

## پهنه بندی احتمال شرطی حالات بارش به شرط حالات دمایی در ایران زمین

### چکیده

وجود واقعیت‌ها و رویدادهای تصادفی اقلیمی، زمینه کاربرد «دانش احتمال» را در اقلیم شناسی مهیا کرده است؛ به طوری که بسیاری از واقعیت‌های اقلیمی با به کارگیری ابزارها و تکنیک‌های احتمالاتی قابلیت توجیه و تفسیر بهتری دارد. کاربرد نظریه احتمال در اقلیم شناسی، رفتار بسیاری از پدیده‌های اقلیمی به ظاهر غیر قطعی را به شکل قانونمند ارائه و به تصمیم‌گیری مدیران و آینده‌نگری برنامه‌ریزان کمک می‌کند. یکی از رویکردها و ضرورت‌های مطالعات اقلیم شناسی، مطالعه احتمال رخداد چند رویداد در ارتباط با یکدیگر است. شانس وقوع یک رویداد به شرط وقوع رویدادی دیگر را «احتمال شرطی» گویند.

در پژوهش حاضر، احتمال وقوع شرایط بارشی مختلف در سرزمین ایران، براساس شرایط دمایی متفاوت؛ یعنی: احتمال شرطی حالات بارش به شرط وقوع حالات دما بررسی شده است. در این راستا، از دیده‌بانی‌های روزانه دما و بارش پایگاه داده‌ای اسفزاری بهره گرفته شد. نتایج پژوهش به وسیله تحلیل خوشه‌ای و با استفاده از روش فاصله اقلیدوسی و روش ادغام وارد به صورت نقشه‌های طبقه بندی احتمالاتی ارائه و تحلیل شد. براساس این مطالعه، سه پهنه اصلی شمالی، مرکزی و جنوبی در کشور تشخیص داده شد. همچنین، هفت زیرگروه براساس برخی ویژگی‌های احتمال شرطی بارش به شرط حالات دمایی برای سه پهنه حاصل شد. هر یک از پهنه‌ها و زیر گروه‌های مربوط، منعکس‌کننده شرایط اقلیمی و سازوکارهای مؤثر بر آن است. از این رو، می‌توان روش به کار رفته در این پژوهش را رویه‌ای مناسب برای تحلیل‌های اقلیمی دانست.

**واژه‌های کلیدی:** احتمال شرطی، تحلیل خوشه‌ای، پهنه بندی، حالات دما و بارش

### مقدمه

اقلیم‌آکنده از واقعیت‌ها و رویدادهای تصادفی است که به طور قطعی، قابل برآورد و پیش‌بینی نیستند. پیشامد این رخدادها با کلمه احتمال توصیف می‌شود. بررسی این حالت‌های نامعین یا تصادفی را «دانش احتمال» بر عهده دارد. واژه «احتمال» بر عدم اطمینان نسبت به وقوع رویدادها و اندازه‌گیری این عدم اطمینان دلالت دارد (عساکره ۱۳۹۰: ۲۳۹-).

۲۴۰). فراوانی نسبی را می توان به عنوان برآوردی از ارزش احتمال در نظر گرفت (خیلیاک<sup>۱</sup> و همکاران ۲۰۰۵: ۴۸). در این صورت، احتمال باید به عنوان حد فراوانی نسبی پیشامد تلقی شود (عساکره ۱۳۹۰: ۲۴۲)؛ برای مثال، منظور از این که احتمال بارش باران در روزی معین ۰/۳ (۳۰٪) باشد، آن است که در شرایط جوی روز مفروض از هر ۱۰۰ بار ۳۰ بار بارندگی رخ داده است (عساکره، ۱۳۸۷: ۵۷).

در بسیاری مطالعات اقلیم شناختی، بررسی سرشت احتمالی ویژگی ها و پدیده های اقلیمی در کانون علاقه و توجه است؛ برای مثال، می توان به مطالعه احتمالاتی تداوم خشکسالی توسط برگر و گوسنس<sup>۲</sup> (۱۹۸۳: ۲۱-۳۴) اشاره کرد. ایشان تداوم دوره های خشک و تر یک ایستگاه در بلژیک را براساس روش احتمالاتی زنجیره های مارکوف بررسی کردند. مون و همکاران (۱۹۹۴، ۱۰۰۹-۱۰۱۶) نیز احتمال وقوع بارش های روزانه کره جنوبی را در معرض توجه قرار داده اند. پهنه بندی طول دوره های تر و خشک در اسپانیا براساس مشخصات احتمالاتی، به وسیله مارتین و گومز<sup>۳</sup> (۱۹۹۹: ۵۳۷-۵۵۵) انجام شد. تغییرات اقلیمی نیز به وسیله بنزی<sup>۴</sup> و همکاران (۱۹۸۳: ۵۶۷-۵۷۸) در قالب تئوری فرایندهای احتمالی بررسی شد. بارگرس و استفانسون<sup>۵</sup> (۱۹۹۹: ۱۰۲۷-۱۰۳۰) نیز به پدیده ال نینو از دیدگاه احتمالی پرداخته اند. در ایران مشکاتی (۱۳۶۳) احتمال تواتر روزهای خشک بابلسر، جعفری بهی (۱۳۷۸) نمونه هایی از ایستگاه های با حداقل ۳۰ سال بارش روزانه و نیز زارعی و شاهکار (۱۳۸۰: ۱۳۴-۱۴۴) تواتر روزهای بارانی خرمدره، اردک و زشک را تحلیل نموده اند. کیخانی و محمدی (۱۳۷۹: ۹۲۶) براساس توزیع فراوانی و میانگین متحرک بارش، احتمال وقوع و روند خشکسالی ها و ترسالی ها در سیستان (زابل) را مورد توجه قرار داده، ارزیابی کردند.

کاربرد نظریه احتمال در اقلیم شناسی، رفتار بسیاری از پدیده های اقلیمی به ظاهر غیر قطعی را به شکل قانونمند ارائه و به تصمیم گیری مدیران و آینده نگری برنامه ریزان کمک می کند. توضیح این که هرچند پدیده های مورد بحث، به طور قطع قابل برآورد نیستند، ولی از مشاهده پیاپی آنها آگاهی های مفیدی به دست می آید. یکی از رویکردها و ضرورت های مطالعات اقلیم شناسی، مطالعه احتمال رخداد چند رویداد در ارتباط با یکدیگر است؛ زیرا رخداد بسیاری از رویدادهای اقلیمی به شکل توأم محتمل بوده و گاهی وقوع یا عدم وقوع یک حادثه بر روی فراوانی یا احتمال وقوع حادثه دیگر اثر می نهد. در این حالت، علاوه بر فراوانی حادثه A که در تمامی n حالت محاسبه شده است، لازم است فراوانی وقوع حادثه مزبور در حالت هایی که حادثه مورد نظر دیگری نظیر B نیز رخ داده، محاسبه شود. فراوانی نسبی حادثه A از کل رویدادها را که همراه با حادثه B رخ داده، «احتمال توأم»<sup>۶</sup> گویند. شانس وقوع یک رویداد نظیر A به شرط وقوع رویدادی دیگر نظیر B و براساس احتمال توأم را «احتمال شرطی»<sup>۷</sup> گویند. در این حالت A رویدادی است که در نظر است بررسی شود و رویداد B اطلاعاتی است که برای شناخت احتمال رویداد A استفاده می شود. رویداد B را اطلاعات پیشین<sup>۸</sup> نیز می نامند (کی<sup>۹</sup> ۲۰۰۶: ۸۹-۹۰). شناخت این گونه رخدادها مطالعه تداخل عمل بسیاری عناصر،

1 - Khilyuk

2 - Berger and Goosens

3 - Martin-Vide and Gomez

4 - Benzi

5 - Burgers and Stephenson

6 - Joint Probability

7 - Conditional Probability

8 - Prior Knowledge

9 - Kay

عوامل و پدیده‌های اقلیمی را میسر می‌سازد و نیز جنبه‌های متعددی از سرشت تصادفی سامانه اقلیم را ارائه خواهد کرد. بر همین اساس، به مدیریت و آینده‌نگری مبتنی بر دانسته‌های اقلیمی کمک می‌کند.

در پژوهش حاضر، احتمال وقوع شرایط بارشی مختلف در سرزمین ایران، براساس شرایط دمایی متفاوت بررسی می‌شود؛ یعنی احتمال شرطی حالات بارش به شرط وقوع حالات دما بررسی خواهد شد. این نوع مطالعه، گونه‌ای از مدل‌سازی احتمالاتی است که در سطح ایران و جهان به کار گرفته نشده است؛ هر چند گونه‌های دیگری از مدل‌سازی احتمالاتی به وسیله اقلیم‌شناسان مورد استفاده بوده است. برای مثال، مدل‌سازی احتمالاتی خشکسالی به وسیله سن<sup>۱۰</sup> (۱۹۹۸: ۱۹۷-۲۰۶) آنگناستوپولو<sup>۱۱</sup> و همکاران (۲۰۰۳: ۷۷-۹۱) انجام شده است. این رویکرد در ایران به وسیله آشگر و همکاران (۱۳۸۲: ۱۱۹-۱۲۸) برای تحلیل مارکوفی خشکسالی استان خراسان و رضی و همکاران (۱۳۸۲) برای تحلیل تداوم و فراوانی خشکسالی‌های استان سیستان و بلوچستان، فولادمند (۱۳۸۵) برای پیش‌بینی بارندگی روزانه، سالانه و تعداد روزهای توام با بارش در منطقه نیمه خشک و دانشور و همکاران (۱۳۸۵: ۲۱-۳۶) برای تحلیل احتمالی خشکسالی شرق و جنوب شرق کشور و نیز عساکره (۱۳۸۷: ۴۶-۵۶) در تحلیل تواتر و تداوم روزهای بارانی ایستگاه تبریز مورد توجه بوده است.

## داده‌ها و روش پژوهش

در این پژوهش از داده‌های شبکه‌ای پایگاه داده اسفزاری ویرایش نخست که در دانشگاه اصفهان و به وسیله دکتر سید ابوالفضل مسعودیان طراحی شده، بهره برده‌ایم. داده‌های شبکه‌ای دما و بارش روزانه ایران که از این پایگاه داده برداشت شده، دارای تفکیک زمانی روزانه و از ۱۳۴۰/۰۱/۰۱ تا ۱۳۸۳/۱۰/۱۱ است. تفکیک مکانی داده‌ها ۱۵×۱۵ کیلومتر است که در سیستم تصویر لامبرت مخروطی هم‌شکل نگاشته شده‌اند. با توجه به مختصات یاد شده سراسر ایران با ۷۱۸۷ یاخته پوشیده می‌شود. بر این اساس، داده‌های شبکه‌ای بارش ایران آرایه‌ای است به ابعاد ۷۱۸۷ × ۱۵۹۹۲ که با آرایش گاه‌جای<sup>۱۲</sup> (زمان بر روی سطرها و مکان بر روی ستون‌ها) چیده شده است. درایه‌های این آرایه به کمک داده‌های ۱۴۳۶ ایستگاه همدید، اقلیمی و باران‌سنجی و با روش میانبایی کریگینگ برآورد شده است (نقشه شماره ۱). برای برآورد داده‌های شبکه‌ای هر روز از داده‌های بارش و دمای همه ایستگاه‌هایی که در آن روز بارش و دما را اندازه‌گیری کرده بودند، بهره برداری شده است. بنابراین، در برخی روزها تعداد اندازه‌گیری‌ها کمتر و در برخی روزها بیشتر بوده است. به منظور تحلیل توأم و شرطی حالات دما-بارش این پایگاه داده، مراحل زیر به انجام رسید:

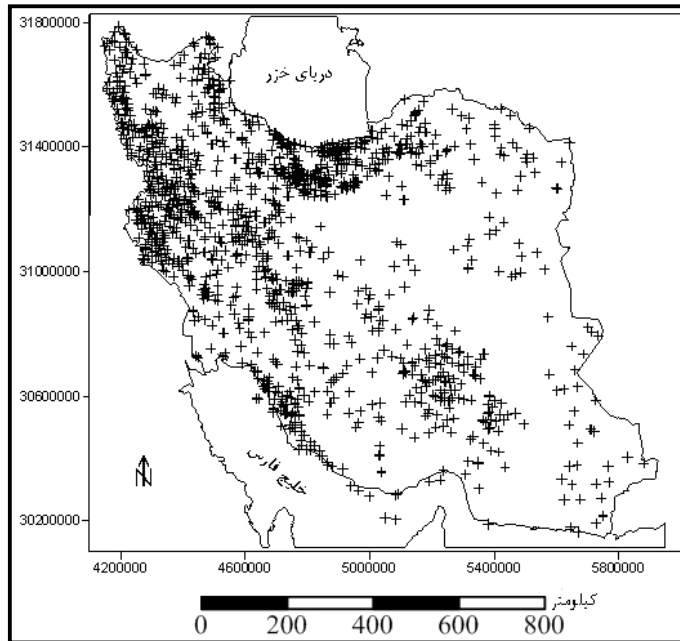
- در گام نخست حالات دما و بارش تعریف شد. در این راستا، ابتدا توزیع فراوانی دما برای هر یاخته بررسی شد. سپس براساس توزیع احتمال مربوط، چندک‌های دما برآورد و صدک‌های ۲۵ و ۷۵ توزیع فراوانی دمای روزانه هر یاخته برآورد گردید. در هر یاخته، روزهایی که دمای روزانه آن کمتر از صدک ۲۵ بود، به عنوان روزی سرد (C) در آن یاخته تلقی شد. به همین ترتیب، روزهایی که دمای آن یاخته برابر یا بیشتر از صدک ۷۵ آن یاخته بود، به عنوان روزی گرم (H) به حساب آمد. دمای روزانه هر یاخته که بین صدک ۲۵ و صدک ۷۵ قرار گیرد، به عنوان روزی با

10 - Sen

11 - Anagnostopoulou

12 - S-Mode

دمای بهینه (M) در نظر گرفته شد. سپس برای بارش نیز یک طبقه بندی صورت گرفت. در این بخش روزهای فاقد بارش (D) برای هر یاخته در یک طبقه قرار گرفتند. سپس توزیع فراوانی بارش در روزهای بارانی برای هر یاخته محاسبه و میانگین هر توزیع محاسبه شد. روزهایی که بارش کمتر از میانگین توزیع مربوط داشته اند، به عنوان روزهای کم باران (L) و روزهایی که برابر یا بیشتر از میانگین توزیع مربوط، بارش را تجربه کرده اند، به عنوان روز پرباران (W) در نظر گرفته شد.



شکل (۱) توزیع مکانی ایستگاه‌های مورد استفاده در میان یابی بارش

- در گام دوم برای هر یاخته، فراوانی توأم رویدادهای بالا در یک ماتریس  $3 \times 3$  به شکل رابطه (۱) ارائه شد. در این ماتریس، برای مثال  $f_{11}$  فراوانی توأم رخداد یک روز بدون بارش و سرد (دمای کم تر از صدک ۲۵ توزیع مربوط)،  $f_{12}$  فراوانی رخداد روز بدون بارش با دمای بهینه (دمای بین صدک ۲۵ و صدک ۷۵ توزیع مربوط)،... و  $f_{33}$  فراوانی توأم روز پربارش (بارش بیش از میانگین توزیع مربوط) با دمای زیاد (بیش از صدک ۷۵ توزیع مربوط) است.

$$F = \begin{matrix} & \begin{matrix} C & M & H \end{matrix} \\ \begin{matrix} D \\ L \\ W \end{matrix} & \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

- در گام سوم ماتریس، احتمال توأم هریک از رویدادهای بارشی - دمایی نسبت به هریک از حالات بارشی (براساس ماتریس ارائه شده در رابطه ۱) و نیز براساس رابطه زیر محاسبه شد:

$$F_{XY}(x, y) = P(X \leq x \cap Y \leq y) \quad (2)$$

در این رابطه احتمال این که متغیر  $X$  مقداری کمتر یا برابر با  $x$  و متغیر  $Y$  مقداری کمتر یا برابر با  $y$  اختیار کند (احتمال توأم)، بیان می‌شود (سونگ<sup>۱۳</sup>: ۲۰۰۴، ۴۹). نتایج برای هر یاخته به صورت ماتریس زیر به دست می‌آید:

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} C & M & H \end{matrix} \\ \begin{matrix} D \\ L \\ W \end{matrix} & \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (۳)$$

این مقادیر احتمال توأم دو حالت برای متغیر تصادفی دما و متغیر تصادفی بارش است. با فرض این که فراوانی نسبی را به عنوان تعریف احتمال بپذیریم، اعداد هریک از سلول‌های ماتریس رابطه ۱ بر مجموع سلول‌های هر ردیف تقسیم شد؛

$$\text{برای مثال: } p_{11} = \frac{f_{11}}{f_{11} + f_{12} + f_{13}}, p_{12} = \frac{f_{12}}{f_{11} + f_{12} + f_{13}}, \dots, p_{33} = \frac{f_{33}}{f_{31} + f_{32} + f_{33}}. \text{ بدین ترتیب، فراوانی}$$

نسبی (احتمال) وقوع توأم هر حالت دما - بارشی (نُه حالت) به دست آمد. این مقادیر به عنوان احتمالات تجربی رخداد توأم حالات دمایی - بارشی در نظر گرفته شده است. در واقع  $p_{11}$  احتمال اشتراک دو رویداد دمایی - بارشی است که می‌توان آن را به شکل  $P(D \cap C)$  نشان داد. احتمال رخداد توأم دو رویداد نشان از همبستگی آنهاست (کی ۲۰۰۶: ۸۳-۸۶). بزرگی این احتمال بیانگر بزرگی همبستگی مذکور است (ماخوپادهایای<sup>۱۴</sup>: ۲۰۰۴: ۱۰).

- در گام چهارم احتمال شرطی همزمان هریک از رخدادهای دمایی - بارشی که برای مثال به شکل  $P(D/C)$  نشان داده می‌شود، برای هر یاخته محاسبه شد. مفهوم این نماد "احتمال وقوع  $D$  به شرط وقوع  $C$ " است. بنابه تعریف (گریمت و استریزاکر<sup>۱۵</sup>: ۲۰۰۱: ۹):

$$P(D/C) = \frac{P(D \cap C)}{P(C)} \quad P(C) \neq 0 \quad (۴)$$

در این رابطه  $P(C)$  به معنی جمع احتمالات برای حالت دمایی  $C$  یعنی  $p_{11} + p_{12} + p_{13}$  است. بنابراین، در احتمال شرطی احتمال یک رخداد بارشی - دمایی خاص ( $P(D/C)$ ) تحت شرایط احتمال یک حالت دمایی خاص ( $P(C)$ ) مورد نظر است. مقدار  $P(C)$  موجب کاهش فضای نمونه  $P(D/C)$  می‌شود و احتمال شرطی را بهنجار می‌سازد (کی ۲۰۰۶: ۷۵). در سمت راست رابطه ۴، شرط  $P(C) \neq 0$  بیانگر این مطلب است که می‌بایست اطلاعات (حالات) پیشین محتمل باشد. همچنین، جمع احتمال برای حالت دمایی  $M$  ( $P(M)$ ) به صورت  $p_{12} + p_{22} + p_{32}$  و برای حالت دمایی  $H$  ( $P(H)$ ) به صورت  $p_{13} + p_{23} + p_{33}$  بیان می‌شود. بنابراین، نُه حالت احتمال شرطی را می‌توان به شکل زیر ارائه کرد:

$$P(i/j) = \begin{matrix} & \begin{matrix} C & M & H \end{matrix} \\ \begin{matrix} D \\ L \\ W \end{matrix} & \begin{bmatrix} P(D/C) & P(D/M) & P(D/H) \\ P(L/C) & P(L/M) & P(L/H) \\ P(W/C) & P(W/M) & P(W/H) \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (۵)$$

13 - Soong

14 - Mukhopadhyay

۱۵ - Grimmer and Strizaker

- در گام پنجم، نقشه های نه حالت مذکور، در معرض تحلیل خوشه ای قرار گرفت. در این گام با استفاده از روش فاصله اقلیدوسی<sup>۱۶</sup> و روش ادغام وارد<sup>۱۷</sup> نواحی همگن از نواحی ناهمگن افزای شد. در روش تعیین فاصله از رابطه زیر استفاده شد (جانسون و ویچرن، ۱۳۷۹: ۶۸۷-۶۸۸):

$$d_{jk} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_{ij} - P_{ik})^2} \quad (6)$$

در این رابطه، تفاوت احتمالاتی دو یاخته  $j$  و  $k$  با  $d_{jk}$  نشان داده می شود. مقدار احتمال حالت  $i$ ام روی یاخته  $j$ ام است. با استفاده از همین روش می توان گفت که  $P_{ik}$  مقدار احتمال  $i$ ام است که روی یاخته  $k$ ام محاسبه شده است؛ یعنی برای محاسبه  $d_{jk}$  دو یاخته  $j$  و  $k$ ، از داده های ستون های  $k$  و  $j$ ام ماتریس احتمالات استفاده و تفاوت مقادیر آنها به دست آمد. سپس ریشه دوم مجذور تفاوت احتمال هر جفت یاخته محاسبه می شود. مقدار  $d_{jk}$  بین صفر و بی نهایت متغیر است؛ یعنی  $0 \leq d_{jk} < +\infty$  است.

روش ادغام «وارد» بر مبنای کمینه سازی پراش درون گروهی استوار است. این روش در سال ۱۹۶۳ توسط «وارد» پیشنهاد شده است. در هر مرحله از این روش، ترکیب هر جفت دسته ممکن مورد توجه قرار می گیرد. بدین ترتیب، هر دو دسته ای که ادغام آنها سبب کمینه شدن مجموع مربعات خطا ( $SSE$ )<sup>۱۸</sup> شود، با یکدیگر ترکیب می شوند. بنابراین یاخته هایی که در یک جفت از گروه ها مجموع مربعات خطای کمینه داشته باشند، در یک دسته قرار می گیرند. عبارت ریاضی برای محاسبه مجموع مربعات خطا ( $SSE$ ) به شرح زیر است (فرشادفر، ۱۳۸۴: ۵۹۲):

$$E.S.S = \sum_{j=1}^k \left[ \sum_{i=1}^{n_j} P_{ij}^2 - \frac{1}{n_j} \left[ \sum_{i=1}^{n_j} P_{ij} \right]^2 \right] \quad (7)$$

در این فرمول  $P_{ij}$  ارزش احتمالی متناسب به یاخته  $i$ ام در گروه  $j$ ام است،  $k$  تعداد کل گروه ها در هر مرحله و  $n_j$  تعداد یاخته ها در گروه  $j$ ام است. این مجموع مربعات خطا را نمایه مجموع مربعات یا پراش<sup>۱۹</sup> نیز گویند. برای مثال، برای انجام این ادغام در مرحله اول هر یاخته به عنوان یک دسته دارای یک عضو در نظر گرفته می شود؛ در این صورت  $ESS=0$  خواهد بود. دو یاخته ای که ادغام آنها سبب افزایش  $ESS$ ، اما در عین حال نسبت به ادغام های دیگر کمینه باشد، اولین دسته را تشکیل می دهد. ملحق شدن یاخته های دیگر به دسته های تشکیل شده مرحله بعدی خواهد بود. نتایج حاصل از دسته بندی را می توان در یک دارنما<sup>۲۰</sup> نشان داد.

- گام ششم مربوط به تهیه و تحلیل نقشه های طبقه بندی شده یاخته های مورد بررسی براساس نه حالت ارائه شده در رابطه ۱ است.

16 - Euclidean Distance

17 - Ward

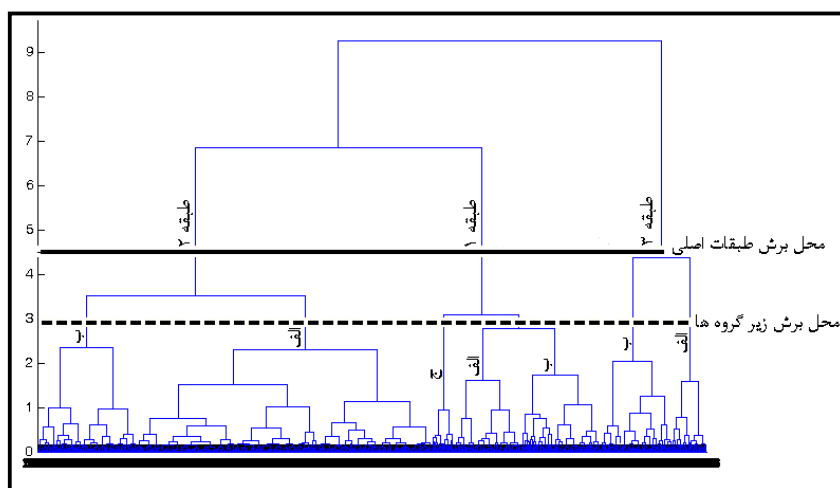
18 - Sum Square Error

19 - Variance

20- Danderogram

### یافته‌های پژوهش

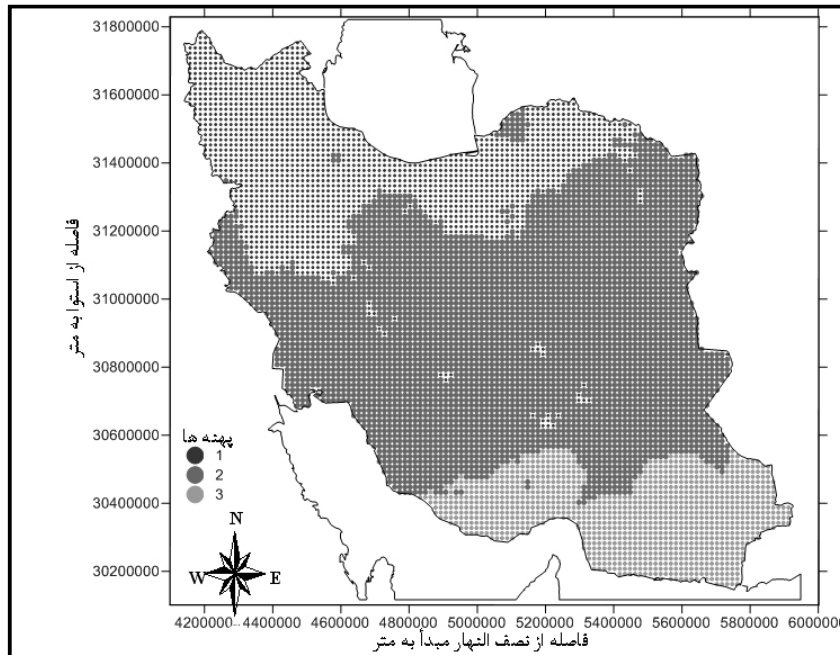
براساس نه حالت احتمال شرطی، نه نقشه احتمالاتی حالت بارش به شرط حالت دما تهیه شد<sup>۲۱</sup>. داده‌های مربوط به هر نقشه در کنار هم جمع آمدند. بنابراین، یک ماتریس  $9 \times 7187$  حاصل شد. عملیات تحلیل خوشه‌ای برای ماتریس مشاهدات اعمال شد. براساس روش آزمون و خطا تعداد سه پهنه (گروه‌های ۱، ۲ و ۳) از این دارنما قابل استنباط است. برای این گروه‌ها، ۷ زیرگروه (۳ زیرگروه برای پهنه ۱، ۲ زیرگروه برای هر یک از پهنه‌های دیگر) تشخیص داده شد. دارنمای این ماتریس در شکل (۲) ارائه شده است. محل برش طبقات (پهنه‌های) اصلی و زیرگروه‌های مذکور نیز نشان داده شده است. پهنه‌های سه‌گانه مشخص شده بر دارنمای شکل (۲) در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۲) دارنمای احتمال شرطی حالات بارش به شرط حالات دمایی ایران زمین

هرچند شکل عمومی پهنه‌ها با موقعیت جغرافیایی مشخص قابل افزایش، اما می‌توان در هر پهنه اثرهای محلی را از طریق یاخته‌های ناهمگون، اما محدود در هر پهنه ردیابی کرد. پهنه نخست، شمال، شمال غرب و بخش‌هایی از شمال شرق کشور را در بر می‌گیرد. این پهنه حدود  $24/8$  درصد از کل سرزمین ایران را در بر می‌گیرد. پهنه دوم عموماً بخش مرکزی و پهنه کوچکی در شمال شرقی خراسان شمالی را در بر می‌گیرد. این پهنه وسیع‌ترین گروه از گروه‌های سه‌گانه را در بر می‌گیرد. حدود  $59/7$  درصد از مساحت کشور، شامل بخش‌های غربی، مرکزی و شرقی تحت پوشش این پهنه است. پهنه سوم کم‌وسعت‌ترین پهنه را شامل می‌شود. این پهنه بخش‌هایی از جنوب شرقی کشور تا شمال و غرب تنگه هرمز را در بر می‌گیرد.

۲۱ - به منظور رعایت ایجاز و محدودیت‌هایی که در تحریر مقاله وجود دارد، از ارائه این نقشه‌ها پرهیز شده است. علاقه‌مندان برای دستیابی به این نقشه‌ها می‌توانند با نویسندگان مقاله تماس حاصل کنند.



شکل ۳) پهنه‌های احتمال شرطی حالات بارش به شرط حالات دما

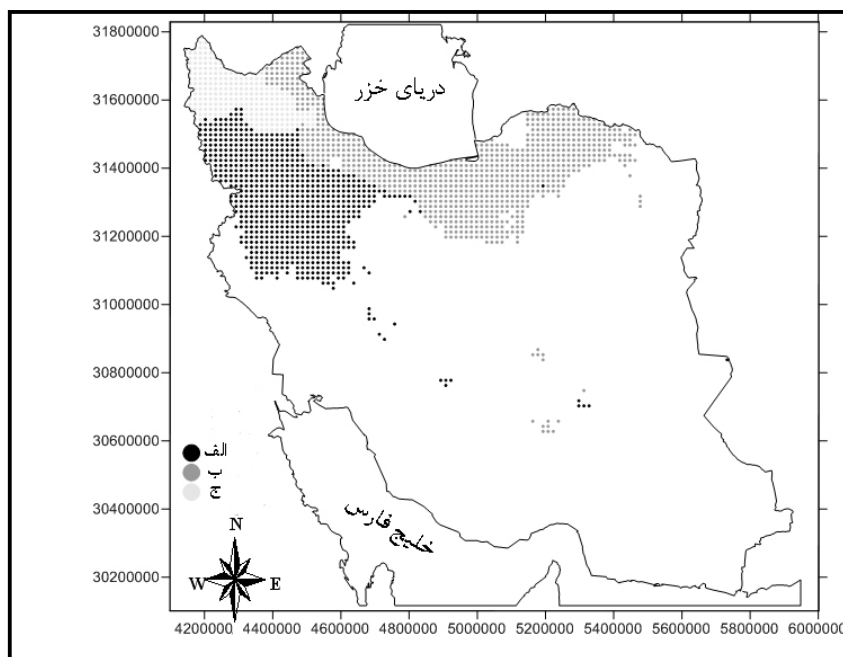
مشخصات متوسط احتمال شرطی بارش برای حالات مختلف دمای هر یک از پهنه‌ها در جدول (۱) ارائه شده است. دیده می‌شود که در هر سه پهنه روزهای بدون بارش به شرط گرمای شدید ( $P(D/H)$ ) بیش از حالات محتمل بدون بارش به شرط حالات دمایی دیگر رخ می‌دهد. بنابراین، در هر سه پهنه روزهای گرم (تابستانی) بدون بارش محتمل‌تر است. در پهنه سوم (جنوب شرق و اطراف تنگه هرمز) این احتمال کوچکتر از بقیه پهنه‌هاست؛ همچنانکه روزهای بدون بارش به شرط دمای سرد ( $P(D/C)$ )؛ یعنی بارش‌های زمستانی کم احتمال‌تر از پهنه‌های دیگر است. همچنین، احتمال بیشتر روزهای بدون بارش با دمای ملایم از وجوه افتراق پهنه دوم و سوم از پهنه اول است. روزهای کم بارش (بارش کمتر از میانگین) همانند روزهای بدون بارش در هر سه پهنه در روزهای بسیار گرم محتمل‌تر است. این امر به ویژه در پهنه شماره ۲ نمایان‌تر است.

در هر سه پهنه روزهای توأم با بارش کم مقدار به شرط دماهای کم در درجه دوم احتمال قرار دارند. در پهنه نخست روزهای کم بارش - سرد محتمل‌تر از روزهای مشابه در دو پهنه دیگر است. پهنه سوم نسبت به دو پهنه دیگر روزهای کم بارش با دمای متوسط را بیشتر تجربه می‌کند. روزهای پربارش (بارش برابر یا بیش از متوسط) به شرط دمای کم در تمامی سه پهنه و به ترتیب در پهنه شماره ۲ و ۳ نمایان‌تر و روزهای پربارش به شرط گرمای شدید در هر سه پهنه کم احتمال‌تر است. روزهای پربارش ملایم، در پهنه اول و دوم به ترتیب بزرگترین احتمالات را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول (۱) احتمال شرطی حالات بارش به شرط حالات دما برای پهنه‌های سه گانه

$P(W/H)$	$(W/M)$ $P$	$P(W/C)$	$(M/H)$ $P$	$(M/M)$ $P$	$P(M/C)$	$P(D/H)$	$P(D/M)$	$P(D/C)$	احتمال پهنه‌ها
۰/۱۰۶۱	۰/۴۵۵۸	۰/۴۳۸۱	۰/۴۴۸	۰/۲۱۱۹	۰/۳۴۰۱	۰/۴۴۶۷	۰/۳۳۰۹	۰/۲۲۲۴	پهنه ۱
۰/۰۶۹۶	۰/۴۰۸۶	۰/۵۲۱۸	۰/۴۹۵۷	۰/۲۲۰۹	۰/۲۸۳۴	۰/۴۳۵۵	۰/۳۷۱۲	۰/۱۹۳۳	پهنه ۲
۰/۱۸۵۷	۰/۲۹۹۳	۰/۵۱۵	۰/۴۱۲۳	۰/۲۹۳۴	۰/۲۹۴۳	۰/۴۲۲۷	۰/۴۰۶۹	۰/۱۷۰۴	پهنه ۳

با توجه به شکل (۳) می‌توان دید که هریک از پهنه‌های سه‌گانه، گستره وسیعی از کشور را در بر می‌گیرند. بنابراین و طبق آنچه از شکل (۲) می‌توان استنباط نمود، هریک از پهنه‌ها را می‌توان به زیر گروه‌هایی طبقه‌بندی کرد. وجه تمایز و افتراق این زیر گروه‌ها را می‌توان در یک یا چند صفت ردیابی نمود. در دنباله بحث به این امر خواهیم پرداخت: پهنه اول که حدود ۲۴/۸ درصد از کل کشور را در بر می‌گیرد، به سه زیر گروه الف، ب و ج قابل طبقه‌بندی است. موقعیت این سه زیر گروه را می‌توان در شکل (۴) مشاهده کرد. زیر گروه‌های الف، ب و ج به ترتیب حدود ۹/۹، ۱۱/۷ و ۳/۲ درصد از وسعت کشور را در بر می‌گیرند. جدول (۲) مشخصات احتمال شرطی حالات بارش به شرط دما را برای سه زیر گروه این پهنه نشان می‌دهد.



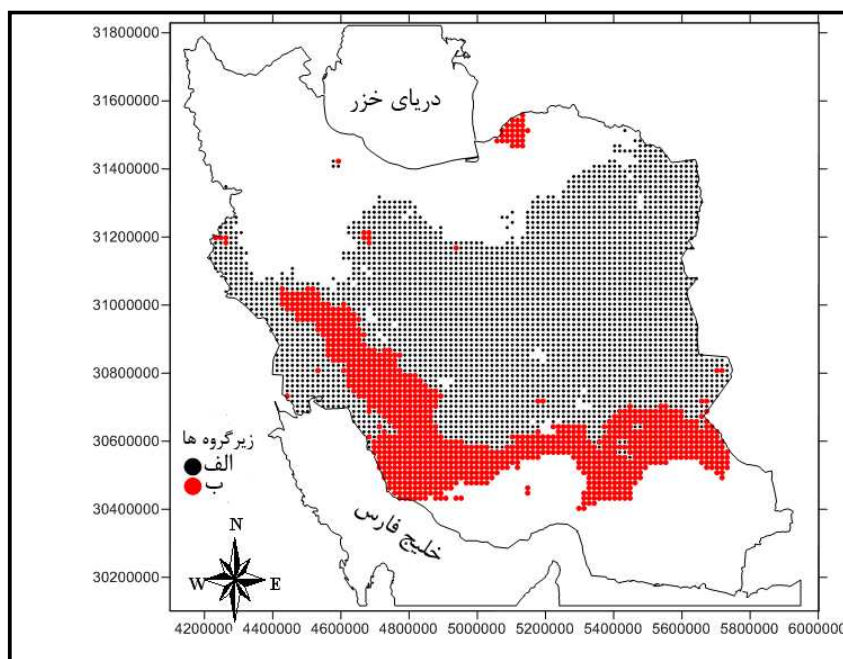
شکل (۴) زیر گروه‌های پهنه اول احتمال شرطی حالات بارش به شرط حالات دما

وجه تمایز زیر گروه الف با دو زیر گروه دیگر در روزهای بدون بارش به شرط گرمای شدید است که در گروه الف بسیار نمایان است؛ زیرا طبق یافته‌های ذوالفقاری (۱۳۷۷: ۱۱-۱۲)، از بخش‌های شمالی به سمت این ناحیه بارش‌های تابستانی - همرفتی رو به کاهش می‌نهد. وجه افتراق زیر گروه ب با دو زیر گروه دیگر را می‌توان به روزهای پربارش؛ به ویژه در حالت دمایی متوسط و بسیار گرم نسبت داد. در حالت نخست روزهای پرباران با احتمال کمتر و در حالت دوم با احتمال بیشتری نسبت به دو زیر گروه دیگر مورد انتظار است. وجه تمایز زیر گروه ج با دو زیر گروه دیگر در روزهای بدون بارش و سرد است که احتمالی بیش از بقیه زیر گروه‌ها دارد. این امر نشان از تاثیر پذیری روزهای بدون بارش از سامانه‌های سردی دارد که موجب پایداری جوی می‌شود. هرچند که این ویژگی در تمامی زیر گروه‌ها مشهود است، اما شدت این پدیده در زیر گروه ج به خاطر مجاورت با ارتفاعات قفقاز و ریزش‌های سرد این نواحی؛ به ویژه در فصل سرد نمایان‌تر است (برای بحثی مشابه، رک: علیجانی، ۱۳۷۴: ۱۳۰). این ویژگی را می‌توان در احتمال روزهای پربارش و سرد نیز دید. در این جا روزهای پربارش به شرط سردی هوا کم‌احتمال‌تر از سه زیر گروه دیگر است؛ همچنانکه روزهای کم‌بارش به شرط روز سرد نیز در این زیر گروه محتمل‌تر است.

جدول ۲) احتمال شرطی حالات بارش به شرط حالات دما برای زیر گروه های پهنه ۱

$P(W/H)$	$P(W/M)$	$P(W/C)$	$P(M/H)$	$P(M/M)$	$P(M/C)$	$P(D/H)$	$P(D/M)$	$P(D/C)$	احتمال زیر گروه
۰/۰۲۶۷	۰/۴۹۲۵	۰/۴۸۰۸	۰/۴۴۳۲	۰/۲۲۱۲	۰/۳۳۵۶	۰/۴۷۶۶	۰/۳۱۹۳	۰/۲۰۴۱	الف
۰/۱۰۳۷	۰/۴۴۱۱	۰/۴۵۵۲	۰/۴۴۰۵	۰/۲۴۶۹	۰/۳۳۲۶	۰/۴۴۶۳	۰/۳۵۰۳	۰/۲۲۳۴	ب
۰/۱۲۰۶	۰/۵۲۷۳	۰/۳۵۲۱	۰/۴۱۵۲	۰/۲۱۲۹	۰/۳۷۱۹	۰/۴۲۸۵	۰/۲۹۶۷	۰/۲۷۴۸	ج

پهنه دوم شامل بخش های عمده از ایران مرکزی، شرق غرب و جنوب غرب کشور است که بیش از نیمی از ایران زمین را دربر می گیرد. بخش کوچکی از این پهنه در شمال غرب خراسان شمالی و در مجاورت دشت گرگان قرار دارد. طبق دارنمای ارائه شده در شکل (۱) این پهنه به دو زیر گروه قابل تقسیم است. این دو زیر گروه را می توان در شکل (۵) دید. بخش اعظم این پهنه (حدود ۴۵/۱ درصد از ۵۹/۷ درصد مساحت کشور) شامل جلگه های غربی، دشت های مرکزی و شرقی و ارتفاعات شرقی کشور است که در زیر گروه الف جای می گیرد. بلندی های زاگرس و ارتفاعات جنوب شرقی کشور و نیز بخش کوچک خراسان شمالی با ۱۴/۶ درصد از مساحت کل کشور در زمره زیر گروه جای گرفته است.



شکل ۴) زیر گروه های پهنه دوم احتمال شرطی حالات بارش به شرط حالات دما

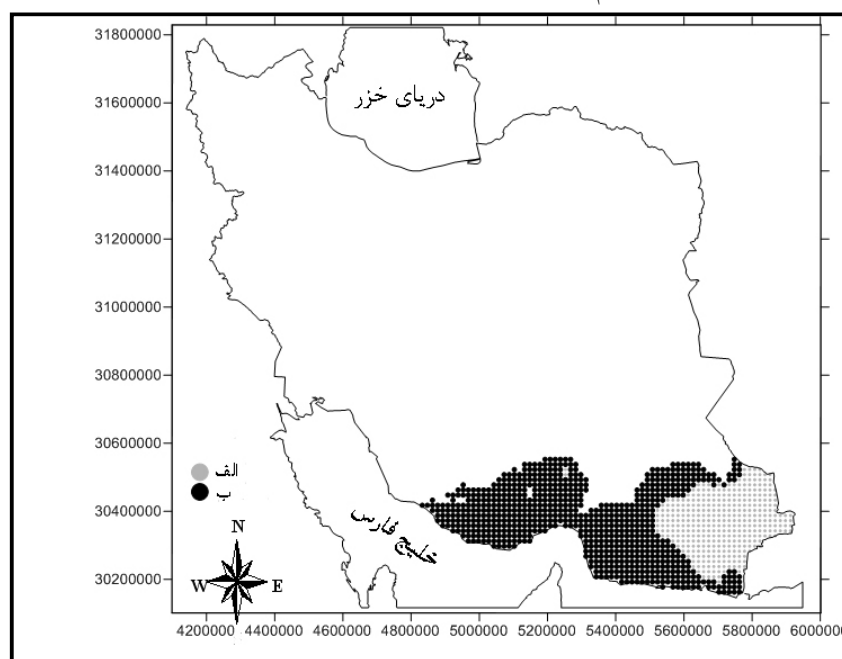
مشخصات زیر گروه های پهنه دوم در جدول (۳) ارائه شده است. چنانکه در جدول می توان دید، این دو گروه در برخی صفات تفاوت ها و تباین های نسبتاً قابل توجه و در بسیاری موارد مشابهت های چشمگیر نشان می دهند؛ برای مثال، شباهت های این دو زیر گروه در روزهای بدون بارش و در دو حالت روزهای کم بارش؛ یعنی:  $P(M/C)$  و

$P(M / M)$  قابل تأمل است؛ در حالی که روزهای کم بارش به شرط گرمای شدید در گروه ب محتمل تر از گروه الف است. این امر به بارش های فصل گرم در زاگرس (بارش همرفتی) و ارتفاعات بخش های شرقی (بارش های موسمی) اشاره دارد. همچنین، بارش های شدید در زیر گروه ب در حالت دمایی سرد محتمل تر از زیر گروه الف است. طبق یافته های لشکری (۱۳۷۵) و مفیدی (۱۳۸۳) این شرایط را می توان به فعالیت سامانه کم فشار سودانی (دریای سرخ) نسبت داد. در شرایط ملایم و گرم بارش های شدید در گروه الف محتمل تر است. این امر را می توان به بارش های تابستانه و بهاره در بخش هایی از غرب کشور و نیز بارش های بهاره در مرکز کشور نسبت داد.

جدول ۳) احتمال شرطی حالات بارش به شرط حالات دما برای زیر گروه های پهنه ۲

P(W/H)	P(W/M)	P(W/C)	P(M/H)	P(M/M)	P(M/C)	P(D/H)	P(D/M)	P(D/C)	احتمال زیر گروه
۰/۰۲۵۵	۰/۴۳۲۲	۰/۵۴۲۳	۰/۴۸۹۸	۰/۲۲۳۹	۰/۲۸۶۳	۰/۴۲۶۷	۰/۳۶۶۸	۰/۲۰۶۵	الف
۰/۰۴۸۸	۰/۳۸۱۲	۰/۵۷۰۰	۰/۴۵۶۱	۰/۲۵۱۹	۰/۲۹۲۰	۰/۴۴۶۲	۰/۳۷۶۸	۰/۱۷۷۰	ب

پهنه سوم که مشتمل بر ۱۵/۴ درصد از مساحت کشور است، در جنوب شرق و بخشی از جنوب کشور استقرار یافته و به دو زیر گروه تقسیم می شود. زیر گروه الف با وسعت کمتر (حدود ۵ درصد) در بخش شرقی پهنه و تقریباً منتها الیه جنوب شرقی کشور قرار دارد. زیر گروه ب نیز با وسعت حدود ۱۰/۴ درصد بقیه پهنه سوم را در بر می گیرد. تمایز این دو پهنه را می توان به شرحی که می آید، برشمرد: روزهای بدون بارش گرم و معتدل در زیر گروه ب محتمل تر از گروه الف است. بارش های کم مقدار در زیر گروه الف در روزهای سرد و در گروه ب در روزهای گرم محتمل تر است. بارش های پر مقدار روزهای سرد در زیر گروه ب و در روزهای گرم و معتدل در زیر گروه الف محتمل تر است. این امر تاثیر افزون تر بارش های فصل گرم گروه الف را نشان می دهد.



شکل ۵) زیر گروه های پهنه دوم احتمال شرطی حالات بارش به شرط حالات دما

جدول ۴) احتمال شرطی حالات بارش به شرط حالات دما برای زیر گروه های پهنه ۳

احتمال زیر گروه	$P(D/H)$	$P(D/M)$	$P(D/C)$	$P(M/H)$	$P(M/M)$	$P(M/C)$	$P(W/H)$	$P(W/M)$	$P(W/C)$
الف	۰/۳۹۴۱	۰/۴۰۳۶	۰/۲۰۲۳	۰/۳۴۶۷	۰/۲۹۷۷	۰/۳۵۵۶	۰/۲۵۷۲	۰/۲۹۷۹	۰/۴۴۴۹
ب	۰/۴۳۰۷	۰/۴۰۴۱	۰/۱۶۵۲	۰/۴۱۰۷	۰/۲۹۳۴	۰/۲۹۵۹	۰/۱۲۸۱	۰/۲۹۶۱	۰/۵۷۵۸

## نتیجه گیری

در این پژوهش، براساس روش احتمال شرطی، احتمال وقوع بارش به شرط حالات دمایی تحلیل شد. براین اساس سه پهنه دمایی به دست آمد. این پهنه بندی هرچند با استمداد از زمان و مقدار احتمال رویدادهای دمایی - بارشی انجام شد، اما زمان احتمال رخدادها نقش تعیین کننده تری در پهنه ها داشته اند.

هریک از پهنه های اصلی براساس ویژگی (های) خاصی از احتمال شرطی به زیر گروه هایی تقسیم می شوند. این زیر گروه ها؛ به ویژه در پهنه ۱ و ۲ به نحو بارزی از جهت گیری پیکره ناهمواری های اصلی کشور پیروی می کنند. در پهنه سوم ضمن اثرگذاری ملموس ناهمواری ها، چیرگی نقش جهت گیری سواحل دریای عمان - تنگه هرمز را می توان به خوبی مشاهده کرد؛ همان طور که ویژگی سامانه و ساز و کار موسمی نیز قابل تأمل است.

هریک از پهنه ها و زیر گروه های مربوط، منعکس کننده شرایط اقلیمی غالب است. برای مثال، در پهنه ۱ بارش های شدید در شرایط دمایی بهنجار بیش از پهنه های دیگر است. می توان بارش فصول حد فاصل نظیر بارش های بهاره شمال غرب و بارش پاییزه شمال ایران را استنباط نمود. در عین حال، در پهنه سوم شرایط پربارش در روزهای گرم نسبتاً بیشتر است. بنابراین، می توان بارش های تابستانه را استنباط نمود. همچنین، شرایط سرمای تولید شده در شمال غرب موجب کاهش بارندگی بخش شمالی و در عین حال، فزونی بارش فصل سرد در دو پهنه گویای ظهور رژیم بارش زمستانه در ایران زمین است.

## منابع

- ۱- آشگر طوسی، شادی؛ عزیزاده، امین و جوانمرد، سهیلا. (۱۳۸۲). پیش بینی احتمال وقوع خشکسالی در استان خراسان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ش ۷۰ - ۱۱۹ - ۱۲۸.
- ۲- جانسون، ریچارد. آ و ویچرون. دین. دلیو. ترجمه نیرومند، حسنعلی. (۱۳۷۹). تحلیل آماری چند متغیری کاربردی، مشهد: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۳- جعفری بهی، خدابخش. (۱۳۷۸): تحلیل آماری دوره های تر و خشک بارندگی در چند نمونه اقلیمی ایران با استفاده از زنجیره مارکف، پایان نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی.
- ۴- دانشور، محمدرضا؛ توکلی، عبدالرسول و دانائیان، محمدرضا. (۱۳۸۵). تحلیل دوره های بازگشت خشکسالی در شرق و جنوب شرق کشور، نیوار، ش ۶۲ و ۶۳.
- ۵- ذوالفقاری، حسن. (۱۳۷۷). تحلیلی بر بارش های بهاری غرب ایران، نیوار، ش ۴۰، صص ۷-۲۲.

- ۶- رضیی، طیب؛ شکوهی، علیرضا و ثقفیان، بهرام. (۱۳۸۲). پیش بینی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی با استفاده از روش های احتمالاتی و سری های زمانی ( مطالعه موردی: استان سیستان و بلوچستان)، بیابان، ش ۸: ۲۹۲-۳۱۰.
- ۷- زارعی، حسن و غلامحسین شاهکار. (۱۳۸۰). " بررسی احتمال تواتر روزهای بارانی و خشک مناطق خرمدره- ارداک و زشک"، سومین سمینار احتمال و فرایندهای تصادفی، دانشگاه اصفهان ۷ و ۸ شهریور ماه ۱۳۴: ۱۳۸۰-۱۴۴.
- ۸- عساکره، حسین. (۱۳۸۷). بررسی احتمال تواتر و تداوم روزهای بارانی در شهر تبریز با استفاده از مدل زنجیره مارکوف، تحقیقات منابع آب ایران، ش ۱۱، سال چهارم، ش ۲: ۴۶-۵۶.
- ۹- \_\_\_\_\_ (۱۳۹۰). مابانی اقلیم شناسی آماری، زنجان: انتشارات دانشگاه زنجان، ۵۴۸ صفحه.
- ۱۰- فرشادفر. عزت الله. (۱۳۸۴). " اصول و روش های آماری چند متغیره". کرمانشاه: انتشارات دانشگاه رازی
- ۱۱- فولادمنند، حمیدرضا. (۱۳۸۵). پیش بینی بارندگی روزانه و سالانه و تعداد روزهای بارانی در سال با استفاده از زنجیره مارکوف در یک منطقه نیمه خشک، علوم کشاورزی، ش ۱۲: ۱۱۳-۱۲۵.
- ۱۲- کیخائی، فاطمه و محمدی کوروش. (۱۳۷۹). جایگاه خشکسالی در سیستان و بررسی روند آن از دیدگاه کشاورزی، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم آبی و خشکسالی، صفحه ۹۲۶.
- ۱۳- لشکری، حسن. (۱۳۷۵). الگوی بارش های سیل زا در جنوب غرب ایران، رساله دکتری، تهران: دانشگاه تربیت مدرس.
- ۱۴- مشکانی، محمدرضا. (۱۳۶۳). بررسی احتمال تواتر روزهای خشک بابلر از دیدگاه بیز تجربی، مجله علوم آب، ش ۳.
- ۱۵- مفیدی، عباس. (۱۳۸۳). اقلیم شناسی سینوپتیکی بارش های سیل زا با منشأ منطقه دریای سرخ در خاورمیانه، تحقیقات جغرافیایی، ش ۸۳، صص ۷۱-۹۳.
- 16- Anagnostopoulou, Chr . Mahera, S . Karacostas, T and Vafiadis (2003), Spatial and Temporal analysis of Dry Spells in Greece. Theor.Appl.Climatol. 74, 77-91
- 17- Benzi .G , A.Parisi. and A. Sutura and A. Vulpiani, 1983, A theory of Stochastic resonance in climatic change, Siam J., Appl.Math.,43, 565-578.
- 18- Berger, A. and Goossens, C.H.R., 1983, 'Persistence of wet and dry spells at Uccle (Belgium)', J. Climatol., 3, 21-34.
- 19- Burgers.G and D.B.Stephenson, 1999, The Normality of Elnino, Geophys.Res. Lett.26, 1027-1030.
- 20- Grimmett, Geoffrey and Strizaker, David.2001 :Probability and Random Processes. Third Edition. Oxford University Press. UK. pp 608
- 21- Kay. Steven.M. 2006: Intuitive Probability and Random Processes Using MATLAB. Springer. U.S.A.
- 22- Khilyuk .Leonid .R , Chilingar . George. V. and Rieke Herman H 2005: Probability in Petroleum and Environmental Engineering. The Gulf Publishing Company Houston, Texas. U .S. A.
- 23- Martin-Vide, Javier and Gomez ,Linda 1999, Regionalization of Peninsular Spain Based on the Length of Dry Spells. Int.J. Climatol.19, 537-555
- 24- Moon. Eull.S , Boom Ryoo. S , Gi Kwon. J .1994, A Markov Chain Model for Daily Precipitation Occurrence in South Korea. Inter.Jour.Climato .
- 25- Mukhopadhyay .Nitis . 2004: Probability and Statistical Inference. Marcel Dekker, INC. NEW YORK.U.S.A

- 26- Sen , Z (1998), Probabilistic Formulation of Spatio – Temporal Drought Pattern ,  
Theor.Appl.Climatol. 61, 197-206
- 27- Soong,T,T. 2004: Fundamentals of Probability and Statistics for Engineers . John Wiley & Sons  
Ltd, England .pp 408