

## Rainfall Trend Analysis of Mazandaran Province Using Regional Mann-Kendall Test

F. Farsadnia<sup>۱</sup>, M. Rostami Kamrod<sup>۱</sup>  
and A. Moghadam Nia<sup>۲\*</sup>

### Abstract

Changes in the rainfall trends can be a sign of the global climate change. The study on the hydroclimate trends can be conducted at both station and regional scales. Fewer studies have however paid attention to this subject at the regional scale. In this study, existence of a trend in both mean annual rainfall amounts and maximum ۲۴-hour rainfall amounts over a ۳۰-year period for ۳۵ raingauge stations located in Mazandaran Province, northern Iran, is investigated with nonparametric Mann-Kendall test at both local and regional scales. The Trend Free Pre-Whitening approach (TFPW) was used to remove the effects of serial correlation in the time series on Mann-Kendall test. Removal of auto correlation in the time series is also performed by the same approach. The results of the regional Mann-Kendall test showed that if Mazandaran Province is considered as a unit region, no trend in the time series of maximum ۲۴-hour rainfall is observed in ۵% significance level. But if Mazandaran Province is divided into hydrologic regions using Fuzzy cluster analysis, it is observed that a significant trend exists in the western part of the province at ۵% significance level. The investigation of the mean annual rainfall time series indicates an upward trend at ۱% significance level for the whole province.

**Keywords:** Climate change, Regional trend analysis, Non-parametric test, Serial correlation, Fuzzy cluster analysis.

## تحلیل روند بارندگی در استان مازندران با استفاده از روش من-کندال منطقه‌ای

فرهاد فرسادنیا<sup>۱</sup>، محسن رستمی کامرود<sup>۱</sup>  
و علیرضا مقدم‌نیا<sup>۲\*</sup>

### چکیده

تغییرات در روند بارندگی می‌تواند نشانه‌ای از تغییر اقلیم جهانی باشد. هر چند بررسی وجود روند در داده‌های آب-اقلیمی می‌تواند در دو مقیاس نقطه‌ای و منطقه‌ای صورت گیرد، اما مطالعات کمتری به این موضوع در مقیاس منطقه‌ای توجه نموده است. در این مطالعه چگونگی روند تغییرات در مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته و میانگین بارندگی سالانه در یک دوره آماری ۳۰ ساله در ۳۵ ایستگاه باران‌سنجی در استان مازندران با استفاده از آزمون غیر پارامتری من-کندال در دو مقیاس منطقه‌ای و نقطه‌ای بررسی شده است. روش TFPW برای رفع اثرات همبستگی متوالی بر آزمون من-کندال، و همچنین اثر خود-همبستگی در سری‌های زمانی استفاده شد. نتایج آزمون من-کندال منطقه‌ای نشان داد که اگر استان مازندران یک منطقه‌ی واحد در نظر گرفته شود، هیچ روندی در سری زمانی حداکثر بارش ۲۴ ساعته در سطح معنی داری ۵٪ مشاهده نمی‌شود. اما اگر با استفاده از تحلیل خوشه‌ای فازی استان مازندران به نواحی هیدرولوژیکی تقسیم گردد، مشاهده می‌شود که در قسمت غربی استان مازندران روند معنی داری در سطح ۵٪ وجود دارد. بررسی وجود روند در سری زمانی میانگین بارش سالانه نیز نشان داد که کل استان مازندران دارای روند صعودی در سطح معنی دار ۱٪ است.

**کلمات کلیدی:** تغییر اقلیم، تحلیل روند منطقه‌ای، آزمون غیر پارامتری، همبستگی متوالی، تحلیل خوشه‌ای فازی.

تاریخ دریافت مقاله: ۲۱ اسفند ۱۳۸۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۶ خرداد ۱۳۹۱

<sup>۱</sup>- Graduate of Irrigation and Drainage, University of Zabol, Zabol, Iran

<sup>۲</sup>- Associate Professor of Hydrology, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran. Email: ali.moghaddamniamia@gmail.com

\*- Corresponding Author

<sup>۱</sup>- دانشجویان کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل، زابل، ایران

<sup>۲</sup>- دانشجوی دانشیار هیدرولوژی، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

\*- نویسنده مسئول

## ۱- مقدمه

آزمون من-کندال به بررسی روند تغییرات بارش سالانه و تعداد روزهای بارانی ماهانه و سالانه در ۲۰ ایستگاه در مناطق خشک و نیمه خشک ایران پرداختند. هر چند در برخی ایستگاه‌ها روند کاهشی و یا افزایشی وجود داشت اما هیچ نشانی از تغییر اقلیم معنادار در مناطق خشک و نیمه خشک ایران مشاهده نکردند.

عزیزی و روشنی (۱۳۸۷) به مطالعه تغییر اقلیم در ۶ ایستگاه واقع در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من-کندال در دوره آماری ۴۰ ساله پرداختند. نتایج آنها نشان از وجود روند در سری زمانی بارش‌ها در ایستگاه‌های گرگان و انزلی دارد. کاویانی و عساکره (۱۳۸۲) تحلیل روند بارش در ایستگاه اصفهان را در یک دوره آماری ۱۰۳ ساله با استفاده از روش‌های پارامتری و غیر پارامتری به انجام رساندند. نتایج حاصل از تحقیقات آنها وجود هیچ‌گونه روندی را توسط هیچ یک از روش‌های بکار برده شده، تایید نکرد.

در اکثر مطالعات هیدرولوژیکی برای تقسیم‌بندی مناطق به گروه‌های هیدرولوژیکی همگن از تحلیل خوشه‌ای سخت استفاده شده است، اما به علت جدید بودن روش خوشه‌بندی فازی تحقیقات اندکی برای ارزیابی قابلیت خوشه‌بندی فازی برای دستیابی به مناطق همگن هیدرولوژیکی صورت گرفته است.

(۲۰۰۴) Jingyi and Hall روش‌های خوشه‌بندی وارد، شبکه عصبی و فازی را برای خوشه‌بندی حوضه رودخانه گان مینگ<sup>۲</sup> در جنوب شرقی چین بکار بردند. نتایج آنها نشان داد که روش خوشه‌بندی فازی و خوشه‌بندی شبکه عصبی از روش‌های سنتی کارا تر هستند. (۲۰۰۶) Rao and Srinivas از خوشه‌بندی فازی برای طبقه‌بندی حوضه‌های آبخیز ایندیانا<sup>۳</sup> در ایالات متحده آمریکا استفاده کردند. آنها از ۵ شاخص ارزیابی خوشه‌بندی برای تعیین تعداد خوشه بهینه استفاده کردند و در نهایت حوضه‌های آبخیز ایندیانا را به ۷ خوشه همگن تقسیم کردند.

همواره بارش‌ها به‌عنوان عاملی بسیار تغییر پذیر و عاملی اساسی در موازنه‌ی آبی مورد توجه اقلیم‌شناسان بوده است، به‌این جهت بررسی روند تغییرات میانگین بارش سالانه به منظور ارزیابی و مدیریت دراز مدت منابع آب در منطقه برای دستیابی به توسعه‌ی پایدار و حتی حفظ وضعیت موجود، نقش به‌سزایی دارد. از طرفی بررسی روند تغییرات مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته نقش مهمی در طراحی

بررسی وجود یا عدم وجود روند در متغیرهای آب-اقلیمی با استفاده از آزمونهای آماری از جمله روشهای رایج به منظور تحلیل سری‌های زمانی مذکور می‌باشد. اساساً وجود روند در سری‌های زمانی آب-اقلیمی ممکن است به دلیل تغییر اقلیم، تغییرات تدریجی طبیعی و یا تحت تاثیر فعالیت‌های انسان باشد (Brooks and Carrthers, ۱۹۵۳). در سال‌های اخیر، تعداد زیادی از مطالعات در زمینه شناسایی روند تغییرات آب-اقلیمی در سطح جهان و اثرات احتمالی آن روی تغییر منابع آب، بیابان‌زایی و کاهش تنوع گیاهی تمرکز یافته‌اند. (Lazaro et al., ۲۰۰۱; Burlando and Rosso, ۲۰۰۲). بررسی وجود روند در داده‌های هیدرولوژیکی می‌تواند در دو مقیاس مکانی نقطه‌ای و منطقه‌ای انجام شود. هر چند اکثر محققین بیشتر به تجزیه و تحلیل ایستگاهی روند تمرکز دارند و نتایج آنرا به کل منطقه تعمیم می‌دهند، اما این نگرش می‌تواند بروز اشتباهاتی را نیز در پی داشته باشد.

بارندگی، به‌عنوان یک متغیر مهم در تعیین بیلان آبی در ابعاد مکانی و زمانی، در پی بردن به روند دراز مدت در نقاط مختلف جهان مورد توجه واقع شده است. تاکنون روشهای آماری متعددی جهت تحلیل روند سری‌های زمانی ارائه گردیده که این روشها به دو دسته کلی روشهای پارامتری و ناپارامتری قابل تقسیم می‌باشند که روشهای ناپارامتری از کاربرد نسبتاً گسترده تر و چشمگیرتری نسبت به روشهای پارامتری برخوردارند (Xu et al., ۲۰۰۳). به عنوان مثال، (Sadri et al., ۲۰۰۹) با بررسی داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته در ۶۶ ایستگاه در دانمارک از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۷ نشان دادند که در مقیاس منطقه‌ای شدت بارش‌های ۲، ۵ و ۶۰ دقیقه‌ای در سطح معنی‌دار ۵٪ روند افزایشی دارد. همچنین، (Wang and Zhou, ۲۰۰۵) متوجه روند افزایشی معنی دار در جنوب غربی، شمال غربی و شرق چین و روند کاهشی معنادار در مناطق مرکزی، شمال و شمال شرق چین شدند. (Modarres and Sarhadi, ۲۰۰۹) به مطالعه‌ی روند بارش سالانه و حداکثر بارش ۲۴ ساعته در ۱۴۵ ایستگاه اندازه‌گیری در ایران پرداختند. این مطالعه نشان داد که بارش سالانه در ۶۷٪ ایستگاه‌ها کاهش داشته و حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته در ۵۰٪ ایستگاه‌ها افزایش داشته است. (Modarres and Silva, ۲۰۰۷) با استفاده از

سازه‌های آبی و کشاورزی و کنترل فرسایش و مطالعات اقلیم ایفا می‌کند و یکی از شاخص‌های تشخیص امکان بروز تغییر اقلیم بشمار می‌رود (Modarres and Silva, ۲۰۰۷). در این تحقیق، جهت بررسی وجود روند در دو سری زمانی میانگین بارش سالانه و حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته در ۳۵ ایستگاه باران‌سنجی استان مازندران از آزمون ناپارامتری من-کندال و همچنین به منظور بررسی وجود یا عدم وجود روند در مقیاس منطقه‌ای در کل استان مازندران و مناطق هیدرولوژیکی همگن از الگوریتم خوشه‌بندی فازی و آزمون من-کندال منطقه‌ای استفاده گردید.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، استان مازندران در شمال ایران می‌باشد (شکل ۱). این استان با مساحتی بیش از ۲۴ هزار کیلومتر مربع در محدوده ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۴ دقیقه طول شرقی قرار دارد. ارتفاع استان مازندران از ۱۷/۹- در کناره‌های دریای خزر تا ۵۵۹۵ متر در قله دماوند متغیر است. میانگین بارندگی در غرب استان مازندران بیشتر از ۱۰۰۰ میلی‌متر و در شرق استان بیش از ۳۰۰ میلی‌متر است. بخش مرطوب غربی استان ارتفاع کمی دارد، اما بارندگی زیاد در آن باعث مناسب شدن آن منطقه برای فعالیت‌های کشاورزی شده است. با توجه به اینکه داده‌های مفقود اکثر ایستگاه‌های سازمان هواشناسی زیاد و طول دوره آماری اکثر ایستگاه‌ها کمتر از ۳۰ سال می‌باشد، برای تحلیل آماری ایستگاه‌های باران‌سنجی منطقه از آمار بارندگی روزانه استان مازندران تهیه شده از شرکت مدیریت منابع آب ایران استفاده گردید. به منظور اطمینان از

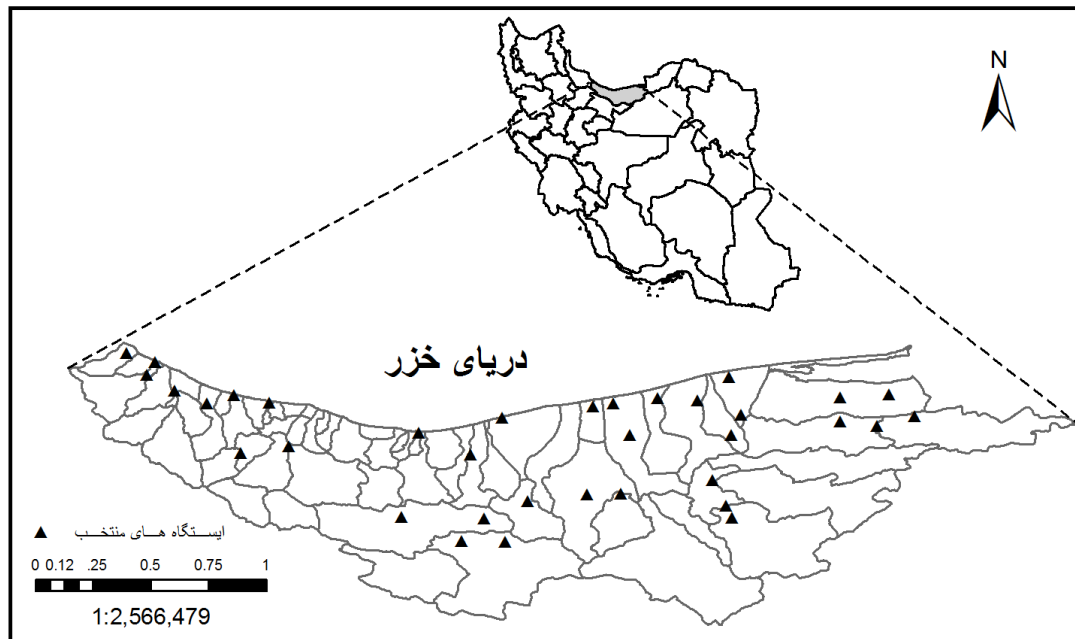
صحت آماری نتایج روند، از آمار ۳۵ ایستگاه با طول دوره آماری مشترک ۳۰ سال (از سال آبی ۵۶ تا ۸۶) استفاده شد. باید توجه داشت که در این تحقیق علاوه بر بررسی روند ایستگاهی، روند منطقه‌ای نیز بررسی گردیده است و اضافه شدن تعداد معدودی ایستگاه در آینده از صحت نتایج نمی‌کاهد.

### ۲-۲- تشخیص روند در ایستگاه‌ها

آزمون من-کندال (Mann, ۱۹۴۵; Kendall, ۱۹۷۵) می‌تواند برای جواب دادن به این سوال که آیا مقدار مرکزی یا میانه یک سری زمانی به مرور زمان تغییر می‌کند یا نه، به کار می‌رود. برای انجام آزمون من-کندال (MK) نیازی به نرمال بودن توزیع داده‌ها نیست، اما برای صحیح بودن p-value نباید همبستگی متوالی ۴ وجود داشته باشد (Helsel and Hirsch, ۱۹۹۲). زیرا وجود همبستگی متوالی موجب افزایش شناسایی روند معنی‌دار توسط آزمون من-کندال می‌شود، در صورتی که فرض صفر واقعاً صحیح است. در این تحقیق از روش ارائه شده توسط Yue et al., (۲۰۰۲, ۲۰۰۳) برای حذف تاثیر همبستگی متوالی آزمون MK استفاده شد. Yue et al., (۲۰۰۲, ۲۰۰۳) روش Trend-free pre-whitening (TFPW) را برای حذف تاثیر همبستگی متوالی آزمون MK به کار بردند، که این روش به شرح زیر است:

شیب روند ( $\delta$ ) در سری زمانی  $C_t$  ( $t=1, \dots, n$ ) توسط آزمون غیر پارامتری تخمین‌گر شیب سن محاسبه می‌شود (Sen, ۱۹۶۸):

$$\delta = \text{Median} \left[ \frac{(x_j - x_i)}{(j - i)} \right] \quad \text{for all } i < j \quad (1)$$



شکل ۱- استان مازندران (منطقه مورد مطالعه)

(۵)  $D_t'' = D_t' + \delta.t$  فرض  $x_i$  و  $x_j$  به ترتیب مقادیر سری در زمان  $i$  و  $j$  می‌باشند. فرض می‌شود روند خطی است و سری زمانی  $C_t$  توسط رابطه  $D_t = C_t - \delta.t$  روند زدایی می‌شود.

سپس آزمون من-کندال بر روی سری ترکیب شده  $D_t''$  به منظور تشخیص روند انجام می‌شود.

ضریب همبستگی متوالی سری زمانی  $D_t$  در تاخیر یک (۱) محاسبه می‌شود (Salas et al., ۱۹۸۰):

$$r_1 = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{n-1} (D_t - \bar{D}_t)(D_{t+1} - \bar{D}_t)}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (D_t - \bar{D}_t)^2}; \bar{D}_t = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n D_t \quad (2)$$

من-کندال یک آزمون غیر پارامتری براساس رتبه می‌باشد. برای هر نمونه متشکل از  $n$  متغیر، فرض صفر (H<sub>0</sub>) آن است که نمونه‌ها مستقل است و به‌طور یکسان توزیع شده است. فرض متناوب که یک آزمون دو طرفه است این است که روند یکنواختی در سری زمانی وجود دارد. آزمون MK براساس آماره  $S$  به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} (\text{sign}(x_i - x_j)) \quad (6)$$

که در آن مقادیر  $x_i$  و  $x_j$  داده‌های متوالی است،  $n$  طول سری زمانی است و تابع علامت نیز به ترتیب زیر قابل محاسبه است:

$$\text{sign}(x_i - x_j) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_i - x_j) < 0 \end{cases} \quad (7)$$

میانگین  $E(S)$  و واریانس  $\text{Var}(S)$  آماره  $S$  به ترتیب زیر بدست می‌آید:

$$E(S) = 0 \quad (8)$$

که در آن  $n$  تعداد مشاهدات سری زمانی است. اگر مقادیر  $r_1$  در سطح اطمینان ۹۵٪ که توسط رابطه (۳) بدست می‌آید قرار گیرند، سری زمانی در سطح اطمینان ۹۵٪ مستقل است (Salas et al, ۱۹۸۰).

$$\frac{-1 - 1.645\sqrt{n-2}}{n-1} \leq r_1 \leq \frac{-1 + 1.645\sqrt{n-2}}{n-1} \quad (3)$$

در این صورت آزمون من کندال روی سری زمانی اصلی  $C_t$  انجام می‌شود. در غیر این صورت، سری همبسته متوالی خواهد بود و از روش PW برای حذف فرآیند AR(۱) از سری روند زدایی شده استفاده می‌شود:

$$D_t' = D_t - r_1 \times D_{t-1} \quad (4)$$

سری زمانی باقی مانده بعد از اعمال روش TFPW یک سری مستقل است (Yue et al., ۲۰۰۳). روند مشخص شده ( $\delta.t$ ) و باقی مانده ( $D_t'$ ) به صورت زیر ترکیب می‌شوند:

## ۲-۴- خوشه بندی فازی

الگوریتم C- میانگین فازی (FCM) توسط (Dunn ۱۹۷۴) پیشنهاد گردید و توسط (Bezdek ۱۹۸۱) گسترش یافت. این الگوریتم، براساس بهینه سازی یک تابع هدف با تکرار است، که در تفکیک N حوزه آبخیز موجود در یک ناحیه به C خوشه‌ی فازی مفید است.

مشخصات بردار خصوصیات ( $y_k$ ) که تغییر مقیاس یافته عبارت است از:

$$X_{ik} = \frac{W_i}{\sigma_i} [f(y_{ik})] \text{ for } 1 \leq i \leq n, 1 \leq k \leq N \quad (15)$$

$y_k$ ,  $k$  امین بردار مشخصه را نشان می‌دهد و  $y_{ik}$  مقدار خصوصیت  $i$  را مشخص می‌کند.  $X_{ik}$  مقادیر تغییر مقیاس یافته  $y_{ik}$  و  $W_i$  وزن اختصاص داده شده به خصوصیت  $i$  است؛  $\sigma_i$  انحراف معیار هر خصوصیت و  $f(\cdot)$  نماینده تابع تغییر شکل است و N تعداد بردار مشخصه است.

مجموعه N بردار مشخصه تغییر مقیاس یافته با یک ماتریس  $n \times N$  با نام ماتریس داده‌ها (X) نشان داده می‌شود.

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & \dots & X_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & \dots & X_{nN} \end{bmatrix} \quad (16)$$

بعلاوه،  $V = (v_1, v_2, \dots, v_n)$  یک C-افراز از نخستین  $v_i$  را نشان می‌دهد، که  $v_i$  مرکز هر یک از خوشه‌ها است. الگوریتم FCM با حداقل کردن تابع هدف زیر ماتریس X را به C زیر مجموعه (یا خوشه) تقسیم می‌کند.

$$(17)$$

$$\text{Minimize } J(U, V : X) = \sum_{i=1}^C \sum_{k=1}^N (u_{ik})^m d^2(X_k, V_i)$$

مشروط به دو محدودیت زیر،

$$\sum_{i=1}^C u_{ik} = 1 \quad \forall k \in \{1, \dots, N\} \quad (18)$$

$$0 < \sum_{k=1}^N u_{ik} < N \quad \forall i \in \{1, \dots, c\} \quad (19)$$

که  $u_{ik} \in [0, 1]$  تعلق (یا درجه وابستگی)  $k$  بردار مشخصه تبدیل مقیاس شده ( $X_k$ ) به  $i$  خوشه فازی را مشخص می‌کند؛ U در رابطه

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^n t_p(p)(p-1)(2p+5)}{18} \quad (9)$$

که  $t_p$  تعداد دنباله‌ها برای  $p$  امین مقدار و  $p$  تعداد مقادیر دنباله‌ها است. جزء دوم در فرمول فوق یک تعدیل برای دنباله یا داده‌های حساس است. آماره استاندارد شده آزمون  $Z_{MK}$  از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S = 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S = 0 \end{cases} \quad (10)$$

مقدار مثبت  $Z_{MK}$  روند افزایشی و مقدار منفی  $Z_{MK}$  روند کاهشی سری زمانی را نشان می‌دهد. همچنین برای آزمودن روند افزایش یا کاهش یکنواخت در سطح معنی‌داری  $P$ ، اگر مقدار  $Z_{MK}$  بزرگتر از  $Z_{1-P, P/2}$  باشد (که  $Z_{1-P, P/2}$  از جداول توزیع تجمعی نرمال استاندارد بدست می‌آید) فرض صفر رد می‌شود. برای این کار، سطح معنی‌دار  $P=0.05$  یا  $P=0.01$  به کار می‌رود.

## ۲-۳- تشخیص روند منطقه‌ای

به منظور محاسبه روند در مقیاس منطقه‌ای، آماره میانگین S من-کندال منطقه‌ای توسط (Douglas et al ۲۰۰۰) معرفی شد.

$$\bar{S}_m = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m S_k \quad (11)$$

که  $S_k$  آماره S من-کندال برای ایستگاه  $k$  ام در منطقه‌ای با  $m$  ایستگاه می‌باشد. برای سری زمانی که مستقل باشد و متغیرها به صورت تصادفی توزیع شده باشند، میانگین و پراش  $\bar{S}_m$  به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$E(\bar{S}_m) = 0 \quad (12)$$

$$\text{Var}(\bar{S}_m) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18m} = \frac{\sigma^2}{m} \quad (13)$$

$\text{Var}(\bar{S}_m)$  برای مقادیر داده‌ها با گره به صورت رابطه (۹) تصحیح می‌شود. اگر  $\bar{S}_m$  مستقل و تصادفی باشند، توزیع  $\bar{S}_m$  تقریباً نرمال خواهد بود و آماره نرمالیزه آزمون ( $Z_m$ ) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Z_m = \frac{\bar{S}_m - E(\bar{S}_m)}{\sigma / \sqrt{m}} = \frac{\bar{S}_m}{\sigma / \sqrt{m}} \quad (14)$$

و معنی‌داری  $Z_m$  می‌تواند از تابع توزیع تجمعی نرمال محاسبه شود.

$$u_{iK} = \frac{u_{iK}^{init}}{\sum_{i=1}^c u_{iK}^{init}} \quad \text{for } 1 \leq i \leq c, 1 \leq K \leq N \quad (22)$$

اگر الگوریتم FCM که با ماتریس مرکز خوشه  $V$  (شامل  $c$  مرکز خوشه فازی  $v_1^{init}, \dots, v_c^{init}$ ) مقدار دهی اولیه شده، میزان تعلق  $(U_{ik}^{init})$  را با استفاده از جایگذاری  $v_i^{init}$  به جای  $v_i$  در رابطه (24) تعیین می‌کند.

**مرحله سوم:** مرکز خوشه فازی  $(v_i)$  به ازاء  $i=1, 2, \dots, c$  توسط رابطه (23) محاسبه می‌شود.

$$V_i = \frac{\sum_{K=1}^N (u_{iK})^m X_K}{\sum_{K=1}^N (u_{iK})^m} \quad (23)$$

**مرحله چهارم:** میزان تعلق  $(u_{iK})$  با استفاده از رابطه (24) به‌نگام‌سازی می‌شود.

$$u_{iK} = \frac{\left( \frac{1}{d^2(X_K, V_i)} \right)^{1/(m-1)}}{\sum_{i=1}^c \left( \frac{1}{d^2(X_K, V_i)} \right)^{1/(m-1)}} \quad (24)$$

$$\text{for } 1 \leq i \leq c, 1 \leq K \leq N$$

در رابطه فوق  $d$  فاصله اقلیدسی است. با توجه به این که نتایج خوشه‌بندی FCM به حدس اولیه حساس است برای مقدار دهی اولیه به ماتریس مراکز خوشه‌ها از روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی استفاده گردید. مراحل سوم و چهارم تا زمانی که مقدار ماتریس عضویت بین دو تکرار متوالی به حد کافی کوچک شود، تکرار می‌شود. در این هنگام، روش‌های مرسوم تحلیل خوشه‌ای فازی توصیه می‌کنند که ماتریس عضویت فازی  $U$  (که در رابطه (20) نشان داده شد) را غیر فازی کنند، تا سر انجام بردار خصوصیات خوشه‌ها اختصاص یابند.

ماتریس عضویت فازی می‌تواند با استفاده از روش حداکثر عضویت، غیر فازی یا قطعی شود (Ross, 1995). در این روش، به بزرگ‌ترین جزء در هر ستون  $U$ ، مقدار عضویت واحد اختصاص می‌یابد رابطه (25). به عبارت دیگر، بردار خصوصیت به خوشه‌ای که بیشترین عضویت را دارد اختصاص می‌یابد.

(20) ماتریس افراز فازی است که شامل میزان تعلق هر بردار مشخصه تبدیل مقیاس شده در هر خوشه فازی می‌باشد؛ پارامتر  $m \in [1, \infty]$  توان وزنی یا پارامتر فازی سازی است که درجه فازی بودن نتایج خوشه‌بندی را کنترل می‌کند و درجه همپوشانی بین خوشه‌ها است. با حداقل مقدار معنی دار  $m=1$  خوشه‌بندی FCM تبدیل به خوشه‌بندی  $k$ -میانگین می‌شود. با میل  $m$  به سمت بی‌نهایت به بالاترین درجه از فازی شدن میل می‌کند (Bezdek, 1981). انتخاب مقدار  $m=2$  در بسیاری از موارد به‌عنوان گزینه مناسب پارامتر فازی شدن پذیرفته شده است (Hathaway and Bezdek, 2001).  $d^2(x_k, v_i)$  فاصله  $k$  بردار خصوصیات تغییر مقیاس یافته  $(x_k)$  تا مرکز  $i$  خوشه  $(v_i)$  است. زمانی که اولین نقطه جایگذاری شد، فاصله‌های اندازه‌گیری شده توسط رابطه (21) بدست می‌آید.

$$U = \begin{bmatrix} u_{11} & \dots & u_{1K} & \dots & u_{1N} \\ \vdots & & & & \vdots \\ u_{c1} & \dots & u_{cK} & \dots & u_{cN} \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$d^2(X_K, V_i) = (X_K - V_i)' A_i (X_K - V_i) \quad (21)$$

که  $A_i$  یک ماتریس متقارن مثبت معین وابسته به خوشه  $i$  است. اولین محدودیت تابع هدف  $J$  رابطه (18) بیانگر این است که ماتریس عضویت  $U$  در محدوده  $[0, 1]$  می‌باشد.

دومین محدودیت رابطه (19) مجموع درجه عضویت در یک خوشه فازی را بین  $0$  و  $N$  نشان می‌دهد. اگر مجموع درجه عضویت‌ها در یک خوشه فازی مساوی صفر باشد، ایجاب می‌کند که خوشه حاوی هیچ ایستگاهی نباشد. در مقابل، اگر مجموع برابر  $N$  شود، خوشه فازی تمام بردار مشخصات را در برمی‌گیرد. بنابراین، الگوریتم FCM در افراز بهینه، حداقل یک بردار مشخصه را به هر خوشه اختصاص می‌دهد.

روش تکرار الگوریتم FCM (Bezdek, 1981) به صورت زیر خلاصه شده است:

**مرحله اول:** توسط مولد اعداد تصادفی به ماتریس عضویت فازی  $U$  (یا ماتریس مرکز خوشه‌ها  $V$ ) مقدار دهی اولیه می‌شود.

**مرحله دوم:** اگر الگوریتم FCM که با ماتریس عضویت فازی  $U$  مقدار دهی اولیه شده، تعلق اولیه  $U_{ik}^{init}$  را با استفاده از رابطه (22) تعدیل کند، محدودیت اول رابطه (18) برطرف می‌شود. (مقدار دهی اولیه شده:  $init$ )

بارش ۲۴ ساعته به ترتیب برای ایستگاه‌های  $W_1, W_3, W_4, W_5$ ،  $W_8$  و  $E_8$  مقدار شیب سن برابر  $0/16$ ،  $1/06$ ،  $0/14$ ،  $0/67$ ،  $0/39$  - و در سری زمانی میانگین بارندگی سالانه به ترتیب برای ایستگاه‌های  $E_{13}, E_5, E_8, E_{10}, M_3, M_7, W_8$  و  $W_5$  مقدار شیب سن برابر  $8/15$ ،  $4/76$ ،  $4/39$ ،  $3/11$ ،  $4/7$ ،  $2/9$ ،  $15$ ،  $9/4$  می‌باشد. سپس با استفاده از روابط (۴) و (۵) سری ترکیبی  $D_i'$  برای هر یک از ایستگاه‌ها بدست آمد.

نتایج آزمون من-کندال معمولی برای هر دو سری زمانی حداکثر بارش ۲۴ ساعته و میانگین بارش سالانه در جدول ۱ ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد، در سری زمانی حداکثر بارش ۲۴ ساعته در ۲ ایستگاه  $M_4$  و  $W_2$  روند صعودی در سطح معنی دار ۵٪ است. در سری زمانی میانگین بارش سالانه نیز در ۴ ایستگاه  $W_8, E_6, E_5$  و  $M_3$  روند صعودی در سطح معنی دار ۵٪ است. توزیع آماره من-کندال در استان مازندران در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. این موضوع نشان می‌دهد که در استان مازندران به جز تعداد معدودی ایستگاه که روند صعودی دارند، روند محسوسی در بعد ایستگاهی مشاهده نمی‌شود و این موضوع نتایج مطالعات عزیز و روشنی (۱۳۸۷) و جهانبخش و همکاران (۱۳۸۹) را تایید می‌کند اما برخلاف مطالعات قبلی انجام شده در منطقه (عزیزی و روشنی، ۱۳۸۷؛ جهانبخش و همکاران، ۱۳۸۹) که برای اثبات وجود روند در سری داده‌ها، فقط از آماره من-کندال معمولی برای تک-ایستگاه‌ها و بدون بررسی ایستایی سری زمانی اکتفا کرده‌اند، در این مطالعه برای تعمیم وجود روند در سری‌های زمانی حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته و میانگین بارندگی سالانه به کل منطقه یا قسمت‌هایی از منطقه مورد مطالعه از آزمون من-کندال منطقه‌ای استفاده شد. بدین منظور ابتدا استان مازندران با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی فازی به مناطق همگن هیدرولوژیکی تقسیم و پس از آن آماره من-کندال منطقه‌ای برای کل استان مازندران و نواحی بدست آمده از خوشه‌بندی فازی، محاسبه شد.

به این منظور از خصوصیات میانگین بارندگی سالانه، طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی برای خوشه‌بندی منطقه استفاده شد. در روش خوشه‌بندی فازی علاوه بر تعداد خوشه (c) روش اندازه‌گیری فاصله، معیار توقف (ε) و مقدار پارامتر فازی‌سازی (m) برای شروع تحلیل‌ها

$$u_{jk} = \max_{1 \leq i \leq c} \{u_{ik}\} = 1; \quad u_{ik} = 0 \text{ for all } i \neq j$$

## ۲-۵- شاخص‌های ارزیابی خوشه‌بندی فازی

یکی از مهمترین مسایل در خوشه‌بندی، انتخاب تعداد خوشه مناسب می‌باشد. بدین‌منظور باید هر خوشه بیشترین فشردگی را داشته و تا حد امکان بین خوشه‌ها حداکثر فاصله وجود داشته باشد. برای یک خوشه‌بندی مناسب باید هر دو معیار با هم صدق کند. برای اینکه اگر تنها معیار فشردگی مورد استفاده قرار گیرد، هر داده می‌تواند به صورت یک خوشه در نظر گرفته شود زیرا هیچ خوشه‌ای فشردتر از خوشه‌ای با یک داده نمی‌باشد و اگر تنها معیار جدایی در نظر گرفته شود در آن‌صورت بهترین خوشه‌بندی این می‌باشد که کل داده‌ها یک خوشه در نظر گرفته شود. با این توضیح که فاصله هر خوشه از خودش صفر است. بنابراین باید از ترکیب دو معیار فوق استفاده شود. اگر چه در روش FCM تعداد خوشه‌ها از قبل مشخص شده است ولی در ابتدای کار تعداد خوشه‌ها برای هیدرولوژیست مشخص نیست و با روش سعی و خطا تعداد مناسب خوشه‌ها تعیین می‌شود. برای مشخص کردن تعداد درست خوشه‌ها توابع ارزیابی متعددی ارائه شده است ولی تاکنون روش مشخصی برای انتخاب تعداد خوشه بهینه و همچنین مقدار پارامتر فازی سازی ارائه نشده است و مطالعات در این زمینه ادامه دارد. در این مقاله از دو شاخص ارزیابی خوشه‌بندی فازی زی و بنی تمیم یافته (Xie and Beni, ۱۹۹۱) و وون (Kwon, ۱۹۹۸) استفاده گردید. حداقل مقادیر این دو شاخص بیانگر تعداد خوشه بهینه است.

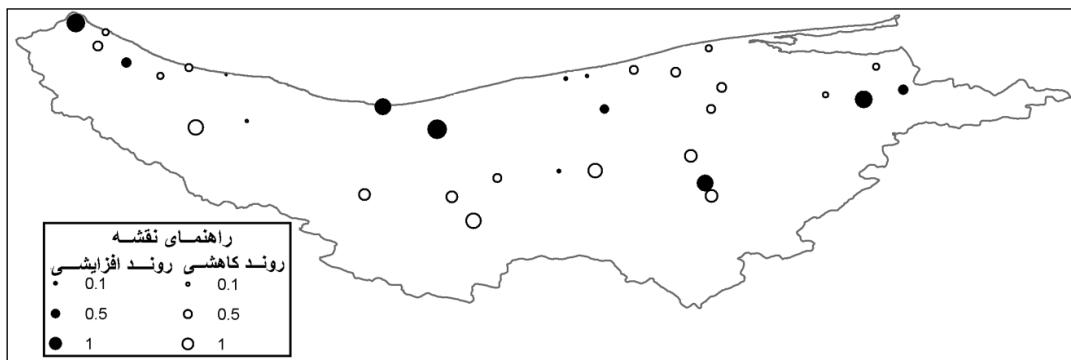
## ۳- تجزیه و تحلیل نتایج

در این تحقیق، ابتدا همبستگی متوالی تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی محاسبه شد. نتایج نشان داد که سری زمانی حداکثر بارش ۲۴ ساعته در ۶ ایستگاه  $W_1, W_3, W_4, W_5, W_8$  و  $E_8$  خودهمبسته‌اند<sup>۸</sup>. همچنین برای سری زمانی میانگین بارش سالانه همبستگی متوالی محاسبه شد و ایستگاه‌های  $E_{13}, E_5, E_8, E_{10}, M_3, M_7$  و  $W_8$  دارای همبستگی متوالی بودند. به‌منظور حذف تاثیر همبستگی متوالی روی آزمون من‌کندال در این ایستگاه‌ها، شیب روند خطی توسط تخمین‌گرسن محاسبه و حذف شد. در سری زمانی حداکثر

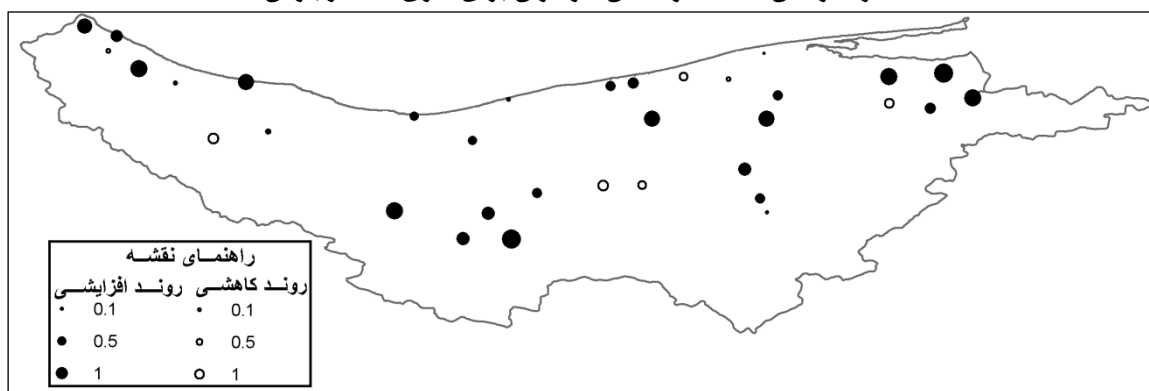
## جدول ۱- مقادیر آماره $Z_{MK}$ برای هر یک از ایستگاه‌ها

میانگین بارندگی سالانه حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته				میانگین بارندگی سالانه حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته				نام ایستگاه	کد ایستگاه		
p-value	Z	p-value	Z	p-value	Z	p-value	Z				
۰/۱۰۱	-۱/۶۴۲	۰/۰۱۱	۲/۵۳۲*	پنجم	M3	۰/۵۰۹	-۰/۶۶۱	۰/۵۲۱	۰/۶۴۲	آبلو	E1
۰/۰۲۲	۲/۲۸۴*	۰/۵۶۸	۰/۵۷۱	چمستان-نور	M4	۰/۵۵۵	۰/۵۹۱	۰/۰۶۳	۱/۸۵۵	بارکلا	E2
۰/۳۷	-۰/۸۹۷	۰/۲۶۸	۱/۱۰۶	رزن	M5	۰/۸۳	-۰/۲۱۴	۰/۲۶۹	-۱/۱۰۶	پنجیم	E3
۰/۱۴۳	-۱/۴۶۵	۰/۳۸۲	-۰/۸۷۴	قرآن تالار	M6	۰/۲۷۶	-۱/۰۸۹	۰/۹	۰/۱۲۵	تالارم	E4
۰/۶۳	-۰/۴۸۲	۰/۴۸۸	۰/۶۹۴	کره سنگ	M7	۱	۰	۰/۰۴۹	۱/۹۷*	تیر تاش	E5
۰/۰۸۳	-۱/۷۳۳	۰/۲۱۸	-۱/۲۳۱	کلاردشت	M8	۰/۷۳۵	-۰/۳۳۹	۰/۰۱۸	۲/۳۵۵*	جفاکنده	E6
۰/۹	۰/۱۲۵	۰/۱۵۴	-۱/۴۲۷	گلگاه بندپی	M9	۰/۵۹۲	-۰/۵۳۶	۰/۰۷۴	۱/۸۸۴	دارابکلا	E7
۱	۰	۰/۸۸۶	-۰/۱۴۳	محمودآباد	M10	۰/۲۶۸	-۱/۱۰۷	۰/۲۲۳	۱/۲۲	ریگ چشمه	E8
۱	۰	۰/۲۲۵	۱/۲۱۳	نمارستاق	M11	۰/۰۶۶	۱/۸۴۱	۰/۳۸۲	۰/۸۷۵	سفیدچاه	E9
۰/۷۲۲	-۰/۳۵۶	۰/۸۷۲	۰/۱۶۱	دینارسرا	W1	۰/۰۷۴	۱/۷۹	۰/۴۸۸	۰/۶۹۴	سلیمان تنگه	E10
۰/۰۳	۲/۱۷۷*	۰/۱۳۴	۱/۴۹۹	رامسر	W2	۰/۹۴۳	-۰/۰۷۱	۰/۳۹۲	۰/۸۵۶	عرب خیل	E11
۰/۰۸۸	۱/۷۰۷	۰/۵۸	۰/۵۵۳	عالم کلا	W3	۰/۴۸۶	-۰/۶۹۷	۰/۸۷۲	-۰/۱۶۱	کردخیل	E12
۰/۶۶۶	-۰/۴۳۱	۱	۰	عباس آباد-کاظمرود	W4	۰/۵۶۸	۰/۵۷۱	۰/۰۸۱	۱/۸۴۵	کیاکلا	E13
۰/۹۵۵	۰/۰۵۶	۰/۰۸۱	۱/۸۴۵	کلارآباد	W5	۰/۶۰۵	-۰/۵۱۸	۰/۴۵۳	-۰/۷۴۹	لاریم	E14
۰/۷۴۸	-۰/۳۲۱	۰/۳۱۸	۰/۹۹۹	کلای بن	W6	۰/۸۸۷	۰/۱۴۳	۰/۵۲۱	۰/۶۴۲	میاندرشت	E15
۰/۵۲۱	-۰/۶۴۲	۰/۸۰۳	-۰/۲۴۹۷	گانگسر	W7	۰/۷۳۵	-۰/۳۴	۰/۹۴۳	۰/۰۷۱۴	نوذرآباد	E16
۰/۵۱۱	۰/۶۵۷	۰/۰۴۵	۲/۰۰۷*	هرات بر	W8	۰/۳۳۴	-۰/۹۶۵	۰/۰۵۹	۱/۸۹۱	بلده	M1
						۰/۹۴۳	-۰/۰۷۱	۰/۸۳	۰/۲۱۴	پل ذغال	M2

\* مقادیر Z که در سطح اطمینان ۵٪ دارای روند می باشند.



شکل ۲- مقادیر آماره من-کندال در استان مازندران برای سری حداکثر بارش ۲۴ ساعته



شکل ۳- مقادیر آماره من-کندال در استان مازندران برای سری میانگین بارش سالانه



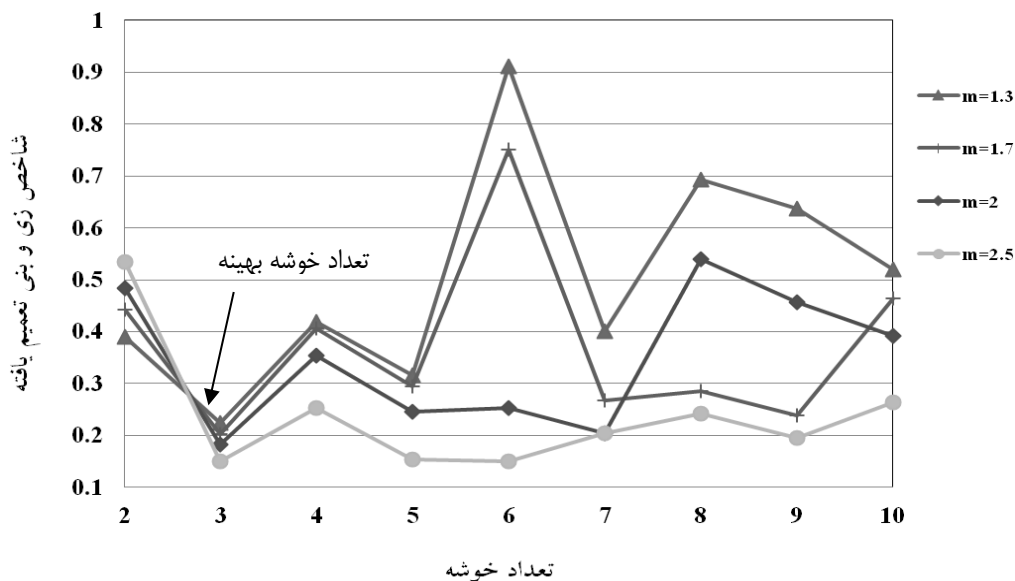
کاهش می‌یابد، در ضمن مقدار تابع هدف با افزایش مقدار فازی‌سازی برای مقدار ثابت  $c$ ، کاهش می‌یابد. به لحاظ تئوری، مقدار تابع هدف زمانی که تمامی ایستگاه‌ها در یک خوشه جمع شوند، حداکثر می‌شود و حداقل مقدار تابع هدف (برابر صفر) زمانی حاصل می‌شود که هر خوشه فقط یک ایستگاه را در بر گیرد (Rao and Srinivas, ۲۰۰۶).

به این ترتیب تعداد خوشه‌ها برابر ۳ و مقدار فازی‌سازی توصیه شده  $m=2$  (Hathaway and Bezdek, ۲۰۰۱) برای مرحله بعدی تحلیل‌ها انتخاب می‌شود.

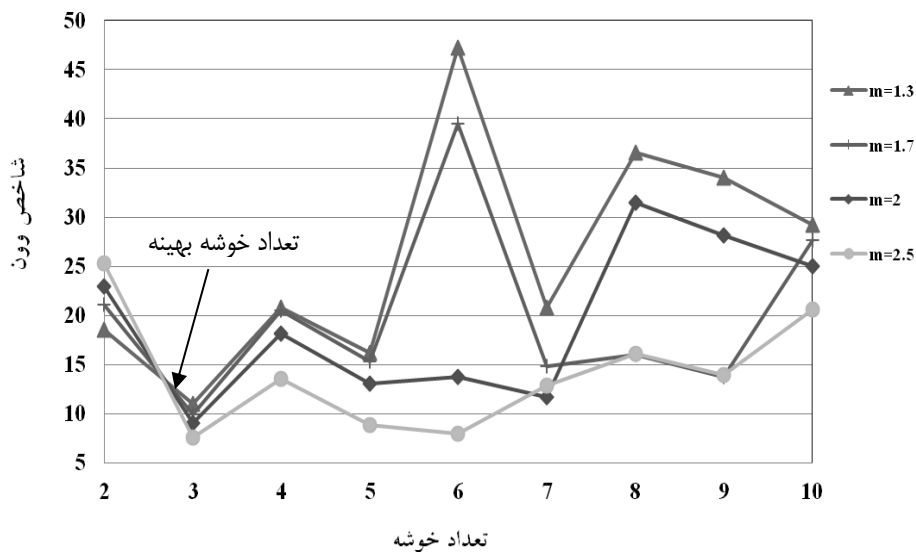
شکل ۶ مناطق ایجاد شده توسط الگوریتم خوشه‌بندی را نشان می‌دهد. نتایج آزمون من-کندال منطقه‌ای برای هر دو سری زمانی حداکثر بارش ۲۴ ساعته و میانگین بارش سالانه در جدول ۲ ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد، اگر کل استان مازندران به عنوان یک منطقه در نظر گرفته شود سری زمانی حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته دارای روند معنی‌دار نخواهد بود، ولی با بررسی مناطق هیدرولوژیکی حاصل از FCM (خوشه‌ها) مشاهده می‌گردد غرب استان مازندران (خوشه‌های ۲ و ۳) دارای روند در

نیاز است. برای این مطالعه، فاصله اقلیدسی به‌عنوان معیار اندازه‌گیری فاصله انتخاب و مقدار  $1 \times 10^{-3}$  برای معیار توقف تکرار الگوریتم ( $\epsilon$ ) انتخاب شد. الگوریتم خوشه‌بندی FCM به محض اینکه در یک تکرار متوالی قدر مطلق تفاضل ماتریس  $U$  کمتر از  $1 \times 10^{-3}$  باشد متوقف می‌شود. ایستگاه‌هایی که پیوند محکمی به هر خوشه دارند با روش حداکثر عضویت شرح داده شده در قسمت ۲-۴ شناسایی می‌شوند.

برای مشخص کردن تعداد خوشه‌ی بهینه و مقدار پارامتر فازی‌سازی شاخص‌های زی و بنی تعمیم یافته  $(XB, m)$  و شاخص وون  $(V_k)$  به ازای مقادیر  $1 < C < 10$  و  $1 < m < 2/5$  با مقدار افزایش  $0/1$  محاسبه شدند. در شکل‌های ۴ و ۵ مقادیر این شاخص‌ها به ازای چهار مقدار مختلف  $m$  رسم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود تمامی مقادیر شاخص‌ها از الگویی مشابه تبعیت می‌کنند و شاخص‌های زی و بنی تعمیم یافته و شاخص وون به ازای تعداد خوشه برابر ۳ حداقل مقدار را دارند. همچنین همانطوری که شکل‌های ۴ و ۵ نشان داد، به ازای مقادیر  $m$  بیشتر از ۲ نتایج به مقدار زیادی فازی می‌شوند. بطور کلی مقدار تابع هدف با افزایش تعداد خوشه‌ها برای یک مقدار مشخص فازی‌سازی ( $m$ )



شکل ۴- شاخص زی و بنی تعمیم یافته به ازای مقادیر مختلف  $m$  و  $c$



شکل ۵- شاخص وون به ازای مقادیر مختلف  $m$  و  $c$

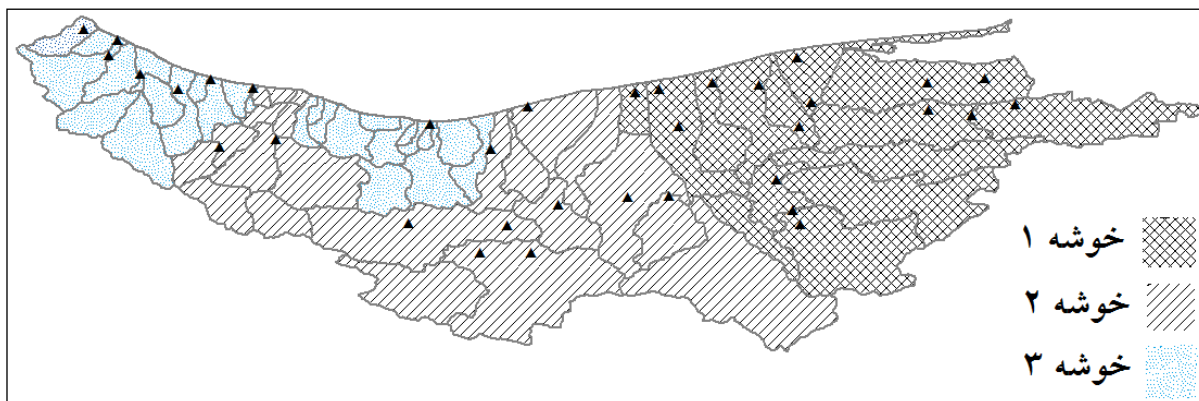
#### ۴- نتیجه گیری

هر چند نتایج آزمون معمولی من-کندال نتایج آشکاری از وجود روند در استان مازندران در هیچ یک از دو سری زمانی در طول ۳۰ سال گذشته ارائه نمی‌کند، اما با توجه به نتایج من-کندال منطقه‌ای می‌توان به طور صریح وجود روند در سری زمانی حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته در غرب استان مازندران و وجود روند در سری زمانی میانگین بارندگی سالانه در کل استان مازندران را تایید کرد. این می‌تواند نشانه‌هایی از تغییر اقلیم در استان مازندران طی ۳۰ سال گذشته باشد. البته این نکته باید مد نظر قرارگیرد که با تطویل آمار در سالهای آتی، ممکن است نتایج تغییر یابد و نیاز به تعدیل و بهنگام‌سازی باشد. این تحقیق نشان داد که روش ارائه شده کارایی قابل قبولی دارد و می‌توان آنرا برای مناطق دیگر و نیز عوامل هیدرواقليمی دیگر نیز به کار برد.

سطح ۵٪ هستند، که خوشه ۲ دارای روند نزولی و خوشه‌ی ۳ دارای روند صعودی می‌باشد. برخلاف سری زمانی حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته با بررسی منطقه‌ای سری زمانی میانگین بارندگی سالانه مشاهده می‌شود که کل استان مازندران و نیز خوشه‌های ۳ و ۱ دارای روند صعودی در سطح ۱٪ هستند. با توجه به نتایج تحقیق عزیزی و روشنی (۱۳۸۶) مبنی بر افزایش دمای حداقل در منطقه، احتمال می‌رود که در این روند صعودی ناشی از گرم شدن تدریجی منطقه و برخورد لایه‌های گرم ایجاد شده در محیط (که ناشی از تخریب پوشش گیاهی و افزایش نسبی  $CO_2$  می‌باشد) با ریزش‌های برفی است که بواسطه‌ی آن برف ذوب شده و به صورت باران به ثبت می‌رسد.

#### جدول ۲- مقادیر آزمون من-کندال منطقه‌ای برای کل استان مازندران و خوشه

حداکثر بارش ۲۴ ساعته		میانگین بارش سالانه	
آماره Z منطقه‌ای	p-value	آماره Z منطقه‌ای	p-value
برای کل منطقه	۴۷۷/۰-	۰۲۵**/۴	۰/۰۰۰۰۶
خوشه ۱ (شرق)	۱۶۵/۰-	۱۸۱**/۳	۰/۰۰۱
خوشه ۲ (وسط)	*۲۸۵/۲-	۲۱۹/۱	۰/۲۲۳
خوشه ۳ (غرب)	*۰۱/۲	۵۳۳*/۲	۰/۰۱
** مقادیر Z که در سطح اطمینان ۱٪ دارای روند می‌باشند.			
* مقادیر Z که در سطح اطمینان ۵٪ دارای روند می‌باشند.			



شکل ۶- مناطق ایجاد شده توسط الگوریتم خوشه‌بندی فازی

Burlando, P. and Rosso, R. (۲۰۰۲), "Effects of transient climate change on basin hydrology. ۱: Precipitation scenarios for the Arno River, central Italy", *Hydrological Processes*, ۱۶, pp. ۱۱۵۱- ۱۱۷۵.

Douglas, E. M., Vogel, R. M. and Kroll, C. N. (۲۰۰۰), "Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial correlation", *Journal of Hydrology*, ۲۴۰, pp. ۹۰-۱۰۵.

Dunn, J.C. (۱۹۷۴), "A fuzzy relative of the ISODATA process and its use in detecting compact, well-separated clusters", *Journal of Cybernetics*, ۳ (۳), pp. ۳۲-۵۷.

Hathaway, R. J. and Bezdek, J. C. (۲۰۰۱), "Fuzzy c-means clustering of incomplete data", *IEEE Transactions Syst. Man Cybern*, B, ۳۱, pp. ۷۳۵- ۷۴۴.

Helsel, D.R., and Hirsch, R.M. (۱۹۹۲), *Statistical Methods in Water Resources*. Elsevier, Amsterdam. ISBN ۰-۴۴۴-۸۸۵۲۸-۵.

Jingyi, Z. and Hall, M.J. (۲۰۰۴), "Regional flood frequency analysis for the Gan-Ming River basin in China", *Journal of Hydrology*, ۲۹۶, pp. ۹۸-۱۱۷.

Kendall, M.G. (۱۹۷۵), *Rank Correlation Methods*, Charles Griffin, London.

Kwon, S.H. (۱۹۹۸), "Cluster validity index for fuzzy clustering", *Electronics Letters*, ۳۴ (۲۲), pp. ۲۱۷۶- ۲۱۷۷.

Lazaro, R., Rodrigo, F. S., Gutierrez, L., Domingo, F. and Puigdefabregas, J. (۲۰۰۱), "Analysis of a ۳۰-year rainfall record (۱۹۶۷- ۱۹۹۷) in semi-arid SE Spain for implications on vegetation", *Journal of Arid Environments*, ۴۸, pp. ۳۷۳- ۳۹۰.

Mann, H.B. (۱۹۴۵), "Nonparametric Tests Against Trend", *Econometrica*, ۱۳, pp. ۲۴۵-۲۵۹.

#### پی‌نوشت‌ها

- ۱-Ward
- ۲-Gan-Ming
- ۳-Indiana
- ۴-Serial correlation
- ۵-Tie
- ۶-Fuzzy c-Means
- ۷-Membership Matrix
- ۸-East; Middle; West

#### ۵- مراجع

عزیزی، ق، روشنی، م. (۱۳۸۷)، "مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من-کندال"، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۶، صص ۱۳-۲۸.

کاویانی، م، عساکره، ح. (۱۳۸۲)، "بررسی آماری روند بلندمدت بارش سالانه اصفهان"، سومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم اصفهان.

جهان‌بخش، س، هادیانی، ا، رضایی، بنفشه مجید، دین پژوه، ی. (۱۳۸۹)، "مدل‌سازی پارامترهای تغییر اقلیم در استان مازندران"، چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافی‌دانان جهان اسلام.

Bezdek, J.C. (۱۹۸۱), *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*, Plenum Press, New York.

Brooks, C.E.P. and Carrthers, N. (۱۹۵۳), *Handbook of Statistical Methods in Meteorology*, London, H.M.S.O., p. ۴۱۲.

- Wang, Y. and Zhou, L. (۲۰۰۵), "Observed trends in extreme precipitation events in China during ۱۹۶۱ – ۲۰۰۱ and the associated changes in large-scale circulation", *Geophysical research letters*, ۳۲. L۰۹۷۰۷, ۴ PP. doi:۱۰.۱۰۲۹/۲۰۰۵GL۰۲۲۵۷۴.
- Xie, X.L. and Beni, G. (۱۹۹۱), "A validity measure for fuzzy clustering", *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, ۱۳ (۸), pp. ۸۴۱–۸۴۷.
- Xu, Z.X., Takeuchi, K. and Ishidaira, H. (۲۰۰۳), Monitoring Trend Step Changes in Precipitation in Japanese Precipitation. *Journal of hydrology*. ۲۷۹: ۱۴۴-۱۵۰.
- Yue, S., Pilon, P., Phinney, B., and Cavadias, G.S. (۲۰۰۲), "The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series", *Hydrological Processes*, (۱۶), pp. ۱۸۰۷–۱۸۲۹.
- Yue, S., Pilon, P. and Phinney, B. (۲۰۰۳), "Canadian streamflow trend detection: impacts of serial and cross correlation", *Hydrological Sciences Journal*, ۴۸ (۱), pp. ۵۱–۶۳.
- Modarres, R. and Sarhadi, A. (۲۰۰۹), "Rainfall trends analysis of Iran in the last half of the twentieth century", *Journal of geophysical research*, ۱۱۴, D۰۳۱۰۱, doi:۱۰.۱۰۲۹/۲۰۰۸JD۰۱۰۷۰۷.
- Modarres, Reza. and Silva, V. (۲۰۰۷), "Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran", *Journal of Arid Environments*, ۷۰, PP.۳۴۴–۳۵۰.
- Rao, A.R. and Srinivas, V.V. (۲۰۰۶), "Regionalization of watersheds by fuzzy cluster analysis", *Journal of hydrology*, ۳۱۸, pp. ۵۷-۷۹.
- Ross, T.J. (۱۹۹۵), *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, McGraw-Hill, New York.
- Sadri, S., Madsen, H., Mikkelsen, P.S., and Burn, D.H. (۲۰۰۹), "Analysis of extreme rainfall trends in Denmark", *۳۳th IAHR Congress: Water engineering for a sustainable environment*.
- Salas, J.D., Delleur, J.W., Yevjevich, V. and Lane, W.L. (۱۹۸۰), *Applied Modelling of Hydrologic Time Series*, Water Resources Publications, Littleton, CO, USA.
- Sen, P. (۱۹۶۸), "Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau", *Journal of American Statistical Association*, (۶۳), pp. ۱۳۷۹–۱۳۸۹.