ۱۳۸۴ رخ داده است که به تناسب آن نیز مقدار عددی الگوی شرق اطلس-غرب روسیه نیز افزایش شدیدی داشته است.

دومین الگوی پیوند از دور که بعد از الگوی شرق اطلس-غرب روسیه بالاترین ضریب همبستگی را از آن خود نموده، الگوی نوسانات مدیترانه می‌باشد. ضریب همبستگی محاسبه شده بین مجموع بارش فصل زمستان حوضه دریاچه ارومیه با الگوی نوسانات مدیترانه ۰/۴۴۳- می‌باشد که در سطح ۹۵ درصد به صورت منفی معنادار است. ارتباط میان الگوی نوسانات مدیترانه و بارش فصل

ارتباط الگوی شرق اطلس-غرب روسیه با آنومالی بارش‌های فصل زمستان | ارتباط الگوی نوسانات مدیترانه با آنومالی بارش‌های فصل زمستان



ارتباط الگوی نوسانات اطلس شمالی با آنومالی بارش‌های فصل زمستان



شکل (۹): ارتباط الگوهای پیوند از دور با آنومالی بارش زمستانی حوضه دریاچه ارومیه طی ۱۳۷۰-۱۳۹۴



## نتیجه گیری

پژوهش حاضر با هدف تحلیل الگوی زمانی و مکانی بارش حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از داده‌های مجموع فراوانی بارش فصلی و سالانه ۵۹ ایستگاه هواشناسی و داده‌های ۱۱ الگوی پیوند از دور و روش‌های تحلیل مولفه‌های اصلی، تحلیل خوشه‌ای، روش زمین آمار کریجینگ و همبستگی پیرسون انجام گرفت. توزیع فضایی ویژگی‌های آماری در مقطع زمانی فصلی و سالانه نشان داد که ضریب تغییرات در تمامی مقاطع زمانی تقریباً در نواحی شمال شرقی، غرب، جنوب شرقی و بخش کوچکی از گوشه جنوب غربی حوضه دریاچه ارومیه کمترین مقادیر وجود دارد اما مقادیر بیشتر این شاخص آماری در بخش‌های میانی، مرکزی و جنوبی می‌باشد. توزیع فضایی چارک اول مشخص نمود که بیشترین مقادیر در تمامی بازه‌های زمانی در بخش‌های شمالی و نیمه غربی مشاهده می‌گردد که روند افزایشی بسیاری شدیدی در این بخش حاکم است، در سایر نواحی به خصوص در بخش‌های میانی، مرکزی و نیمه شرقی از میزان چارک اول کاسته می‌شود. بیشترین مقادیر چارک سوم در تمامی بازه‌های زمانی در نیمه غربی و بخش‌های جنوبی محاسبه شده است. در سایر نواحی، این ضریب به خصوص در بخش‌های میانی، مرکزی و جنوب شرقی روند کاهشی است.

بر اساس نتایج تحلیل مولفه‌های اصلی مقدار آزمون KMO حدود ۰/۸۳ محاسبه شده است که این امر نشان‌دهنده مناسب بودن متغیرهای انتخابی برای مطالعه بارش حوضه دریاچه ارومیه می‌باشد. همچنین مشخص شد شش مولفه اصلی اول به صورت تجمعی حدود ۹۵ درصد واریانس تبیینی را توجیه می‌نمایند. علاوه بر این معین گردید، متغیرهای چارک اول و سوم بارش‌های فصلی پائیز، زمستان و سالانه به‌عنوان عواملی تاثیرگذار و کلیدی در توصیف الگوی مکانی بارش در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشند. توزیع مکانی مقادیر مولفه‌های اصلی محاسباتی بر مبنای بارهای عاملی مربوط به شش مولفه اول اصلی چرخش یافته مشخص کرد بارش از غرب به شرق حوضه کاهش می‌یابد. چارک اول تا سوم پائیز، زمستان و سالانه

اولین متغیرهای تاثیرگذار، ضریب تغییرات، چارک اول و سوم بارش فصل تابستان دومین متغیر تاثیرگذار، ضریب تغییرات بارش بهاره و سالانه به‌عنوان سومین متغیر تاثیرگذار، ضریب تغییرات بارش زمستانه چهارمین متغیر تاثیرگذار، ضریب تغییرات بارش پائیز پنجمین متغیرهای تاثیرگذار در ناهنجاری الگوهای بارش حوضه دریاچه ارومیه هستند.

نتایج تحلیل خوشه‌ای در تمامی بازه‌های زمانی فصلی و سالانه بیانگر این واقعیت است که سه گروه جداگانه با روند مشابه شامل: ۱- ایستگاه‌های نواحی میانی و تعدادی از ایستگاه‌های جنوبی ۲- ایستگاه‌های غربی و جنوب غربی ۳- ایستگاه‌های نیمه شمالی هستند که میزان فراوانی بارش در گروه دوم بیشترین مقدار می‌باشد. بررسی ویژگی‌های آماری گروه‌های همگن حاصل از تحلیل خوشه‌ای در بازه‌های زمانی فصلی و سالانه، نشان داد که حداکثر میانگین بارش‌های فصلی در بهار و زمستان و حداقل فراوانی نیز در فصل تابستان اتفاق افتاده است. بیشترین مقدار ضریب تغییرات در فصل تابستان در گروه اول مشاهده می‌گردد و مقادیر آن به سمت گروه سوم کاهش می‌یابد. مقدار چارک اول در فصل بهار به بیشترین میزان خود می‌رسد و در فصل تابستان کمترین مقدار چارک اول مشاهده می‌گردد. در چارک سوم نیز همچون چارک اول بالاترین مقدار در گروه دوم در فصل بهار رخ داده است. مقدار چارک سوم در فصل بهار به اوج خود می‌رسد و در فصل تابستان به شدت نزولی می‌باشد. در بازه سالانه نیز بیشترین مقدار چارک سوم در گروه دوم مشاهده شده است.

حداکثر توزیع مکانی بارش به نیمه غربی منته مورد مطالعه تعلق دارد، اما کانون رخداد آن، گوشه جنوب غربی با تمرکز بر ایستگاه سردشت می‌باشد. توزیع مکانی رخداد بارش علاوه بر شرایط توپوگرافی محلی مانند کوهستان‌ها به عنوان عامل صعود و ناپایداری توده‌های هوا، تحت تاثیر نزدیکی به منابع رطوبتی همچون دریاچه ارومیه، دریای خزر، دریای مدیترانه و دریای سیاه، پایین بودن دمای هوا به علت ارتفاع زیاد و بادهای غربی نیز می‌باشد که مجموع این عوامل باعث شده است تا نیمه غربی محل اصلی وقوع بارش باشد.

و حداقل رخدادهای فصل تابستان تایید می‌نماید. علاوه بر این براساس پژوهش‌های مطرح شده نیز استفاده از روش‌های تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی وارد برای منطقه‌بندی بارش با سطح اطمینان قابل قبولی مورد تایید قرار گرفت.

در نهایت لازم به ذکر است مطرح نمود که حوضه دریاچه ارومیه در شمال غرب کشور دارای موقعیت جغرافیایی و اقلیمی و حساسی می‌باشد که وقوع مخاطرات هیدرولوژیکی در این بخش سبب بروز خسارت‌های فراوانی در بخش‌های زیست محیطی و عمرانی می‌گردد. به همین منظور با شناسایی و دانستن مکان و زمان‌های اصلی رخداد‌های هیدرولوژیکی همچون بارش، تنوع الگوی فضایی و شناخت برخی عوامل تاثیرگذار بر تغییرات زمانی و مکانی این پدیده می‌توان برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری دقیق در زمان‌های مناسب انجام داد و با اقدامات به موقع از خسارات ناشی از این خطر طبیعی کاست.

در بررسی ارتباط بارش‌ها با الگوهای پیوند از دور مشخص شد که به طور کلی سه الگو ارتباط معناداری را با بارش فصل زمستان برقرار می‌نمایند که این سه الگو نوسانات اطلس شمالی، نوسانات مدیترانه و نوسانات شرق اطلس-غرب روسیه هستند. سه الگوی مذکور از جمله مهمترین الگوهای هستند که در دوره سرد سال با بارش-های کشور ایران ارتباط خوبی را برقرار می‌نمایند. ارتباط و همبستگی منفی معنادار بین شاخص نوسانات مدیترانه و نوسانات اطلس شمالی، ارتباط مثبت معنادار و قوی بین شاخص شرق اطلس-غرب روسیه با بارش‌های دوره سرد سال در ایران مورد محاسبه قرار گرفت.

نتایج این مطالعه در بخش تحلیل‌های زمانی و مکانی بارش‌های حوضه دریاچه ارومیه با یافته‌های پژوهش‌های انجام گرفته در جهان مانند Fazel et al (2017)، و پژوهش‌های صورت گرفته در ایران توسط دهقان و همکاران (۱۳۹۷)، سبحانی و همکاران (۱۳۹۸)، را با سطح اطمینان بیشتری با حداکثر وقوع بارش‌ها در فصل بهار در نیمه غربی

## قدردانی

این تحقیق با حمایت مالی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه کردستان به شماره قرارداد طرح پژوهشی ۹۶/۱۱/۵۸۸۸ انجام پذیرفته است که در اینجا از این بابت تشکر و قدردانی می‌گردد.

## منابع

- اشرفی، س. ۱۳۸۹. پهنه‌بندی بارش شمال غرب ایران با استفاده از روش‌های تحلیل خوشه‌ای و تحلیل ممیزی. پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، شماره ۳ و ۴، ص ۲۷-۴۲.
- پژوه، ف. ۱۳۹۶. الگوهای پیوند از دور و نقش آن در تغییرات اقلیمی ایران. انتشارات آثار فکر، تهران.
- خسروی، م، دوستکامیان، م، میرموسوی، ح، بیات، ع و ا. بیگی رضایی. ۱۳۹۳. طبقه‌بندی دما و بارش در ایران زمین با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و تحلیل خوشه‌ای. برنامه‌ریزی منطقه‌ای، شماره ۱۳، ص ۱۲۱-۱۳۲.
- حصاری، ب و ک. زینال زاده. ۱۳۹۸. نقش تغییرات آبدی متوسط رودخانه‌های حوضه‌ی آبریز دریاچه ارومیه در افت سطح آب دریاچه. تحقیقات آب و خاک ایران، شماره ۲، ص ۴۳۷-۴۴۷.
- دهقان، ز، اسلامیان، س و ر. مدرس. ۱۳۹۷. استفاده از نگرش تحلیل مولفه‌های اصلی برای وزن‌دهی ویژگی‌های آماری، اقلیمی و جغرافیایی حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته و تحلیل مکانی خوشه‌بندی (مطالعه موردی: حوضه دریاچه ارومیه). علوم آب و خاک، شماره ۴، ص ۴۱-۵۸.
- رسولی، ع ا، روشنی، ر و ار. قاسمی. ۱۳۹۲. تحلیل تغییرات زمانی و مکانی بارش‌های سالانه ایران. تحقیقات جغرافیایی. شماره ۱۰۸، ص ۲۰۵-۲۲۴.

- دارند، م و ه. رحمانی. ۱۳۹۷. واکاوی نقش سیگنال‌های اقلیمی بر بارش استان کردستان. فضای جغرافیایی، شماره ۶۳، ص ۲۴۹-۲۷۲.
- رضیعی، ط. ۱۳۹۶. شناسایی رژیم‌های بارشی ایران با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره. فیزیک زمین و فضا، شماره ۳، ص ۶۷۳-۶۹۵.
- رضایی، م و ی. قویدل رحیمی. ۱۳۹۵. واکاوی اثر الگوهای پیوند از دور نوسان اطلس شمالی و مدیترانه بر تغییرات ابرناکی زمستانه ایران. پژوهش‌های دانش زمین، شماره ۲۵، ص ۱-۱۵.
- رورده، ه. قاسمی، ج. یوسفی، ی و ز. قاسمی. ۱۳۹۸. خوشه‌بندی بارش ایران با استفاده از روش نوین مبتنی بر کاربرد نگاشت SVD و خوشه‌بندی فازی FCM. آمایش جغرافیایی فضا، شماره ۳۱، ص ۱۱۳-۱۲۴.
- سبحانی، ب. عیسی زاده، م و ی. دین پژوه. ۱۳۹۸. تحلیل روند و پهنه‌بندی زمانی-مکانی بارش حوضه دریاچه ارومیه و انتخاب ایستگاه‌های شاخص با روش‌های آماری چند متغیره. تحقیقات آب و خاک ایران، شماره ۷، ص ۱۵۸۱-۱۵۹۳.
- شرکت مهندسی مشاور جاماب. ۱۳۸۴، مطالعات برنامه جامع سازگاری با اقلیم (تعادل بخشی بین منابع و مصارف آب در حوضه‌های آبریز) وضعیت موجود و آینده منابع آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دفتر امور آب، کشاورزی و منابع طبیعی.
- صالح وند، ا. گندم‌کار، ا و ا. فتاحی. ۱۳۹۷. طبقه‌بندی اقلیمی با تاکید بر تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای مطالعه موردی کارون بزرگ. هواشناسی و علوم جو، شماره ۴، ص ۳۲۶-۳۴۲.
- عساکره، ح. ترکرانی، ف و س. اشرفی. ۱۳۹۳. پهنه‌بندی احتمال شرطی حالات بارش به شرط حالات دمایی در ایران زمین. تحقیقات جغرافیایی، شماره ۱۱۳، ص ۷۳-۸۶.
- عیسی زاده، م و ی. دین پژوه. ۱۳۹۷. پهنه‌بندی زمانی-مکانی اقلیم بارش ایران و انتخاب ایستگاه‌های شاخص با روش‌های آماری چند متغیره. دانش آب و خاک، شماره ۳، ص ۱۶۹-۱۸۱.
- فرجی، ع. دوستکامیان، م. قهرمانی، ف. ربیعی، ز و ا. رشید بیگی. ۱۳۹۶. ناحیه‌بندی و تحلیل بارش‌های نواحی مرکزی ایران با استفاده از روش‌های زمین‌آمار. جغرافیا و آمایش شهری-منطقه‌ای، شماره ۲۲، ص ۵۷-۷۰.
- قویدل رحیمی، ی. باغبانان، پ و م. فرج زاده. ۱۳۹۳. تحلیل فضایی مخاطره توفان‌های تندری بهاره ایران. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، شماره ۳، ص ۵۹-۷۰.
- فلاح مقصودی، م. احمدی گیوی، ف. محب‌الحجه، ع و م. ع. نصر اصفهانی. ۱۳۹۵. اثر الگوی دور پیوند شرق اطلس-غرب روسیه بر وردایی کم بسامد وردسپهر در جنوب غرب آسیا. ژئوفیزیک ایران، شماره ۳، ص ۲۵-۳۹.
- کازم پور چورسی، س. عرفانیان، م و ز. عبادی نهاری. ۱۳۹۸. ارزیابی داده‌های ماهواره‌های MODIS و TRMM در پایش خشکسالی حوضه آبریز دریاچه ارومیه. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۲، ص ۱۷-۳۴.
- محمد خورشید دوست، ع و ع. ا. و شیرزاد. ۱۳۹۳. بررسی و تحلیل بارش‌های ناحیه شمال ایران با استفاده از تحلیل خوشه‌ای و تجزیه تابع تشخیص. جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره ۴۹، ص ۱۰۱-۱۱۸.
- محمد خورشید دوست، ع. قویدل رحیمی، ی. صنیعی، ر. ساری، ط و ح. نوری. ۱۳۸۶. تحلیل نقش پدیده‌ی NAO در نوسانات سالانه‌ی حوضه‌ی آبریز دریاچه ارومیه. فضای جغرافیایی، شماره ۱۹، ص ۶۳-۸۶.
- مسعودیان، ا. دارند، م و س. کارساز. ۱۳۹۰. پهنه‌بندی بارش غرب و شمال غرب ایران به روش تحلیل خوشه‌ای. جغرافیای طبیعی، شماره ۱۱، ص ۳۵-۴۴.
- مسعودیان، ا و م. ر. کاویانی. ۱۳۸۷. اقلیم شناسی ایران. چاپ اول، انتشارات دانشگاه اصفهان.

Alijani, B and J.R. Harman. 1985. Synoptic climatology of precipitation in Iran. Annals of the association of American geographers, 75: 404-416.

Arab Amiri, M and M.S. Mesgari. 2016. Spatial variability analysis of precipitation in northwest Iran. Arabian Journal of Geosciences, 9: 84-102.



- Arab Amiri, M and M.S. Mesgari. 2017. Modeling the spatial and temporal variability of precipitation in northwest Iran. *Atmosphere*, 8 (12): 437-449.
- Arab Amiri, M and M.S. Mesgari. 2019. Spatial variability analysis of precipitation and its concentration in Chaharmahal and Bakhtiari province, Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 137: 2905–2914.
- Arellano-Lara, F and C.A. Escalante-Sandoval. 2014. Multivariate delineation of rainfall homogeneous regions for estimating quantiles of maximum daily rainfall: A case study of northwestern Mexico. *Atmosphere*, 27(1): 46-60.
- Darand, D and M.R. Mansouri Daneshvar. 2014. Regionalization of precipitation regimes in Iran using principal component analysis and hierarchical clustering analysis. *Environmental Processes* volume, 1:517–532.
- Dinpashoh, Y., Fakheri-Fard. A., Moghaddam, M., Jahanbakhsh, S and M. Mirnia. 2004. Selection of variables for the purpose of regionalization of Iran's precipitation climate using multivariate methods. *Journal of Hydrology*, 297(1): 109-123.
- Fazel, N., Berndtsson, R., Bertacchi Uvo, C., Madani, K and B. Kløve. 2017. Regionalization of precipitation characteristics in Iran's Lake Urmia basin. *Theoretical and Applied Climatology*, 132: 363–373.
- Irwin, S., Srivastav, R.K., Simonovic, S.P and D.H. Burn. 2017. Delineation of precipitation regions using location and atmospheric variables in two Canadian climate regions: the role of attribute selection. *Hydrological Sciences Journal*, 62 (2): 191-204 .
- Machiwal, D and H.M. Meena. 2019. Clustering of rainfall stations and distinguishing influential factors using PCA and HCA techniques over the western dry region of India. *Meteorological Applications*, 26(2): 300-311.
- Machiwal, D., Dayal, D and S. Kumar. 2017. Long-term rainfall trends and change points in hot and cold arid regions of India. *Hydrological Sciences Journal*, 62(7): 1050–1066.
- Praene, J.P., Malet-Damour, R and M.H. Radanielina. 2019. GIS-based approach to identify climatic zoning: A hierarchical clustering on principal component analysis. *Building and Environmental*, 164, 106330.
- Rahman, A.S and A. Rahman. 2020. Application of principal component analysis and cluster analysis in regional flood frequency analysis: a case study in New South Wales, Australia, *Water*, 12 (3): 1-26.
- Raja, B, and S. Venkata. 2015. Delineation of homogeneous hydrometeorological regions using wavelet-based global fuzzy cluster analysis. *International Journal of Climatology*, 35(15): 4707 – 4727



## Spatiotemporal Analysis of Precipitation and its Relationship with (Teleconnection Patterns (Case study: Urmia Lake basin)

Hadi Sanikhani<sup>1</sup>

### Abstract

Temporal and spatial variations in rainfall play a key role in the balance of water resources. The catchment area of Lake Urmia, as the largest inland lake in Iran, is the destination of the most important rivers in the northwest of the country. Accordingly, in the present study, the temporal and spatial distribution of rainfall in the Lake Urmia basin was investigated. The data used are the total frequency of seasonal and annual precipitation of 59 meteorological stations and data related to 11 teleconnection patterns during 1992-2016 and the main methods, statistical characteristics (first quartile, third quartile, and seasonal and annual Coefficient of variation), principal component analysis, Ward hierarchical cluster analysis, Kriging geostatistical method, and Pearson correlation. In the study of statistical features, it was found that the highest coefficient of variation in summer and the highest numerical value of the first and third quartile in winter were calculated and the highest coefficient of variation in the middle, central and southern parts, more values of the first quartile in the northern and western parts and higher quartile values are observed in the western and southern halves. Based on the results of temporal and spatial analysis, it was determined that the highest amount of precipitation occurs in the spring in the western half. Performing principal component analysis determined that the six main factors explain about 95% of the variance of the data and the most important influential components are the first and third quartile of autumn, winter, and annual. The results of cluster analysis identified three groups in central and southern regions, western and southwestern and northern half. The study of the relationship between winter rainfall and teleconnection patterns showed that this relationship is significant with NAO, EAWR, and MOI patterns.

**Keywords:** Rainfall, Spatiotemporal analysis, teleconnection patterns, Cluster analysis, Principal component analysis

---

<sup>1</sup>Associate Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran, h.sanikhani@uok.ac.ir