

Trend Analysis and Spatio-Temporal Zoning of Urmia Lake Basin Precipitation and Selection of Indicator Stations by Multivariate Statistical Methods

BEHROOZ SOBHANI^{1*}, MOHAMMAD ISAZADEH² AND YAGHOB DINPASHOH³

1. Associate Professor, Dept. of Climatology, Faculty of Humanities, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2. Ph.D. Student, Dept. of Water Science and Engineering, Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Tabriz, Iran.

3. Associate Professor, Dept. of Water Science and Engineering, Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Tabriz, Iran.

(Received: Nov. 4, 2018- Revised: Dec. 7, 2018- Accepted: March. 23, 2019)

ABSTRACT

Lake Urmia, as one of the most important lakes in the country, has an inappropriate environmental condition due to excessive consumption of water and climate change. The study of climate change and rainfall distribution in this area can improve water management in this basin. In this study, the information of 65 weather stations in the period of 1997-2016 were used for precipitation zoning of Urmia lake basin. For this purpose, the data of each month were standardized and arranged in a matrix with dimensions of (n*m) in which n is the number of stations (65) and m is the number of months (12). Principal Component Analysis (PCA) was performed on data matrix and the main components were determined according to their Eigen values greater than one. Then the principal component score (PCS) values were calculated for the selected components. These values were used as inputs in the Ward cluster analysis method. Then, the Procrustes method was used to determine the index stations. The results showed that the first two main components incorporated more than 87% of the all data variances. Based on the selected components, six distinct precipitation regions were identified throughout the basin. Moreover, it was found that four stations located in different points of the Urmia lake basin namely Mehmandar, Sarab, Babaroud and Santeh can be considered as indicator stations. These stations incorporated more than 84% of the all data variances of basin stations. The Mann-Kendall trend test showed that the rainfall in the autumn season has a significant increase trend, while annual precipitation has only a significant increase trend in one of the clusters.

Keywords: Cluster Analysis, Mann-Kendall, Multivariate Methods, Principal Component Analysis, Urmia Lake

تحلیل روند و پهنه‌بندی زمانی-مکانی بارش حوضه دریاچه ارومیه و انتخاب ایستگاه‌های شاخص با روش‌های آماری چند متغیره

بهرروز سبحانی^{۱*}، محمد عیسی‌زاده^۲ و یعقوب دین‌پژوه^۳

۱. دانشیار، گروه آب و هواشناسی، دانشکده انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
 ۲. دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
 ۳. دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
- (تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۱۳ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۹/۱۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱/۳)

چکیده

دریاچه ارومیه به عنوان یکی از مهم‌ترین دریاچه‌های کشور به علت مصرف بیش از حد آب و تغییر اقلیم دارای وضعیت نامناسب زیست‌محیطی شده است. بررسی تغییرات اقلیمی و نحوه توزیع بارش در این منطقه می‌تواند در جهت مدیریت بهتر این حوضه آبریز به کار رود. در این مطالعه، برای پهنه‌بندی نواحی بارش حوضه دریاچه ارومیه از اطلاعات ۶۵ ایستگاه هواشناسی در دوره آماری ۱۳۹۵-۱۳۷۶ استفاده شد. برای این منظور، داده‌های هر ماه استاندارد شده است و در ماتریس با ابعاد $(n \times m)$ که در آن n تعداد ایستگاه‌ها (۶۵) و m تعداد ماه‌ها (۱۲) است، نوشته شدند. تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) روی ماتریس داده‌ها انجام شد و با توجه به معیار دارا بودن مقدار ویژه بالای یک، مؤلفه‌های اصلی انتخاب شدند. آنگاه مقادیر امتیازات مؤلفه‌های اصلی (PCS) برای مؤلفه‌های منتخب محاسبه شد. این مقادیر به‌عنوان ورودی روش تجزیه خوشه‌ای با روش وارد استفاده شدند. سپس جهت تعیین ایستگاه‌های شاخص از روش پروکراستس استفاده شد. نتایج نشان داد که دو مؤلفه اصلی اول، ۸۷ درصد واریانس کل داده‌ها را توجیه می‌کنند. براساس مؤلفه‌های منتخب، در کل حوضه، شش ناحیه بارشی متمایز تشخیص داده شد. همچنین معلوم شد که چهار ایستگاه واقع در نقاط مختلف حوضه آبریز دریاچه ارومیه شامل مهماندار، سراب، بابارود و سننه می‌توانند به‌عنوان ایستگاه‌های شاخص در نظر گرفته شوند. این ایستگاه‌ها بیش از ۸۴٪ واریانس کل داده‌های ایستگاه‌های حوضه را در بر داشتند. آزمون روند من-کندال نشان داد که بارش در فصل پاییز دارای روند افزایشی معنی‌دار می‌باشد، درحالی‌که بارش سالانه فقط در یکی از خوشه‌ها دارای روند افزایشی معنی‌دار می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه خوشه‌ای، دریاچه ارومیه، روش‌های چند متغیره، من-کندال

مقدمه

هستند که این امر می‌تواند در تصمیم‌گیری‌ها و سیاست‌گذاری‌های کلان حوضه نقش مهمی ایفا کند. مسئله دوم که یکی از مسائل مهم و ضروری در مدیریت و برنامه‌ریزی شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی است، تعیین ایستگاه‌های شاخص می‌باشد. این ایستگاه‌ها دربرگیرنده بخش زیادی از اطلاعات ایستگاه‌های منطقه مورد بررسی می‌باشند. ایستگاه‌های شاخص می‌توانند محل استقرار تجهیزات دیده‌بانی پیشرفته‌ای باشند که به دلیل بالا بودن هزینه آن‌ها، تهیه و نصب این تجهیزات در همه ایستگاه‌های حوضه مقدور نمی‌باشد. در صورتی که موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های شاخص به‌درستی انتخاب نگردد، مواردی مانند وجود اتلاف وقت و انرژی، از دست رفتن اطلاعات مورد نیاز، هدر رفت سرمایه‌گذاری‌های کلان مورد انتظار خواهد بود. در این مطالعه از روش پیشنهادی (Krzanowski (1987) به

دریاچه ارومیه با وسعت بیش از ۵۰۰۰ کیلومتر مربع یکی از مهم‌ترین دریاچه‌های کشور می‌باشد. اثرات مثبت و منفی کاهش و افزایش تراز آب این دریاچه، بر اقلیم، اکولوژی، هیدرولوژی و محیط زیست مناطق پیرامون آن بسیار جدی و شدید می‌باشد. در چند دهه گذشته به علت افزایش سطح زیرکشت، احداث بی-روبه سدها، تغییر اقلیم و غیره سطح آب این دریاچه به شدت کاهش یافته است. یکی از گام‌های مؤثر جهت احیا و مدیریت بهتر دریاچه ارومیه و حوضه آبریز آن، بررسی و تحلیل بارش و ایستگاه‌های باران‌سنجی این حوضه آبریز بسته می‌باشد. دو مسئله مهم و اساسی در بررسی بارش و همچنین مدیریت اقتصادی و فنی ایستگاه‌های هم‌دید حوضه آبریز دریاچه ارومیه مطرح می‌باشد. مسئله اول تعیین مناطقی است که از لحاظ بارش همگن

انجام شد. سپس براساس روش خوشه‌بندی وارد و به ازای مؤلفه‌های اصلی اول و دوم چرخش یافته، خوشه‌بندی صورت گرفت. در نهایت، صربستان به سه ناحیه همگن بارشی تفکیک گردید. (Khalili et al. (2014) به تحلیل روند بارش طی دو دهه (۱۹۹۰-۲۰۱۰) در ۱۴۰ ایستگاه سینوپتیک با استفاده از دو روش من-کندال و اسپیرمن پرداختند. بررسی‌ها نشان داد که بین نتایج دو روش تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. نتایج روند بارش من-کندال نشان داد که در ایستگاه کبوترآباد و اردستان در استان اصفهان هیچ روند مشخصی وجود نداشته است، ولی در ایستگاه-های ایزه، بم و زابل روند کاهشی در دو سطح ۱ و ۵ درصد وجود داشته است. (Othman et al. (2015) جهت شناسایی الگوی بارش روزانه، از داده‌های بارش ۸۹ ایستگاه در کشور مالزی و روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده کردند. شش مؤلفه اول با ۵۳/۴۳ درصد واریانس کل، توسط روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی انتخاب گردیدند. نتایج نشان داد که مؤلفه‌های اول و دوم، مناطق شمال شرقی و جنوب غربی را که تحت تأثیر بادهای موسمی هستند را شامل می‌گردند.

(Fallahi et al. (2012) به ازای داده‌های ۶۰ ایستگاه هواشناسی، پهنه‌بندی بارش‌های روزانه شمال غرب ایران را با استفاده از روش‌های K-means، وارد و PCA انجام داده‌اند. روش-های ذکر شده منطقه مورد مطالعه را به ترتیب به دو، دو و نه منطقه همگن تقسیم کرده‌اند. نتایج نشان داد که روش PCA به دلیل اینکه فضای داده‌ها را روی محورهای اصلی تصویر می‌کند، در نتیجه خوشه‌های حاصل از آن واقعی‌تر از خوشه‌های حاصل از سایر روش‌ها می‌باشد. اما از نظر گسترش اطلاعات خوشه‌بندی بر مبنای همگنی، روش‌های خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی بر سایر روش‌ها ارجحیت دارند. (Fathian and Morid (2012) روند بارش حوضه دریاچه ارومیه را با استفاده از روش من-کندال مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که بارش‌های سالانه و ماهانه رفتارهای متفاوتی داشته‌اند، به طوری که در ۸ درصد از ایستگاه‌ها روند افزایشی و ۱۴ درصد از ایستگاه‌ها روند کاهشی ملاحظه گردیده است.

(Mirabassi and Dinpashoh (2013) روند بارش ایستگاه-های شمال غرب ایران را در نیم‌قرن گذشته با استفاده از سه ویرایش مختلف روش من-کندال مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان داد که بارش سالانه ایستگاه‌های شمال غرب کشور در اکثر موارد دارای روند کاهشی می‌باشند. در مقیاس ماهانه نیز تعداد ماه‌های با روند منفی بیشتر از تعداد ماه‌های با روند مثبت می‌باشند. لازم به ذکر است طبق این تحقیق ایستگاه‌های حوضه

نام روش تجزیه پروکراستس^۱ (PA) استفاده شده است. این روش از بین متغیرهای ورودی، آن مجموعه‌ای را انتخاب می‌کند که بیشترین اطلاعات کل مجموعه داده‌ها را دارا باشد. تاکنون تحقیقات کمی در زمینه کاربرد این روش در هیدرولوژی صورت گرفته است. در ادامه به برخی از این مطالعات اشاره می‌گردد.

(Dinpashoh et al. (2004) جهت پهنه‌بندی اقلیم بارش کشور ایران از ۵۷ متغیر مرتبط با بارش به دست آمده از ۷۷ ایستگاه هواشناسی استفاده کرده‌اند. سپس با استفاده از روش PA تعداد ۱۲ متغیر مهم را از بین همه متغیرها انتخاب کردند. آنگاه با اعمال روش‌های PCA و تجزیه خوشه‌ای وارد، هفت گروه مشابه اقلیم بارش را در ایران تشخیص دادند. نتایج آزمون همگنی نشان داد که شش ناحیه کاملاً همگن و یک ناحیه غیر همگن می‌باشد. (Nam et al. (2015) آنالیز فراوانی منطقه‌ای حداکثر بارش سالانه را با استفاده از داده‌های ۶۷ ایستگاه هواشناسی در کشور کره-جنوبی انجام دادند. ایشان با استفاده از روش پروکراستس از کل ۴۲ متغیر در نظر گرفته شده، تعداد ۳۳ متغیر را به‌عنوان متغیرهای مهم انتخاب کردند. سپس از این متغیرهای منتخب و روش‌های خوشه‌بندی وارد و فازی- C-means برای تقسیم ایستگاه‌ها استفاده کردند که این روش‌ها پنج ناحیه همگن را برای بارش کره‌جنوبی مشخص نمود.

در دهه‌های اخیر تکنیک‌های تحلیل چند متغیره در زمینه تشخیص مناطق همگن بارش بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است. (Jackson (1972) از تحلیل لینکیج^۲، (Barring (1988) از تجزیه فاکتور^۳ (FA) و (Kulkarni et al. (1992) از تابع‌های تجربی متعامد استفاده کرده‌اند. (Wallis et Zhang and Hall (2004) (Satyanarayana, Venkatesh and Jose (2007) and Srinivas (2008) از تکنیک‌های تحلیل خوشه‌ای استفاده کرده‌اند. (Nam et al. (2008) با استفاده از تحلیل خوشه‌ای، PA و FA مناطق همگن بارش در جنوب کره را تعیین کرده‌اند. (Satyanarayana and Srinivas (2011) روش خوشه‌بندی فازی را جهت شناسایی مناطق همگن بارش در هند مورد استفاده قرار داده‌اند. (Chen and Hong و Garcia-Marin et al. (2011) (2012) با استفاده از روش PCA مناطق همگن را تشخیص داده‌اند. مطالعات مختلفی در این زمینه صورت گرفته است که در ادامه به بخشی از مهم‌ترین آن‌ها اشاره می‌گردد.

(Gocic and Trajkovic (2014) الگوهای مکانی-زمانی بارش صربستان را با استفاده از داده‌های بارش ماهانه ۲۹ ایستگاه همدید مورد ارزیابی قرار دادند. در این تحقیق، تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) با چرخش واریامکس^۴ بر روی هفت متغیر بارش

دریاچه ارومیه (تبریز و ارومیه) در اکثر موارد دارای روند کاهشی بارش می‌باشند.

(Nadi and Khalili (2013) با استفاده از داده‌های درازمدت ۸۱ ایستگاه همدید، ۹۸ متغیر ترکیبی را محاسبه کرده‌اند. سپس بارش حذف پسر ۳۹ متغیر جهت تحلیل انتخاب گردید که این مجموعه نیز با روش تحلیل عاملی به شش متغیر کاهش یافت. در نهایت، گروه‌بندی امتیازات عاملی با الگوریتم خوشه‌بندی سلسله مراتبی وارد انجام شد و شش ناحیه اقلیم بارش در گستره کشور ایران نتیجه گردید. (Ahmadi et al. (2015) روند بارش‌های ماهانه، فصلی و سالانه ایستگاه‌های شمال کشور را مورد بررسی قرار دادند. نتایج روند سالانه نشان داد که ۴۴ درصد ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی معنی‌دار، ۳۴ درصد ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی غیر معنی‌دار و ۲۲ درصد ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی غیر معنی‌دار هستند. در مقیاس ماهانه نیز تعداد ماه‌های با روند کاهشی، ۱/۳ برابر تعداد ماه‌های با روند افزایشی هستند.

(Fazel et al. (2015) با استفاده از داده‌های بارش روزانه ۵۰ ایستگاه باران‌سنجی، کلاس‌بندی بارش روزانه حوضه دریاچه ارومیه را انجام دادند. در این تحقیق روش‌های تجزیه مؤلفه‌های اصلی و چرخش واریانس برای کاهش تعداد ورودی‌ها و روش خوشه‌بندی وارد برای پهنه‌بندی بارش بکار گرفته شده است. نتایج نشان داد که سه مؤلفه اصلی اول ۸۹ درصد واریانس کل داده‌ها را شامل می‌شوند. در نهایت ایستگاه‌های باران‌سنجی حوضه دریاچه ارومیه در سه کلاس مجزا قرار گرفتند. (Nazeri Tahroudi et al. (2017) روند بارش حوضه دریاچه ارومیه در دوره آماری ۱۳۹۲-۱۳۶۳ را با استفاده از داده‌های ۴۲ ایستگاه باران‌سنجی و روش من-کندال بررسی کرده‌اند. روند کاهشی بیشتر مربوط به ایستگاه‌های غربی و جنوب غربی بوده و روند افزایشی نیز بیشتر مربوط به مناطق جنوبی و شمال شرقی دریاچه می‌باشد. همچنین روند افزایشی در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور و بهمن بیشتر دیده می‌شود.

(Ghaderpour et al. (2017) روند مکانی بارش ۳۷ ایستگاه باران‌سنجی در دوره آماری ۱۳۸۸-۱۳۵۹ را با استفاده از آزمون من-کندال مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که عموماً ایستگاه‌ها در مقیاس فصلی و سالانه دارای روند معنی‌دار نمی‌باشند. همچنین ایشان نشان دادند که در بیشتر ایستگاه‌ها بارش فصل‌های تابستان و زمستان دارای روند مثبت بوده و بارش فصل‌های بهار و پاییز در بیشتر ایستگاه‌ها دارای روند منفی بوده است. (Nazeri Tahroudi et al. (2016) تحلیل روند تغییرات ایستگاهی و منطقه‌ای بارش نیم‌قرن اخیر کشور ایران را با استفاده از داده‌های ۳۱ ایستگاه سینوپتیک انجام دادند. جهت

بررسی روند در مقیاس منطقه‌ای، از روش خوشه‌بندی فازی استفاده گردیده که طی آن ایستگاه‌های کشور به پنج خوشه اصلی تقسیم شده است. آماره کندال منطقه‌ای، بیشترین روند کاهشی بارش را در مناطق شمال غرب کشور تشخیص داده است.

تحقیقات دیگری نیز در بعضی استان‌های ایران با روش خوشه‌بندی وارد صورت گرفته است که از آن میان می‌توان به مطالعات (Khorshiddoust and Masoudian et al. (2011) (Shirzad (2014)، (Arvin et al. (2012)، (Jahanbakhsh Asl et al. (2015) و (Pansera et al. (2013) اشاره نمود.

همان‌طور که ذکر شد، تحقیقات گذشته صرفاً به بحث روند بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی پرداخته‌اند و یا خوشه‌بندی ایستگاه‌ها را مورد بررسی قرار داده‌اند. با توجه به تصادفی و منطقه‌ای بودن بارش، بررسی روند بارش هر ایستگاه به طور جداگانه باعث ایجاد عدم یکپارچگی مکانی در افزایش یا کاهش بارش در هر یک از مناطق واقع در حوضه می‌شود. درحالی‌که بررسی روند بارش هر خوشه (میانگین بارش خوشه) باعث ایجاد یک دید جامع و کلی درباره وضعیت بارش حوضه می‌شود که در این تحقیق صورت پذیرفته است. درواقع در این روش روند بارش ایستگاه‌هایی که در یک خوشه قرار گرفته‌اند مشابه می‌باشد، در صورتی که در حالت بررسی روند بارش ایستگاه‌ها به طور جداگانه ایستگاه‌های هر خوشه می‌توانند دارای روند مثبت یا منفی باشند. لازم به ذکر است که تاکنون مقاله‌ای در کشور بر روی تعیین ایستگاه‌های شاخص انجام نگردیده است. لذا در این تحقیق برای اولین بار در کشور با استفاده از روش پروکراستس ایستگاه‌های شاخص تعیین شده‌اند. بنابراین در تحقیق حاضر با استفاده از بارش‌های ماهانه ایستگاه‌های همدید و به ازای ترکیب روش‌های تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) و تجزیه پروکراستس (PA) با روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی وارد، سه هدف اصلی زیر دنبال شده است. هدف اول، تعیین مؤلفه‌های اصلی میانگین بارش ماهانه و سپس خوشه‌بندی ایستگاه‌ها با روش وارد می‌باشد. این مرحله ایستگاه‌های با اقلیم بارش مشابه در حوضه آبریز دریاچه ارومیه را مشخص کرده و در خوشه‌های متمایز قرار می‌دهد. هدف دوم، تعیین ایستگاه‌های شاخص (ایستگاه‌های حاوی حداکثر اطلاعات اقلیم بارش) با استفاده از روش PA است. هدف سوم، تعیین روند بارش متوسط هر یک از خوشه‌های هم اقلیم بارش در حوضه دریاچه ارومیه است.

مواد و روش‌ها

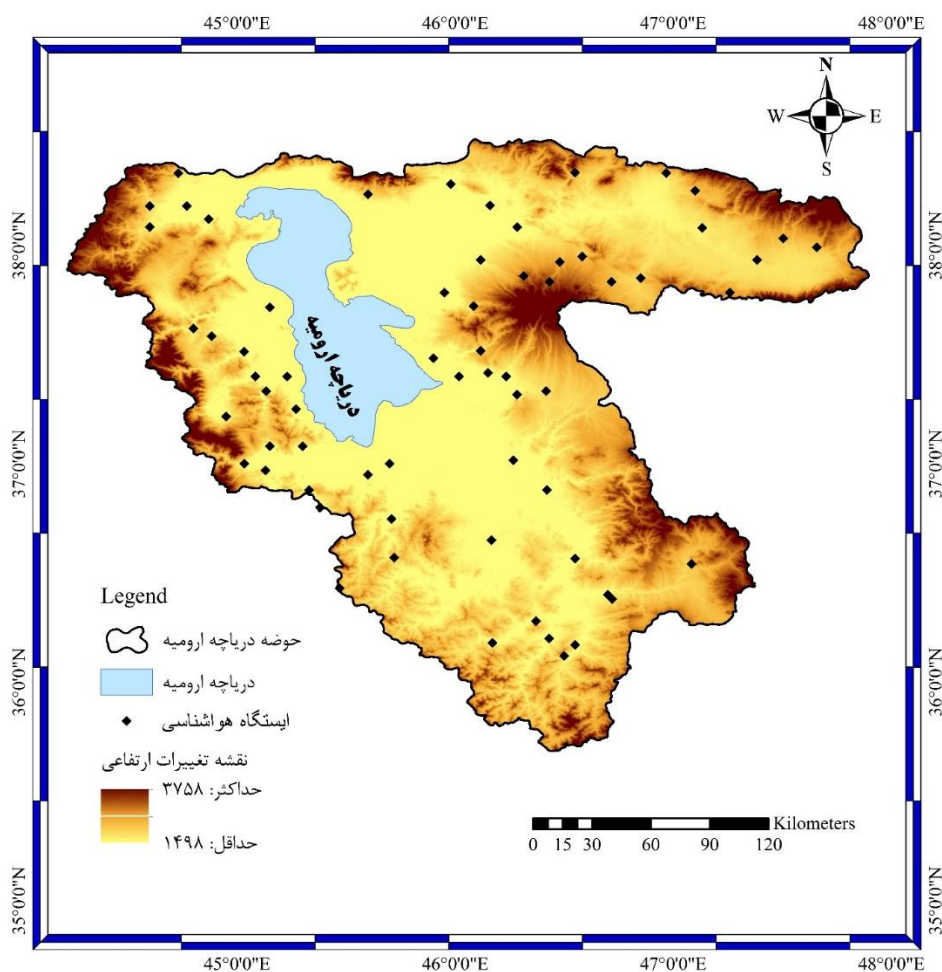
منطقه و داده‌های مورد استفاده

دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران بیستمین دریاچه جهان از لحاظ وسعت محسوب می‌شود. وسعت حوضه آبریز این دریاچه

مجموعه دیگری از رودخانه‌های بخش غربی دریاچه ارومیه (Mahsifar et al., 2011).

در شکل (۱) موقعیت حوضه و ایستگاه باران‌سنجی واقع در آن نشان داده شده است. در این تحقیق به منظور تعیین خوشه‌های همگن و روند بارش در حوضه دریاچه ارومیه از داده‌های ۶۵ ایستگاه سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران‌سنجی (اخذ شده از سازمان هواشناسی و وزارت نیرو) با دوره آماری ۱۹/۵ ساله (فروردین ۱۳۷۶ تا شهریور ۱۳۹۵) استفاده شده است.

۵۲۳۵۵ کیلومترمربع است که از این مقدار حدود ۵۸۲۲ کیلومترمربع وسعت خود دریاچه می‌باشد که مستقیماً با ارتفاع آب دریاچه رابطه داشته و با افزایش یا کاهش آن تغییر پیدا می‌کند. تراز کف دریاچه از سطح آزاد دریاها ۱۲۶۸ متر است. متوسط درجه حرارت سالیانه آن ۱۱ درجه سانتی‌گراد و میانگین سالانه بارندگی در این منطقه بین ۱۸۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر متغیر است. رودخانه‌های عمده حوضه عبارتند از نالوچای، باراندوچای، آجی‌چای، زرینه‌رود، سیمینه‌رود، مهاباد چای و زولاچای و



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد استفاده

زیادی از تغییرات کل داده‌ها باشند و ثانیاً تغییرات مؤلفه اول بیشتر از دوم، مؤلفه دوم بیشتر از سوم و ... باشد. محاسبه مقادیر مؤلفه‌های اصلی (PCS) یا به عبارت دیگر امتیاز مؤلفه‌های اصلی برای هر متغیر مستلزم پیدا کردن مقادیر ویژه و بردارهای ویژه ماتریس پخشیدگی می‌باشد (Johnson and Hanson, 1995).

روش تجزیه پروکراستس (PA)

اگر بخواهیم سیمای کلی یک سری از داده‌های چند متغیره را با یکی از روش‌های کاهش ابعاد داده‌ها، مانند PCA نشان دهیم

روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)

روش PCA شاید قدیمی‌ترین روش چند متغیره باشد که اولین بار در سال ۱۹۰۱ توسط پیرسون و بعداً در سال ۱۹۳۳ توسط هتلینگ معرفی شد (Jolliffe, 1986). ایده اصلی PCA کاهش ابعاد داده‌هایی است که همبستگی نسبی بالایی (از نظر قدر مطلق) با همدیگر دارند. کاهش ابعاد داده‌ها به کمک تبدیل این داده‌ها به متغیرهای جدید (PCها یا مؤلفه‌های مستقل از هم) آن‌چنان صورت می‌گیرد که اولاً چند مؤلفه اول دربرگیرنده بخش

نتایج تجزیه پروکراستس محاسبه اختلاف بین مجموعه مربعات دو آرایش تقریبی و واقعی می‌باشد که از رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$M^2 = \text{Trace}\{Y Y' + Z Z' - 2 Z Q' Y'\} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن، Q از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Q = V U' \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن، ماتریس U و V از عملیات تجزیه مقدار منفرد^۳ ماتریس $Z Y'$ به ابعاد $k \times k$ حاصل می‌شود که شکل ریاضی آن چنین است:

$$Z Y' = U \Sigma V' \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن روابط $V V' = V' V = I_k$ ، $U U' = I_k$ و $\Sigma = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k)$ برقرار می‌باشند. Ik ماتریس همانی به ابعاد $k \times k$ است.

برای هر یک از زیر مجموعه‌های مربوط به مجموعه مرجع متغیرها که حداقل q عضو داشتند، کمیت M^2 تعیین شد. بهترین زیر مجموعه مرجع متغیرها چنان انتخاب گردید که کمترین مقدار کمیت M^2 متعلق به آن زیر مجموعه بود (Krzanowski, 1987). کلیه محاسبات مربوط به روش‌های PA و PCA براساس کدنویسی در محیط برنامه‌نویسی متلب انجام گرفته است.

روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی وارد

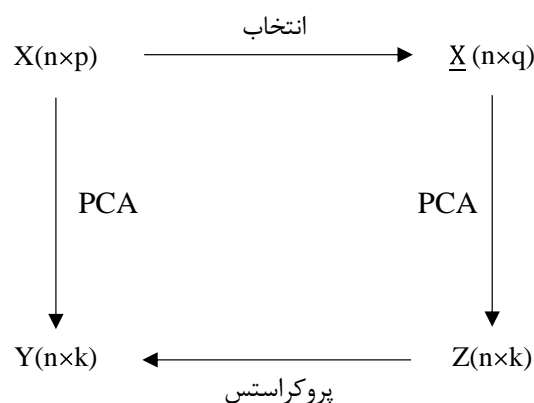
تجزیه خوشه‌ای با روش حداقل واریانس وارد، یکی از انواع روش‌های تجزیه خوشه‌ای سلسله مراتبی است که در هر مرحله از الحاق خوشه‌ها به یکدیگر، امکان جابجایی فرد (ایستگاه) از یک خوشه به خوشه دیگر وجود ندارد. هدف مشترک همه روش‌های تجزیه خوشه‌ای این است که شباهت افراد (ایستگاه‌ها) در داخل خوشه بیشینه، ولی در بین گروه‌ها کمینه شود. در هر گام از اعمال روش وارد برای خوشه‌بندی، هدف کمینه‌کردن میانگین مربعات انحراف افراد (ایستگاه‌ها) از میانگین گروه در درون یک خوشه معین به‌عنوان شاخص تشابه می‌باشد. در درون یک خوشه، W (شاخص تشابه) به‌عنوان تابع هدف می‌باشد که از رابطه (۴) محاسبه می‌گردد (Kalkstein et al., 1987):

$$W = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^{N_k} (X_{ijk} - X_{.jk})^2 \quad (\text{رابطه ۴})$$

در فرمول ۴، X_{ijk} مقدار متغیر زام در فرد iam از خوشه kام، N_k تعداد افراد (ایستگاه‌ها) در خوشه kام، J تعداد کل متغیرهای مورد بررسی و K تعداد کل خوشه‌ها می‌باشد. $X_{.jk}$ میانگین ایستگاه‌ها (به تعداد N_k) برای متغیر زام از خوشه kام است.

لازم است تعداد مؤلفه‌های غالب (k) مشخص شده و سری مقادیر PCS منتخب در مورد این مؤلفه‌ها محاسبه شوند. مقادیر مؤلفه‌ها ترکیب خطی از همه متغیرها (به تعداد p) می‌باشند. اگر p زیاد باشد، تعداد ضرایب نیز زیاد خواهد بود. بنابراین، نام‌گذاری و تفسیر مؤلفه‌ها با مشکل روبه‌رو می‌گردد. یکی از راه‌های حل این مشکل، انتخاب تعداد معقولی متغیر (به تعداد q) از بین همه متغیرها (p) می‌باشد، به طوری که اطلاعات همه متغیرهای کاندیدا (به‌طور تقریبی) در بطن متغیرهای انتخاب شده موجود باشد.

در این مطالعه، از روش پیشنهادی (Krzanowski (1987) استفاده شد. برای این کار لازم است تعداد عناصر زیر مجموعه منتخب نسبت به مجموعه مرجع خیلی کم باشد ($q \ll p$) و ثانیاً تعداد این عناصر برابر یا بیشتر از تعداد مؤلفه‌های اصلی منتخب باشد ($q \geq k$). در این روش، انتخاب متغیرها براساس روش بهینه‌سازی با کمینه‌کردن تابع هدف که با " M^2 " نمایش داده می‌شود، انجام می‌گیرد. شکل (۲) مراحل کلی تجزیه پروکراستس را نشان می‌دهد.



شکل ۲. چرخه انتخاب متغیرها با روش پروکراستس (Dinpashoh, 2003)

در این شکل، X ماتریس کل داده‌های استاندارد شده و \bar{X} ماتریس داده‌های استاندارد شده پس از حذف متغیرها (به صورت مرحله‌ای) می‌باشند. ماتریس Y که بر اساس همه متغیرهای کاندیدا محاسبه می‌شود را اصطلاحاً آرایش واقعی^۱ و ماتریس Z که مبتنی بر متغیرهای منتخب می‌باشد را به عنوان آرایش تقریبی^۲ داده‌ها می‌نامند. تجزیه پروکراستس اختلاف مجموع مربعات نقاط متناظر این دو آرایش را ارزیابی می‌کند. هرچه متغیرهای منتخب دقیق‌تر انتخاب شوند، این دو آرایش مشابه هم بوده و تفاوت بین آرایش تقریبی و واقعی کمتر خواهد بود. حاصل

ضرایب خودهمبستگی مرتبه k یا r_k ($k=1, 2, \dots, n/25$) محاسبه می‌شود و معنی‌داری آن در سطح ۱۰ درصد بررسی می‌گردد. در صورتی که هیچ‌یک از ضرایب ضریب همبستگی معنی‌دار نشوند، روند من-کندال مرسوم (MK1) و در صورت معنی‌داری ضرایب همبستگی اثر آن‌ها از سری زمانی داده‌ها با محاسبه واریانس اصلاح شده حذف می‌شود. (Hamed and Rao 1998) روش MK3 را بسیار دقیق‌تر از روش MK1 ارزیابی کرده‌اند.

نتایج و بحث

تعیین مؤلفه‌های اصلی متوسط بارش ماهانه

به طوری که قبلاً اشاره شد تعیین مؤلفه‌های اصلی با استفاده از روش PCA صورت پذیرفته است. براساس داده‌های میانگین بارش هر ماه در کل دوره آماری و کلیه ایستگاه‌های هواشناسی، ماتریس ورودی برای روش PCA ایجاد گردید. ابعاد این ماتریس ($n \times m$) بود که در آن $m=12$ ستون (به تعداد ماه‌های سال) و $n=65$ ردیف (به تعداد ایستگاه‌های هواشناسی منتخب) می‌باشند. پس از انجام PCA نمودار صخره‌ای رسم شد. در این مطالعه، تعدادی از مؤلفه‌های اصلی اول که مقدار ویژه آن‌ها بیش از واحد بود به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی در نظر گرفته شدند. شکل (۳) واریانس مربوط به هر یک از دوازده مؤلفه اصلی، به همراه درصد واریانس تجمعی آن‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل دو مؤلفه اصلی اول ($k=2$) با مقدار ویژه بزرگ‌تر از یک، بیش از ۸۷ درصد کل واریانس داده‌ها را تأمین می‌کنند. بنابراین، از مقادیر PCS این دو مؤلفه اصلی در روش خوشه‌بندی وارد استفاده شد.

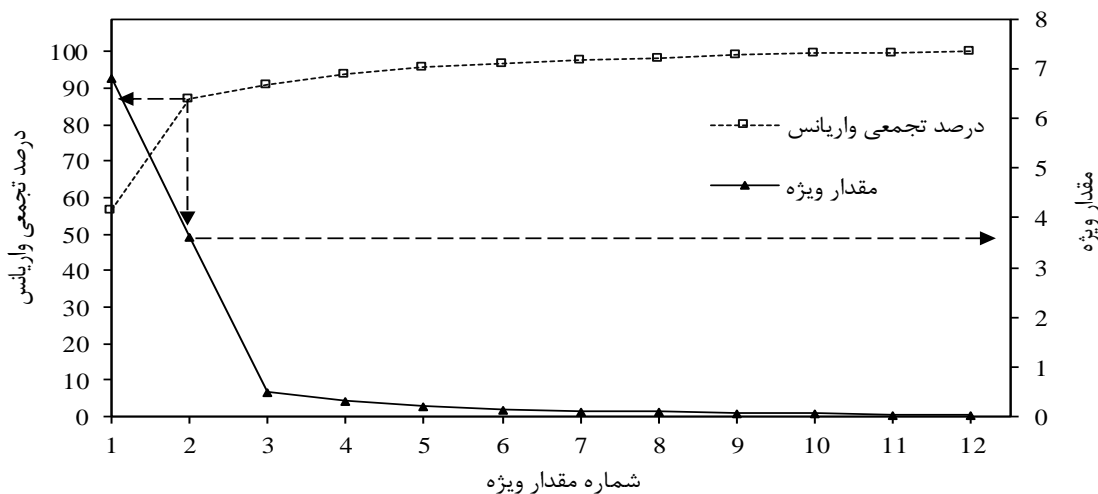
با فرض ملحق شدن خوشه ۱ به خوشه ۲ در روش وارد، تغییر در مقدار W فقط وابسته به رابطه بین دو خوشه ملحق شده می‌باشد و به رابطه بین دیگر خوشه‌ها بستگی ندارد. با استفاده از رابطه (۴) برای دو خوشه (N_1 و N_2 مشاهده) مقدار ΔW از رابطه (۵) محاسبه می‌گردد.

$$\Delta W = W' - W = N_1 \sum_{j=1}^l (X_{.j.} - X_{.j1})^2 + N_2 \sum_{j=1}^l (X_{.j.} - X_{.j2})^2$$

در رابطه (۵)، $W=W$ قبل از الحاق و $W'=W$ بعد از الحاق می‌باشد. روش وارد، خوشه‌های با کمترین مقدار ΔW را به یکدیگر ملحق می‌کند، که شامل مربعات فاصله بین مرکز جدید ($X_{.j.}$) و دو مرکز اولیه ($X_{.j1}$ و $X_{.j2}$) می‌باشد که با تعداد مشاهدات (N_1 و N_2) وزن‌دار شده است. در این تحقیق از نرم‌افزار SPSS22 برای خوشه‌بندی وارد استفاده شده است.

آزمون من-کندال نوع سه (MK3)

محاسبه روند با روش MK1 در صورتی صحیح است که سری زمانی داده‌ها دارای همبستگی معنی‌داری نباشند. لذا در صورت وجود همبستگی معنی‌دار بایستی از روش‌های دیگر همچون MK3 استفاده نمود. در صورت حذف نکردن اثر همبستگی، میزان آماره Z بیشتر یا کمتر از واقعیت به دست می‌آید (Kumar *et al.*, 2009; Hamed and Rao, 1998) این روش اولین بار توسط Hamed and Rao (1998) ارائه گردیده و سپس توسط Kumar *et al.* (2009) تشریح شده است. در این آزمون تأثیر



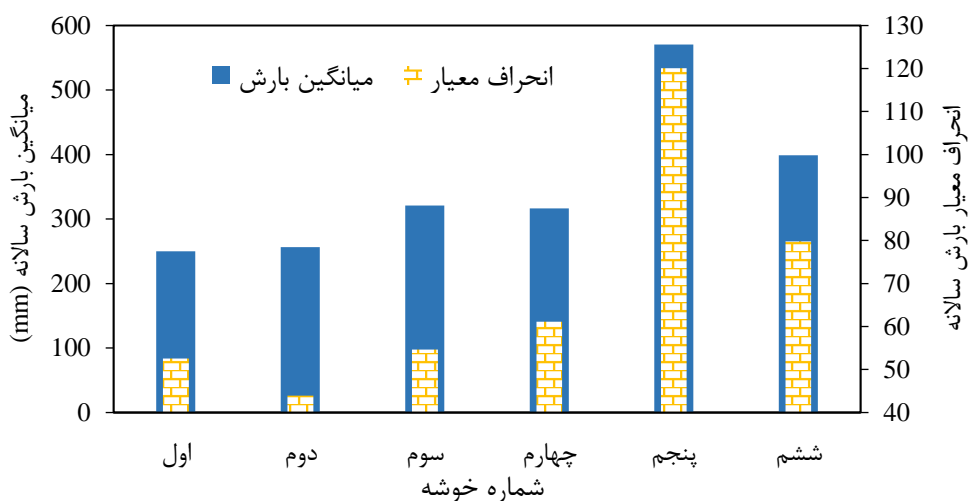
شکل ۳. نمودار صخره‌ای حاصل از PCA (بخش اول مطالعه)

پس از تعیین مؤلفه‌های اصلی، خوشه‌بندی ایستگاه‌های شدند (شکل ۷). خوشه اول شامل ۱۱ ایستگاه است که مناطق

بین خوشه‌های برابر با ۳، ایستگاه‌ها به شش خوشه متمایز تقسیم همدید با استفاده از روش وارد انجام شد. با در نظر گرفتن فاصله

می‌باشند. نزدیک‌ترین ایستگاه‌های جنوبی، غربی و شرقی دریاچه خوشه چهارم را ایجاد کرده‌اند. دو ایستگاه ژارآباد و گاگش‌آباد که در نقاط مرتفع غرب و جنوب غربی حوضه واقع هستند به تنهایی خوشه پنجم را تشکیل داده‌اند. خوشه ششم نیز بیشتر مربوط به ایستگاه‌های جنوبی و جنوب غربی دریاچه می‌باشد. ایستگاه‌هایی که در یک خوشه قرار گرفته‌اند، اقلیم مشابهی در میانگین بارش ماهانه دارند. جهت مقایسه خوشه‌ها، میانگین بارش سالانه هر یک از خوشه‌ها و همچنین انحراف معیار آن‌ها محاسبه گردید (شکل ۴).

کوهپایه‌ای شمال شرق و بخشی از شمال غرب حوضه آبریز دریاچه ارومیه را شامل می‌شوند. خوشه دوم شامل ۷ ایستگاه هریس، ليقوان، ميرکوه حاجی، قوشچی، دريان، چهریق‌علیا و نظرآباد می‌باشد که در مناطق مرتفع شمال شرقی و غربی دریاچه واقع هستند. خوشه سوم با ۱۹ ایستگاه بزرگ‌ترین مجموعه ایستگاه‌های هم‌اقلیم را تشکیل داده است. ایستگاه‌های واقع در این خوشه مربوط به مناطق شرقی و غربی نزدیک به دریاچه و همچنین بخش‌هایی از مناطق جنوبی با ارتفاع نسبی متوسط



شکل ۴. مقادیر میانگین و انحراف معیار بارش‌های سالانه خوشه‌های شش‌گانه

و $q=4$ جهت تعیین ایستگاه‌های شاخص استفاده شده است. با اعمال PA بر روی ماتریس ورودی، مقادیر مربوط به $MinM^2$ به ازای حذف ستون داده‌ها در هر مرحله از محاسبات تعیین گردید (شکل ۶).

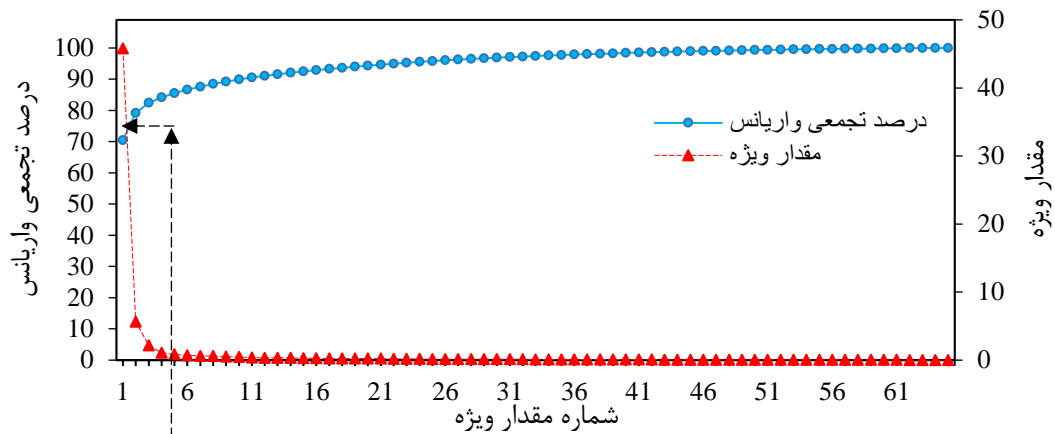
پس از حذف هر یک از ایستگاه‌های غیر مهم در هر یک از ۶۱ مرحله آزمون پروکراستس، چهار ایستگاه همدید مهم‌اندار، سراب، بابارود و سنته به‌عنوان ایستگاه‌های شاخص حوضه آبریز دریاچه ارومیه تعیین شدند. شکل (۷) خوشه‌های ایجاد شده با استفاده از روش PCA-وارد به همراه ایستگاه‌های شاخص به دست آمده از روش PA را نشان می‌دهد.

آزمون من-کندال

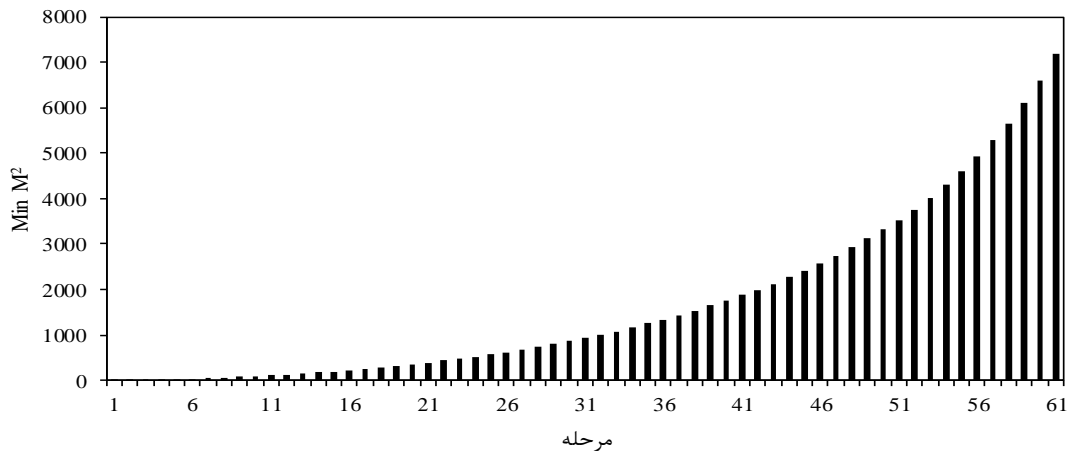
میانگین بارش ماهانه، فصلی و سالانه هر یک از خوشه‌های شش-گانه در هر یک از سال‌های آماری موجود به دست آمده است. سپس با استفاده از آزمون من-کندال نوع سه، روند بارش در هر یک از ماه‌های فروردین تا اسفند، فصل‌های بهار، پاییز، تابستان و زمستان و همچنین بارش متوسط سالانه هر خوشه محاسبه شد. نتایج حاصل از آزمون من-کندال نوع سه بر روی بارش خوشه‌های شش‌گانه در جدول (۱) نشان داده شده است.

حداقل اختلاف میانگین بارش‌های سالانه بین خوشه‌های سوم و چهارم و برابر با ۵ میلی‌متر می‌باشد و همچنین بیشترین اختلاف مربوط به خوشه‌های اول و پنجم می‌باشد که برابر ۳۲۱ میلی‌متر است. خوشه‌ها از لحاظ انحراف معیار نیز تفاوت نسبتاً قابل توجهی با یکدیگر داشته‌اند. مقادیر انحراف معیار بارش‌های سالانه خوشه‌ها بین ۴۴ و ۱۲۰ می‌باشد که به ترتیب مربوط به خوشه‌های دوم و پنجم می‌باشد. همان‌طور که مشخص است، دو علت اصلی تفکیک خوشه‌ها از یکدیگر، اختلاف میانگین بارش و انحراف معیار بارش هر یک از خوشه‌ها هستند.

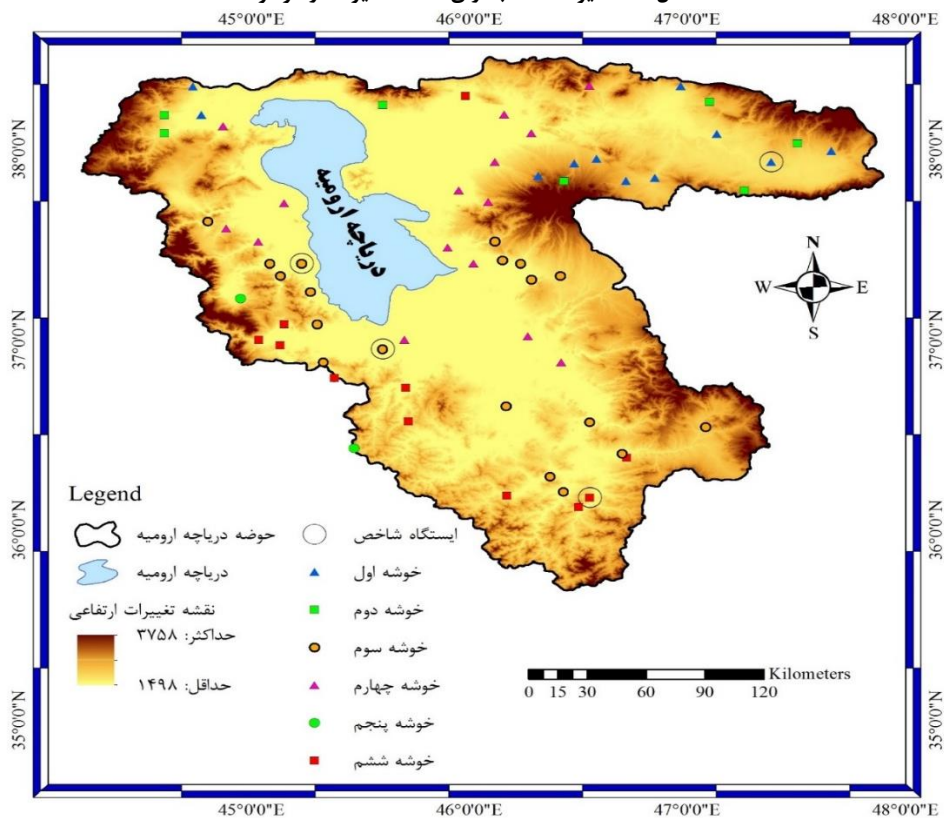
به‌طوری که قبلاً اشاره شد بخش دوم این مطالعه مربوط به تعیین ایستگاه‌های شاخص است. جهت دستیابی به این ایستگاه‌ها از روش PA استفاده شده است. ابعاد ماتریس ورودی (n^*m') است که در آن ستون‌ها شامل ایستگاه‌های هواشناسی $(m'=65)$ و ردیف‌ها شامل سری زمانی بارش ماهانه $(n'=234)$ می‌باشد. پس از اعمال روش PCA بر روی این ماتریس، مقدار واریانس و درصد واریانس تجمعی به دست آمد که در شکل (۵) نشان داده شده است. با توجه به این شکل، مؤلفه‌های یک تا چهار به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی انتخاب گردیدند. سپس روش PA به ازای $p=4$



شکل ۵. نمودار صخره‌ای حاصل از PCA (بخش دوم مطالعه)



شکل ۶. مقادیر $MinM^2$ به ازای حذف متغیرها در هر مرحله



شکل ۷. خوشه‌های یک تا شش به دست آمده از روش PCA-وارد و ایستگاه‌های شاخص حاصل از روش PCA-پروکراستس در حوضه دریاچه ارومیه

جدول ۱. نتایج آزمون من-کندال مربوط به بارش متوسط خوشه‌های هفتگانه حوضه دریاچه ارومیه

خوشه ۱	خوشه ۲	خوشه ۳	خوشه ۴	خوشه ۵	خوشه ۶	
۰/۲۹۲-	۰/۰۳۲	۰/۲۲۷	۰/۲۹۲-	۰/۳۲۴	۰/۲۲۷-	فروردین
۰/۲۲۷-	۰/۴۲۲	۰/۶۱۶-	۰/۰۰۰	۱/۰۷۱	۰/۱۶۲-	اردیبهشت
۱/۳۳۰	۱/۱۳۶	۰/۴۸۷	۱/۰۳۸	*۱/۶۵۵	۰/۱۳۰	خرداد
۰/۹۳۵	۰/۲۲۷	۰/۲۲۷-	۰/۱۳۰-	۰/۴۵۴-	۱/۱۶۸-	تیر
۰/۴۸۷	۱/۳۶۳-	**۲/۱۷۴-	۰/۹۰۸-	۰/۱۹۵	*۱/۶۸۷-	مرداد
***۲/۷۵۸	۱/۳۴۰	۱/۲۹۲	*۱/۸۷۹	۱/۶۲۲	۱/۴۷۱	شهریور
۰/۷۰۰	۱/۰۱۵	۱/۲۵۹	۰/۹۱۰	۱/۳۲۹	۰/۰۰۰	مهر
۰/۵۶۰	۱/۲۵۹	۱/۶۰۹	۰/۹۱۰	۱/۰۵۰	۰/۹۸۰	آبان
۰/۲۶۴	۰/۴۳۱	۰/۵۶۰	۰/۴۲۱	۱/۱۲۰	۰/۴۷۱	آذر
*۱/۶۷۹-	۰/۹۱۰-	۱/۶۰۹-	۱/۲۵۹-	۰/۸۴۰-	۱/۵۳۹-	دی
۰/۲۱۰	۰/۷۰۰	۰/۳۵۰	۰/۰۰۰	۰/۱۴۰	۱/۰۵۰-	بهمن
۰/۴۹۰	۱/۱۲۰	۱/۵۳۹	۰/۷۷۰	۱/۰۱۵	۰/۸۴۰	اسفند
۰/۰۰۰	۰/۴۹۰	۰/۳۵۰-	۰/۱۴۰-	۰/۹۸۰	۰/۲۱۰-	بهار
۱/۳۲۹	۰/۷۷۰	۰/۳۵۰	۰/۲۸۰	۰/۲۴۵	۰/۰۰۰	تابستان
۱/۳۹۹	***۲/۶۵۹	***۲/۷۲۹	**۲/۱۶۹	*۱/۹۲۴	*۱/۷۴۹	پاییز
۰/۹۴۵-	۰/۷۷۰	۰/۱۷۵	۰/۹۸۰-	۰/۴۲۰	*۱/۶۷۹-	زمستان
۰/۸۳۰	۱/۵۳۱	۱/۰۵۰	۰/۸۲۴	*۱/۸۸۹	۰/۰۷۰	سالانه

توجه: علامت‌های *، ** و *** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ده، پنج و یک درصد می‌باشند.

با توجه به جدول بالا، روند افزایشی بارش متوسط در خوشه اول مربوط به ماه شهریور (در سطح یک درصد) است. روند من-کندال در این خوشه روند کاهشی معنی‌دار در سطح ده درصد را در ماه دی نشان داده است. بارش پاییز در خوشه دوم دارای روند افزایشی در سطح یک درصد می‌باشد. این خوشه در بارش‌های متوسط ماهانه روند معنی‌داری ندارد. خوشه سوم در ماه مرداد دارای روند کاهشی معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشد. نتایج نشان داد که خوشه سوم در فصل پاییز دارای روند افزایشی بارش در سطح معنی‌داری یک درصد می‌باشد و در سایر موارد روند معنی‌داری در این خوشه مشاهده نگردیده است. خوشه چهارم در ماه شهریور و فصل پاییز به ترتیب دارای روند افزایشی معنی‌دار در سطح ده و پنج درصد می‌باشد. در خوشه پنجم، روند افزایشی بارش مربوط به ماه خرداد و فصل پاییز می‌باشد. روند افزایشی معنی‌دار بارش سالانه تنها در خوشه پنجم اتفاق افتاده است. روند افزایشی و معنی‌دار بارش در خوشه ششم مربوط به فصل پاییز (در سطح ده درصد) است. این خوشه در ماه مرداد و فصل زمستان دارای روند منفی معنی‌دار در سطح ده درصد می‌باشد. همان‌طور که در جدول نشان داده است، در بین چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان، تنها بارش متوسط فصل پاییز روند معنی‌دار صعودی داشته است. بارش سالانه خوشه‌ها نیز به طور متوسط روند افزایشی را نشان می‌دهند که معنی‌دار نیستند. در واقع نتایج

نشان داده است که در ۲۰ سال گذشته روند کاهشی در بارش سالانه وجود ندارد، در صورتی که بارش سالانه ۳۰ سال یا بیشتر می‌تواند دارای روند کاهشی باشد. بنابراین مدیریت منابع آبی حوضه دریاچه ارومیه، ناپیوستی روند بارش را به طور پیوسته کاهشی در نظر گرفت، بلکه همان‌طور که در نتایج نشان داده شد، بارش سالانه ۲۰ سال گذشته در هیچ‌یک از خوشه‌ها روند کاهشی وجود نداشته است.

Fathian et al. (2016) روند بارش سالانه حوضه دریاچه ارومیه را با استفاده از روش من-کندال نوع سه به دست آورده‌اند. در این تحقیق نشان داده شده است که بارش سالانه اکثر ایستگاه‌های حوضه دارای روند معنی‌دار مثبت یا منفی نمی‌باشند. در این تحقیق نیز بارش متوسط سالانه پنج خوشه یک، دو، سه، چهار و شش که شامل ۶۳ ایستگاه هستند، روند بارش معنی‌دار نداشته‌اند. لازم به ذکر است که بررسی روند بارش در خوشه‌ها، باعث ایجاد تعادل نسبی و حذف روندهای مثبت یا منفی برخی ایستگاه‌های داخل خوشه می‌شود. Fazel et al. (2015) بارش روزانه حوضه دریاچه ارومیه را به سه خوشه تقسیم کرده است. البته با ترکیب خوشه‌های این تحقیق می‌توان تا حدودی خوشه‌های اول و دوم تحقیق Fazel et al. (2015) را به دست آورد. اما اختلاف موجود در دو تحقیق به علت تفاوت در نوع و تعداد ورودی (متوسط ماهانه و روزانه) و همچنین افزودن روش واریماکس

آبریز دریاچه ارومیه خوشه‌بندی گردیدند. نتایج نشان داد که با در نظر گرفتن فاصله اقلیدسی برابر با سه، این حوضه دارای شش خوشه اصلی می‌باشد.

نتایج نشان داد که چهار مؤلفه اصلی اول، بیش از هشتاد و چهار درصد اطلاعات کل داده‌ها را در خود جای داده‌اند. بنابراین، با استفاده از روش پروکراستس نیز چهار ایستگاه شاخص تعیین گردید. ایستگاه‌های همدید شاخص شامل مهماندار، سراب، ببارود و سنته می‌باشند. ایستگاه‌های شاخص می‌توانند محل نصب تجهیزات گران قیمتی که استفاده از آن‌ها در کلیه ایستگاه‌ها مقدور نیست، باشند. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان روش PA را به عنوان یکی از روش‌های مناسب جهت شناسایی متغیرهای مؤثر در کاهش حجم داده‌های ورودی، همراه با حداکثر اطلاعات موجود در کل داده‌ها معرفی نمود. در نهایت روند بارش متوسط هر یک از خوشه در هر دوازده ماه، چهار فصل و سالانه با استفاده از روش من-کندال نوع سه محاسبه گردید. نتایج نشان داد که بارش فصل پاییز در این خوشه‌ها دارای روند افزایشی معنی‌دار می‌باشد. البته بارش سالانه حوضه دریاچه ارومیه در ۲۰ سال گذشته دارای روند مثبت، ولی غیر معنی‌دار می‌باشد.

سپاس‌گزاری

از کلیه عوامل دانشگاه محقق اردبیلی که از این پژوهش "تحلیل روند بارش و پهنه‌بندی مکانی-زمانی اقلیم بارش حوضه دریاچه ارومیه و تعیین ایستگاه‌های شاخص با استفاده از ترکیب روش‌های PCA و PA با روش تحلیل خوشه‌ای" به عنوان طرح تحقیقاتی حمایت نموده‌اند، کمال قدردانی و تشکر را داریم.

REFERENCES

Ahmadi, F., Radmanesh, F. and Mirabbasi Najaf Abadi, R. (2015). Trend Analysis of Precipitation in Northern Half of Iran during the Recent Half of the Century. *Water and Soil Science Journal*, 25(3), 211-225. (In Farsi)

Arvin, A.A., Mofidi Khaje, A.M. and Mazini, F. (2012). Selecting Place and Time Patterns in Golestan Province Rainfall by Clustering Analysis. *Geographical planning of space quarterly journal*, 2(6), 117-132. (In Farsi)

Bärring, L. (1988). Regionalization of daily rainfall in Kenya by means of common factor analysis. *Journal of climatology*, 8(4), 371-389.

Chen, L. H. and Hong, Y. T. (2012). Regional Taiwan rainfall frequency analysis using principal component analysis, self-organizing maps and L-moments. *Hydrology Research*, 43(3), 275-285.

Dinpashoh, Y. (2003). *Analysis of meteorological droughts using pattern analysis*. Ph. D. dissertation, University of Tabriz, Tabriz. (In Farsi)

می‌باشد. لازم به ذکر است که نتایج تحقیق (Fazel et al. (2015) به علت قرار دادن مناطق کوهستانی (با بارش زیاد) در کنار مناطق پست کنار دریاچه (با بارش کم) در هر سه خوشه به دست آمده، از دقت کمتری نسبت به تحقیق حاضر برخوردار می‌باشد. (Nazeri Tahroudi et al. (2017) حوضه دریاچه ارومیه را منفی ارزیابی کرده‌اند. علت اختلاف میان نتایج (Nazeri Tahroudi et al. (2017) با تحقیق حاضر در سال‌های آماری مورد استفاده می‌باشد. شروع داده‌های مورد استفاده (Nazeri Tahroudi et al. (2017) از دهه پر باران شصت شروع و پس از طی دوره‌های خشکی شدید ۱۳۷۷-۱۳۷۹ و ۱۳۸۸-۱۳۸۶ (Isazadeh et al., 2016) تا سال ۱۳۹۲ ادامه می‌یابد، در حالی که داده‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر از اواسط دهه هفتاد (شروع خشکی هواشناسی) شروع و تا سال ۱۳۹۵ ادامه می‌یابد. (Ghaderpour et al. (2015) نشان دادند که در حالت کلی روند بارش‌های سالانه و فصلی ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه معنی‌دار نمی‌باشد. این موضوع با نتایج حاصل از تحقیق حاضر (به جز فصل پاییز) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق، از داده‌های بارش ماهانه ۶۵ ایستگاه همدید جهت خوشه‌بندی استفاده شده است. در گام اول، با استفاده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، دو مؤلفه اصلی اول با داشتن ۸۷ درصد کل واریانس داده‌ها (به‌عنوان معیارهای اصلی خوشه‌بندی) در نظر گرفته شدند. سپس با استفاده از روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی وارد و دو مؤلفه اصلی اول ذکر شده، ایستگاه‌های همدید حوضه

Dinpashoh, Y., Fakheri-Fard, A., Moghaddam, M., Jahanbakhsh, S. and Mirnia, M. (2004). Selection of variables for the purpose of regionalization of Iran's precipitation climate using multivariate methods. *Journal of Hydrology*, 297(1): 109-123.

Fallahi, B., Fakheri Fard, A., Dinpajoo, Y. and Darbandi, S. (2012). Regionalization of Northwest Iran Based on Daily Rainfalls and Rain's Time Intervals Using PCA, Ward and K-mean Methods. *Journal of Water and Soil*, 26(4), 979-989. (In Farsi)

Fathian, F. and Morid, S., (2012). Trend Analysis of Meteorological and Hydrological Variables in Urmia Lake Basin by use of Non-Parametric Methods. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 3(43), 259-269. (In Farsi)

Fathian, F., Dehghan, Z., Bazrkar, M. H. and Eslamian, S. (2016). Trends in hydrological and climatic variables affected by four variations of the Mann-Kendall approach in Urmia Lake basin. *Iran. Hydrological Sciences Journal*, 61(5), 892-

- 904.
- Fazel, N., Berndtsson, R., Uvo, C. B., Kløve, B. and Madani, K. (2015). Regionalization and Spatial Analysis of Precipitation of the Urmia Lake Basin, Iran. *In World Environmental and Water Resources Congress*, 1101-1107.
- García-Marín, A. P., Ayuso-Muñoz, J. L., Taguas-Ruiz, E. V. and Estevez, J. (2011). Regional analysis of the annual maximum daily rainfall in the province of Malaga (southern Spain) using the principal component analysis. *Water and Environment Journal*, 25(4), 522-531.
- Ghaderpour, M., Abghari, H. and Tabari, H. (2017). Assessment of regional precipitation trend in the Lake Urmia basin. *Physical Geography Research*, 48(4), 627-643. (In Farsi)
- Gocic, M. and Trajkovic, S. (2014). Spatio-temporal patterns of precipitation in Serbia. *Theoretical and Applied Climatology*, 117(3-4), 419-431.
- Hamed, K.H. and Rao, A.R. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*, 204(1-4), 182-196.
- Isazadeh, M., Kaki, M. and Fakherifard, A. (2016). Analysis of Rainfall Trend and Evaluation of Weather Droughts of Iran Using the Herbst Method. *Water and Soil Science*, 26(3), 127-143. (In Farsi)
- Jackson, I. J. (1972). The spatial correlation of fluctuations in rainfall over Tanzania: a preliminary analysis. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B*, 20(2), 167-178.
- Jahanbakhsh Asl, S., Abtahi, V., Ghorbani, M.A., Tadayoni, M. and Valayi, A. (2015). Temporal and Spatial Distribution of Rainfall in Tabriz County Using Hierarchical Cluster Analysis. *Journal of geographic space*. 15(50), 59-81. (In Farsi)
- Johnson, G.L. and Hanson, C.L. (1995). Topographic and atmospheric influences on precipitation variability over a mountainous watershed. *Journal of Applied Meteorology*, 34(1), 68-87.
- Jolliffe, I.T. (1986). *Principal Component Analysis*. Springer-Verlag.
- Kalkstein, L.S., Tan, G. and Skindlov, J.A. (1987). An evaluation of three clustering procedures for use in synoptic climatological classification. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 26(6), 717-730.
- Khalili, K., Nazeri Tahroudi, M. and Khanmohammadi, N. (2014). Trend Analysis of Precipitation in Recent two Decades over Iran. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 4(1), 5-10.
- Khorshiddoust, A.M. and Shirzad, A.A. (2014). The Study of Precipitation in North of Iran Using Cluster and Discriminative Function Analyses. *Journal of geography and planning*, 18(49), 110-118. (In Farsi)
- Krzanowski, W.J. (1987). Selection of variables to preserve multivariate data structure, using principal components. *Applied Statistics*, 36(1), 22-33.
- Kulkarni, A., Kripalani, R. H. and Singh, S. V. (1992). Classification of summer monsoon rainfall patterns over India. *International Journal of Climatology*, 12(3), 269-280.
- Kumar, S., Merwade, V., Kam, J. and Thurner, K. (2009). Streamflow trends in Indiana: effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. *Journal of Hydrology*, 374(1-2), 171-183.
- Mahsifar, H., Maknoon, R. and Saghafian, B. (2011). The Impact of Climate Change on Urmia Lake Water Level. *Journal of Iran-Water Resources Research*, 7(1), 47-58. (In Farsi)
- Masoudian, A., Darand, M. and Karsaz, S. (2011). Rainfall zoning of west and northwest of Iran by cluster analysis. *Journal of Physical Geography*, 4(11), 35-44. (In Farsi)
- Mirabassi, R. and Dinpashoh, Y. (2013). Trend Analysis of Precipitation of NW of Iran Over the Past Half of the Century. *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 35(4), 59-73. (In Farsi)
- Nadi, M. and Khalili, A. (2013). Classification of Iran's precipitation climate using factor-cluster analysis method. *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 44(3), 235-242. (In Farsi)
- Nazeri Tahroudi, M., Khalili, K. and Ahmadi, F. (2016). Spatial and Regional Analysis of Precipitation Trend over Iran in the Last Half of Century. *Journal of Water and Soil*, 30(2), 643-654. (In Farsi)
- Nazeri Tahroudi, M., Ahmadi, F. and Khalili, K. (2017). Evaluation the Trend and Trend Chang Point of Urmia Lake Basin Precipitation. *Journal of Water and Soil*, 31(2), 644-659. (In Farsi)
- Nam, W., Shin, H., Jung, Y., Joo, K. and Heo, J.H. (2015). Delineation of the climatic rainfall regions of South Korea based on a multivariate analysis and regional rainfall frequency analyses. *International Journal of Climatology*, 35(5), 777-793.
- Nam, W. S., Kim, T. S., Shin, J. Y. and Heo, J. H. (2008). Regional rainfall frequency analysis by multivariate techniques. *Journal of Korea Water Resources Association*, 41(5), 517-525.
- Othman, M., Ash'aari, Z.H. and Mohamad, N.D. (2015). Long-term daily rainfall pattern recognition: Application of principal component analysis. *Procedia Environmental Sciences*, 30, 127-132.
- Pansera, W. A., Gomes, B. M., Boas, A. V. and Mello, E. L. (2013). Clustering rainfall stations aiming regional frequency analysis. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 11(2), 877-885.
- Satyanarayana, P. and Srinivas, V. V. (2011). Regionalization of precipitation in data sparse areas using large scale atmospheric variables—A fuzzy clustering approach. *Journal of Hydrology*, 405(3-4), 462-473.
- Satyanarayana, P. and Srinivas, V. V. (2008). Regional frequency analysis of precipitation using large-scale atmospheric variables. *Journal of*

Geophysical Research: Atmospheres, 113(D24).
Venkatesh, B. and Jose, M. K. (2007). Identification of homogeneous rainfall regimes in parts of Western Ghats region of Karnataka. *Journal of Earth System Science*, 116(4), 321-329.
Wallis, J. R., Schaefer, M. G., Barker, B. L. and Taylor, G. H. (2007). Regional precipitation-frequency

analysis and spatial mapping for 24-hour and 2-hour durations for Washington State. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 11(1), 415-442.
Zhang, J. and Hall, M. J. (2004). Regional flood frequency analysis for the Gan-Ming River basin in China. *Journal of hydrology*, 296(1-4), 98-117.