

ارزیابی توان الگوی زنجیره مارکوف در برآورد و پهنه‌بندی احتمالاتی روزهای خشک ایران

حسین عساکره^۱ - دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
فریبا صیادی - دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۲۴ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۳/۱۸

چکیده

یکی از شاخه‌های دانش بشری که قادر است برخی رخدادهای اقلیم را نمایش و ترسیم کند، دانش احتمالات است. در این تحقیق، صلاحیت الگوی زنجیره مارکوف برای برآورد روزهای خشک و پهنه‌بندی احتمالاتی مورد ارزیابی قرار گرفت. بر این اساس، داده‌های شبکه‌ای بارش روزانه ایران با تفکیک زمانی روزانه از ۱۳۴۰/۰۱/۰۱ - ۱۳۸۹/۱۰/۱۱ و مکانی داده‌ها ۱۵×۱۵ کیلومتر مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از زنجیره مارکوف به تحلیل احتمالی و پهنه‌بندی روزهای خشک ایران پرداخته شد. روزهای خشک پیش‌بینی شده در ماه‌های فصل زمستان و فصول دیگر به روزهای خشک واقعی اتفاق افتاده، نزدیک بوده است. بر اساس ۴۸ نقشه مشخصات مارکوفی روزهای خشک، داده‌های مربوط به هر نقشه در کنار هم جمع آمدند. عملیات تحلیل خوشه‌ای بر این آرایه مشاهدات اعمال شد. بر اساس روش آزمون وخطا تعداد ۶ پهنه استخراج گردید. پهنه‌های مورد بررسی در این مطالعه از نظر خشکسالی با همدیگر تفاوت داشته‌اند. پهنه اول دامنه‌های غربی زاگرس، پهنه دوم نواری از شمال شرقی، جنوب البرز، شمال غربی و تا حدودی غرب کشور، پهنه سوم بخش‌هایی از مناطق شمال شرقی و ارتفاعات لاله‌زار و هزار و قسمت‌هایی از جنوب، پهنه چهارم تقریباً نیمی از مساحت کشور در مناطق مرکزی، شرق و بخش‌هایی از جنوب، پهنه پنجم با کم‌ترین مساحت بخش‌های مرکز و غرب کرانه‌های خزری و گروه ششم بخش‌هایی از شرق دریای خزر و شمال غربی کشور را در برمی‌گیرد. در نهایت یافته‌ها نشان داد که صلاحیت الگوی زنجیره مارکوف در برآورد روزهای خشک (برای تمام فصول پهنه کشور) از صلاحیت بسیار بالایی برخوردار است.

کلیدواژه‌ها: احتمال، پهنه‌بندی، روز خشک، الگوی زنجیره مارکوف، ایران.

۱. مقدمه

اقلیم، آکنده از واقعیت‌ها و رویدادهای تصادفی است که به‌طورقطع، 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: ۲۴۰-۲۳۹). کاربرد نظریه احتمال در اقلیم‌شناسی رفتار، بسیاری از پدیده‌های اقلیمی به‌ظاهر غیرقطع را به شکل قانون‌مند ارائه و به تصمیم‌گیری مدیران و آینده‌نگری برنامه‌ریزان کمک می‌کند. توضیح این‌که هرچند پدیده‌های موردبحث، به‌طورقطع قابل برآورد نیستند ولی از مشاهده پیاپی آن‌ها آگاهی‌های مفیدی به دست می‌آید. یکی از الگوهای احتمالاتی مورد استفاده در تحقیقات اقلیمی، مدل زنجیره مارکوف است. در بسیاری مطالعات اقلیم‌شناختی، بررسی سرشت احتمالی ویژگی‌ها و پدیده‌های اقلیمی بر اساس الگوی زنجیره مارکوف در کانون علاقه و توجه است. به‌عنوان مثال: گریگورتن^۱ (۱۹۶۶) زنجیره مارکوف را جهت تخمین تواتر و استمرار چندین ساعته تا چندین هفته‌ای وقایع هواشناسی مفید دانسته است. فیرهرم و دین بارک^۲ (۱۹۶۷) جهت تحلیل توالی روزهای تر و خشک از زنجیره مارکوف بهره بردند و دریافتند که در شمال ایالت متحده دوره بارانی اوایل بهار بعد از دو روز تر پایان می‌یابد و تخمین احتمال تواتر روزهای تر و خشک هم به‌وسیله الگو زنجیره مارکوف بسیار مناسب است. تودوروویچ و ول‌هایزر^۳ (۱۹۷۴) در بررسی الگو احتمالی بارش n روزه، استیم^۴ (۱۹۸۰) در بررسی بارش هند و نیجریه از زنجیره مارکوف بهره گرفتند. بدرالدین یوسف محمد^۵ (۱۹۹۷) با استفاده از داده‌های ۵۶ ایستگاه هواشناسی و به روش تحلیل عاملی و خوشه‌ای به طبقه‌بندی آب‌وهوایی عربستان سعودی پرداخت. انانوستوپولو^۶ و همکاران (۲۰۰۳) به تحلیل زمانی و مکانی خشکسالی‌های یونان پرداخت که نتایج مطالعه وی نشان داد که الگوی زنجیره مارکوف با رخدادهای مشاهده شده انطباق مناسبی دارند. آنا^۷ و همکاران (۲۰۰۷) به طبقه‌بندی خشکسالی با استفاده از الگوی شاخص خشکسالی^۸ و الگوی زنجیره مارکوف پرداختند. آن‌ها با استفاده از این مدل نشان دادند که احتمال وقوع خشکسالی‌های اقلیمی از ویژگی‌های فصلی تبعیت می‌کند. هلی^۹ و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از داده‌های روزانه بارش ۹۷ ایستگاه هواشناسی چینگ‌های-فلات تبت طی دوره

1 Grigorten

2 Feyerherm and Dean Bark

3 Todorovic and woolhiser

4 Stem

5 Badraddin Yusuf Mohammad

6 Anagnostopoulou

7 Ana

8 SPI

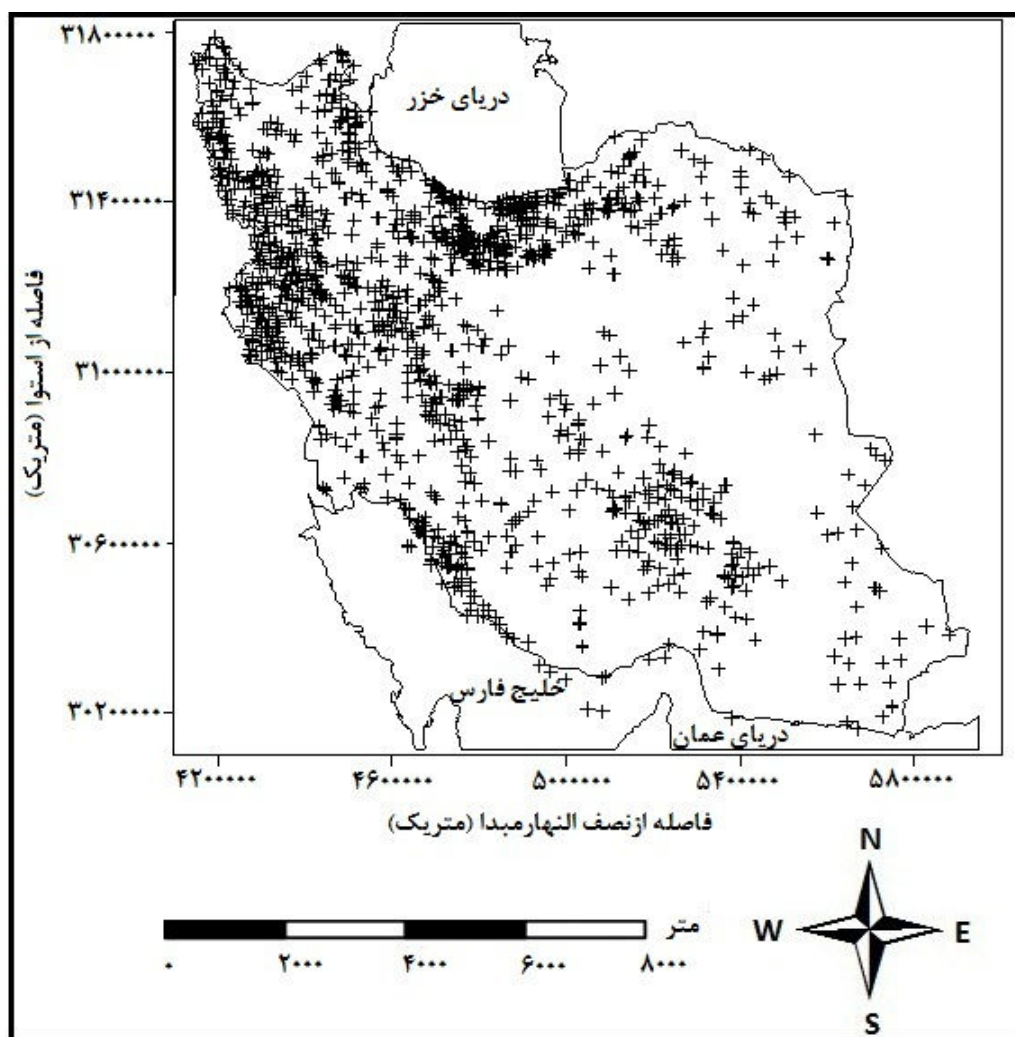
9 Heli

آماری (۲۰۰۴-۱۹۶۱) با استفاده از تحلیل خوشه‌ای ایستگاه‌ها را به پنج محدوده ارتفاعی خوشه‌بندی کرد که تا محدوده ارتفاعی ۳۵۰۰ با افزایش ارتفاع میزان بارش تابستانه این منطقه افزایش می‌یابد. اندیشمندان ایرانی نیز در بررسی‌های ناحیه‌ای و نقطه‌ای مدل زنجیره مارکوف را به کار گرفته و اثبات کرده‌اند که روش مورد بحث روشی شایسته در ردیابی ویژگی‌های اقلیمی است. به‌عنوان مثال علیزاده و آشگرطوسی (۱۳۸۶) با استفاده از داده‌های ماهانه ایستگاه‌های همدید خراسان رضوی طی دوره آماری ۲۰۰۷-۱۹۷۷ و با به‌کارگیری الگوی زنجیره مارکوف به پیش‌وضعیت خشکسالی و ترسالی پرداخته‌اند. همچنین نتایج پیش‌بینی ماهانه حاکی از وجود ترسالی و خشکسالی ملایم در برخی ایستگاه‌های مورد مطالعه است. عساکره (۱۳۸۹) با استفاده از آمار میانگین دمای حداقل روزانه ماه‌های مهر و فروردین طی دوره آماری ۱۳۸۳-۱۳۳۹ ایستگاه زنجان به بررسی احتمال تواتر و تداوم یخبندان‌های زودرس و دیررس در شهر زنجان پرداخت و در نهایت نتایج نشان داد که احتمال وقوع یخبندان در هر روز برای فروردین ماه ۰/۳۵۱۹ و برای مهرماه ۰/۳۷۵ است. علیجانی و همکاران (۱۳۸۹) با به‌کارگیری مدل زنجیره مارکوف برای طول دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۹۱ به بررسی تداوم روزهای یخبندان در ایران پرداختند. علیجانی و همکاران (۱۳۹۰) با به‌کارگیری الگوی زنجیره مارکوف نهان به بررسی تداوم دو وضعیتی بارش‌های سالانه جنوب شرق کشور پرداختند. در پژوهش حاضر، ضمن بهره‌گیری از روش مارکوف بر پایگاه داده‌های بارش، صلاحیت این روش بر هر نقطه و برای روزهای هرماه از پهنه کشور، ارزیابی شده است. بدین ترتیب احتمال وقوع روزهای خشک ایران بر اساس بارش‌های روزانه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

با توجه به این که سازمان هواشناسی کشور داده‌های بارش روزانه دهه اخیر را به دلیل عدم آماده بودن فرمت در اختیار کاربران قرار نداده است، در این پژوهش از داده‌های شبکه‌ای بارش روزانه ایران که در دانشگاه اصفهان به وسیله سید ابوالفضل مسعودیان طراحی شده، برداشت شده است. این داده‌ها دارای تفکیک زمانی روزانه از ۱۳۴۰/۰۱/۰۱ - ۱۳۸۹/۱۰/۱۱ 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 هریک از داده‌های شبکه‌ای دما و بارش ایران آرایه‌ای است به ابعاد ۱۸۲۱۸ × ۷۱۸۷ که با آرایش گاه جای^۱ (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 بارش میان‌یابی

کریجینگ^۱ برآورد شده است. معرفی و کاربرد روش کریجینگ در میان یابی مشاهدات اقلیمی به وسیله عساکره (۱۳۸۷) ارائه شده است. پراکندگی مکانی ایستگاه‌های مورد استفاده، در شکل ۱ ارائه شده است. برای برآورد داده‌های شبکه‌ای هرروز از داده‌های همه ایستگاه‌هایی که در آن روز بارش را اندازه‌گیری کرده بودند، بهره‌برداری شده است.



شکل ۱ توزیع مکانی ایستگاه‌های مورد استفاده در میان‌یابی

بنابراین در برخی روزها تعداد اندازه‌گیری‌ها کم‌تر و در برخی روزها بیش‌تر بوده است. در این تحقیق ابتدا برای تحلیل مارکوفی روزهای خشک، داده‌های بارش روزانه در هر یک از یاخته‌های نقشه بر اساس آستانه صفر (روزهای فاقد بارش) و یک (روزهای توأم با بارش) برای زنجیره مارکوف مرتب گردید. سپس

1Krijjing

فراوانی وقوع هر یک از حالت‌ها بر اساس وقوع و عدم وقوع برای هر یک از آستانه‌ها محاسبه گردید. در مرحله بعد ماتریس احتمال تغییر حالت برای هر یک از وضعیت‌ها در نظر گرفته شد. برای محاسبه ماتریس احتمال تغییر حالت ابتدا ماتریس شمارش فراوانی برای هر یک از حالت‌ها محاسبه شد. این ماتریس برای هر یاخته به صورت زیر است:

$$F = \frac{D}{W} \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} \\ n_{21} & n_{22} \end{bmatrix} \quad (1)$$

در مرحله بعد ماتریس احتمال انتقال که نشان‌دهنده تغییر وضعیت از یک حالت به حالت دیگر است به صورت زیر و برای هر یاخته محاسبه شد: سپس با استفاده از الگوی حاصل شده برای هر یک از یاخته‌های نقشه، روزهای خشک محاسبه و با روزهای واقعی (مشاهده شده) خشک مقایسه شد. تفاضل این دو مقدار میزان خطای الگو را بیان می‌کند.

$$P = \frac{D}{W} \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{bmatrix} \quad (2)$$

در نهایت نقشه‌های احتمال وقوع روزهای خشک، تعداد روزهای خشک رخ داده در طول دوره آماری و برای هر یاخته، روز خشک حاصل از الگو و تفاضل این دو تهیه و بررسی شد. در این زمینه تعداد ۴۸ نقشه تهیه شد. در گام بعدی، ۴۸ نقشه مذکور، در معرض تحلیل خوشه‌ای قرار گرفت. در این گام با استفاده از روش فاصله اقلیدوسی^۱ و روش ادغام وارد^۲ نواحی همگن از نواحی ناهمگن افراز شد. در روش تعیین فاصله از رابطه زیر استفاده شد (جانسون و ویچرن^۳ ۱۳۷۹: ۶۸۷-۶۸۸):

$$d_{jk} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_{ij} - P_{ik})^2} \quad (3)$$

در این رابطه، تفاوت احتمالاتی دو یاخته j و k بانشان داده می‌شود. مقدار احتمال حالت i ام روی یاخته j ام است. با استفاده از همین روش می‌توان گفت که مقدار احتمال i ام است که روی یاخته k ام محاسبه شده است؛ یعنی برای محاسبه دو یاخته j و k ، از داده‌های ستون‌های k و j ام ماتریس احتمالات استفاده و تفاوت مقادیر آن‌ها به دست آمد. مقدار بین صفر و بی‌نهایت متغیر است؛ یعنی $0 \leq d_{jk} < +\infty$ است. روش ادغام «وارد» بر مبنای کمیته‌سازی 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 می‌گیرد. بدین

1 Euclidean Distance

2 Ward

3 Janson and vichren

ترتیب هر دو دسته‌ای که ادغام آن‌ها سبب کمینه شدن مجموع مربعات خطا شود، با یکدیگر ترکیب می‌شوند. بنابراین یاخته‌هایی که در یک جفت از گروه‌ها مجموع مربعات خطای کمینه داشته باشند، در یک دسته قرار می‌گیرند. عبارت ریاضی برای محاسبه مجموع مربعات خطابه شرح زیر است (فرشادفر ۱۳۸۴: ۵۹۲): در این فرمول ارزش احتمالی متناسب به یاخته i ام در گروه j ام است. k تعداد کل گروه‌ها در هر مرحله، n_j تعداد یاخته‌ها در گروه j ام است.

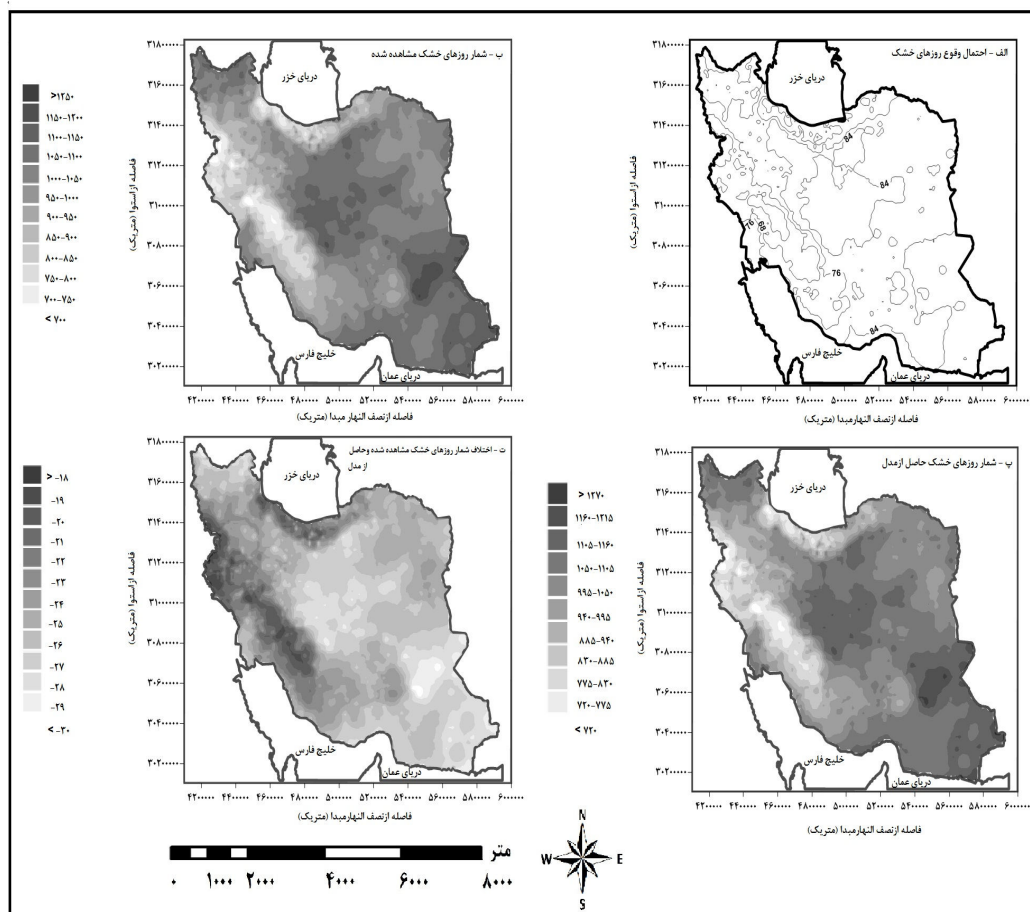
$$E.S.S = \sum_{j=1}^k \left[\sum_{i=1}^{n_j} P_{ij}^2 - \frac{1}{n_j} \left[\sum_{i=1}^{n_j} P_{ij} \right]^2 \right] \quad (۴)$$

این مجموع مربعات خطا را نمایه مجموع مربعات یا پراش نیز گویند. ملحق شدن یاخته‌های دیگر به دسته‌های تشکیل شده مرحله بعدی خواهد بود. نتایج حاصل از دسته‌بندی را می‌توان در یک دارنما نشان داد. در نهایت به تهیه و تحلیل نقشه طبقه‌بندی شده یاخته‌های مورد بررسی اقدام شد.

۳. بحث و نتایج

۳.۱. ارزیابی الگوی مارکوفی روزهای خشک ماهانه

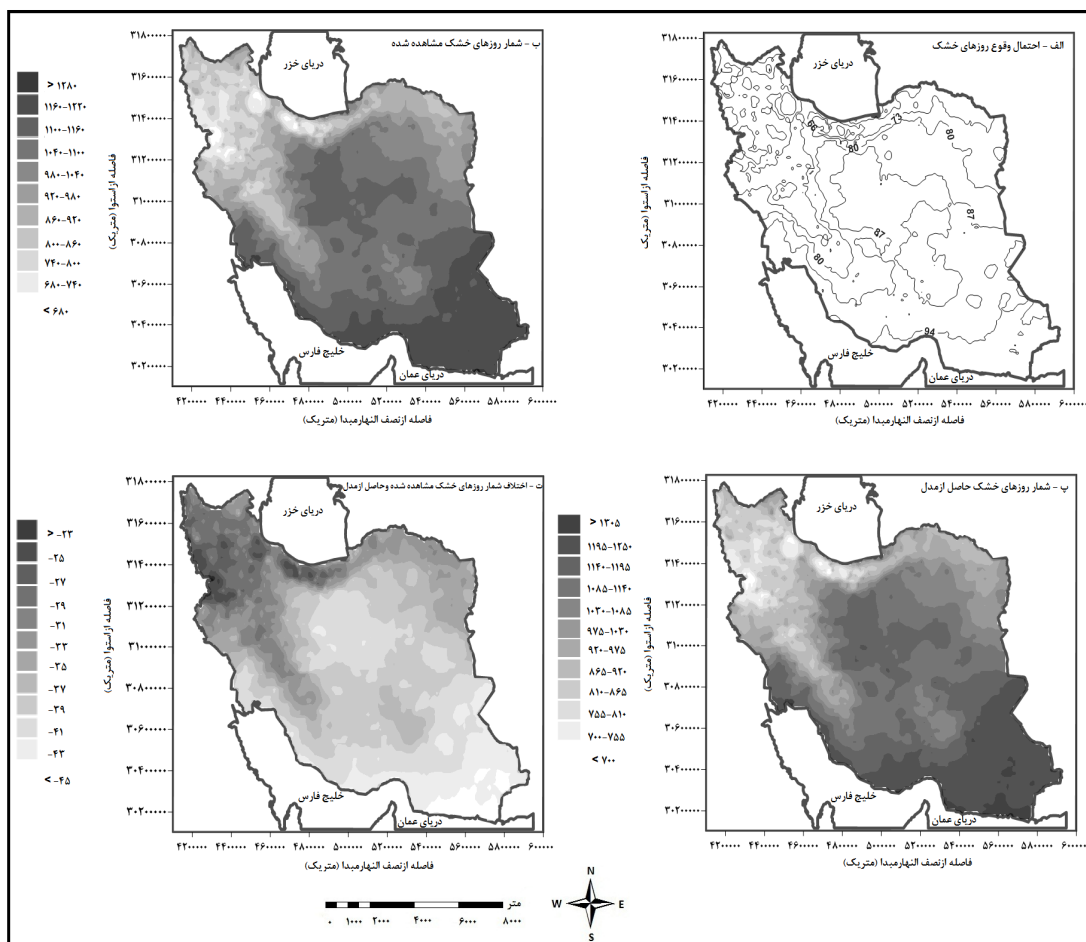
چنان‌که گفته شد، تعداد ۴۸ نقشه برای ارزیابی الگوی زنجیره مارکوف برای همراه تهیه شد. این نقشه‌ها برای همراه شامل، احتمال وقوع روزهای خشک (الف)، شمار روزهای خشک واقعی (ب)، شمار روزهای خشک حاصل از الگو (پ) و تفاضل این دو روز (ت) برای ماه‌های مختلف سال است. به دلیل کثرت این نقشه‌ها و نیز محدودیت تعیین شده برای حجم مقاله در زیر تنها به ارائه نقشه‌های چهار ماه (ژانویه، آوریل، جولای و اکتبر) بسنده می‌شود: ماه ژانویه به‌عنوان پربارش‌ترین ماه فصل زمستان حدود ۰/۴۲/۳ بارش‌های این فصل را به خود اختصاص داده است با توجه به (شکل ۲- الف)، احتمال وقوع روزهای خشک در ماه ژانویه بین ۰/۶۳ (بخش‌های غربی و جنوب‌غربی) تا ۰/۸۵ (بخش‌های جنوبی و مرکزی) است. روزهای خشک رخ داده در طی دوره آماری (شکل ۲- ب) به سمت بخش‌های غربی کشور کاسته می‌شود، این در حالی است که در مناطق دیگر این رقم زیادتر شده است. در شکل ۲- پ دیده می‌شود که شمار روزهای خشک حاصل از الگو بیش‌تر از شمار روزهای واقعی خشک است؛ با این وجود چنان‌که در شکل پ دیده می‌شود، این اختلاف بسیار کم (برای کل دوره آماری حدود ۱۸ تا ۳۰ روز) است. این تفاضل در امتداد دو رشته کوه البرز و زاگرس و نیز نواحی مجاور آن‌ها نظیر کرانه‌های دریای خزر و نیز استان‌های غربی نظیر ایلام و بخش‌هایی از کردستان کم‌تر و در ایران مرکزی به بیش‌ترین مقدار می‌رسد.



شکل ۲ توزیع مکانی روزهای فاقد بارش زنجیره مارکوف مرتبه یک ماه ژانویه

با توجه به شکل (۳-الف) احتمال وقوع روزهای خشک در ماه آوریل در بیش تر مناطق کشور (ایران مرکزی و جنوب) بالای $0/80$ می باشد. این امر گواهی بر این است که تقریباً بارش این مناطق کم بوده است به طوری که بیش تر بارش های این ماه بین $30 - 0$ میلی متر بوده و کشور روزهای خشک را تجربه کرده است. هرچه به عرض های جغرافیایی بالاتر و به سمت غرب حرکت کنیم، احتمال وقوع روزهای فاقد بارش کم شده است. میزان احتمال وقوع روزهای خشک این مناطق به حدود $0/60$ رسیده است با توجه به شکل ۳-ب شمار روزهای خشک نزدیک به شمار روزهای واقعی ماه مارس است یعنی در هر دو ماه، روزهای خشک اتفاق افتاده تقریباً برابر بوده اند. در بخش های شمالی و شمال غربی کشور، روزهای خشک کم تری مشاهده شده است. شمار روزهای خشک حاصل از الگو در ماه آوریل نسبت به ماه مارس اندکی افزایش یافته است، با این وصف در مناطق شمالی کشور از شمار روزهای خشک نسبت به مناطق دیگر کاسته شده

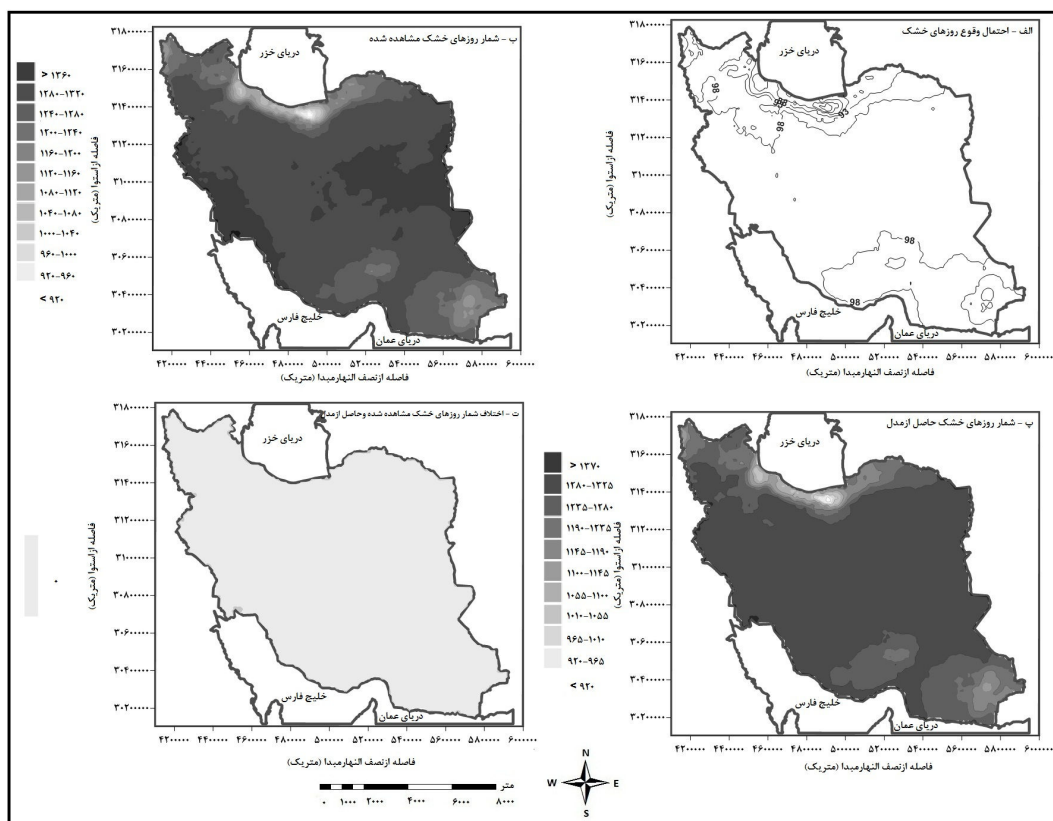
است. شکل ۳- ت اختلاف شمار روزهای خشک مشاهده شده و حاصل از الگو نسبت به ماه مارس بیش تر شده است و در مناطق جنوبی کشور به حداکثر مقدار خود رسیده است. کمترین مقدار نیز در سواحل شمالی و شمال غربی و بخش هایی در غرب کشور مشهود است. ماه جولای به عنوان خشک ترین ماه سال است.



شکل ۳ توزیع مکانی روزهای فاقد بارش زنجیره مارکوف مرتبه یک ماه آوریل

باتوجه به شکل ۴- الف احتمال وقوع روزهای فاقد بارش در این ماه تقریباً برای سرتاسر کشور نزدیک به ۰/۱۰۰ و کمترین احتمال در سواحل شمال با ۰/۹۰ است. در نقشه (۴- ب) شمار روزهای خشک را برای کل روزهای این ماه در طول دوره آماری نشان می دهد. در مناطق مرکزی کشور تقریباً کل دوره (۱۳۲۰ روز) فاقد بارش بوده است. روزهای خشکی که توسط الگو برآورد شده است، تقریباً برابر با روزهای خشک مشاهده شده است. بنابراین اختلافی بین روزهای مشاهده شده و مورد انتظار دیده نمی شود. اختلاف ناچیز

نیز در همه پهنه عمدتاً مثبت و حدود یک روز بوده است. بنابراین در تمام طول دوره آماری مذکور الگو توانسته پیش‌بینی درستی ارائه دهد.

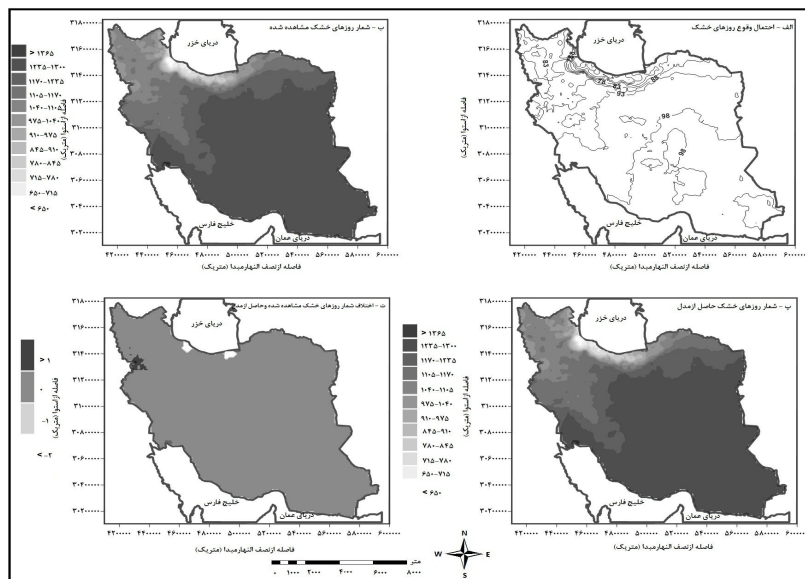


شکل ۴ توزیع مکانی روزهای فاقد بارش زنجیره مارکوف مرتبه یک ماه جولای

بیشینه احتمال وقوع روز خشک نسبت به ماه سپتامبر کاهش یافته است. این احتمال حدود ۰/۹۰ (شکل ۵-)

(الف)

می‌باشد. بیشینه شمار روزهای واقعی فاقد بارش ۱۳۳۴ روز می‌باشد. هم‌چنین روزهای خشکی که الگو برآورد نموده است، تقریباً برابر با روزهایی مشاهده شده می‌باشد (شکل ۵- پ). از این رو اختلاف روزهای خشک پیش‌بینی شده توسط الگو با روزهای خشک واقعی در ۰/۹۹ پهنه ایران صفر و تنها در بخش‌های استان کردستان و آذربایجان غربی و سواحل غربی دریای خزر تفاوت در ماه اکتبر، اندکی دیده می‌شود (شکل ۵- ت). صلاحیت الگوی زنجیره مارکوف در برآورد روزهای خشک ماه‌های فوق و نیز ۸ ماه دیگر سال با مقایسه نقشه‌ها در فصول مختلف، مورد ارزیابی قرار گرفت و معلوم شد که اولاً این الگو به لحاظ تشخیص زمان کمینه، بیشینه و بهینه روزهای خشک برای تمامی ماه‌های سال و در سرتاسر ایران از صلاحیت بسیار بالایی برخوردار است.

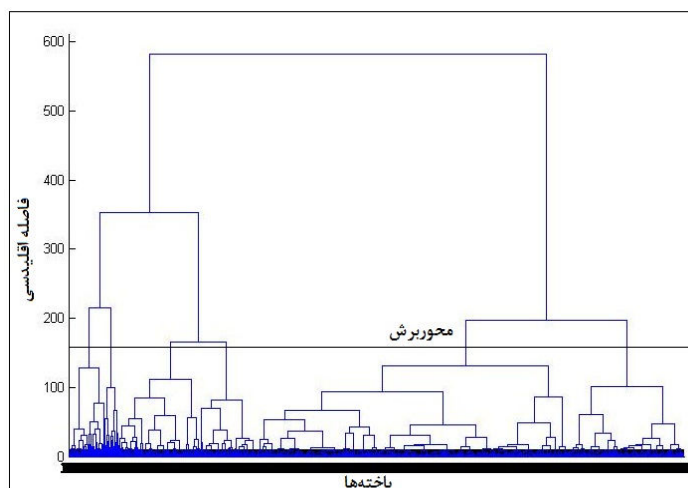


شکل ۵ توزیع مکانی روزهای فاقد بارش زنجیره مارکوف مرتبه یک ماه اکتبر

روزهای خشک پیش بینی شده در سه ماه فصل زمستان و نیز ماه های فصل به روزهای خشک واقعی اتفاق افتاده، نزدیک بوده است. ولی به سمت فصول حد واسط تفاضل دو روش زیادتر شده است.

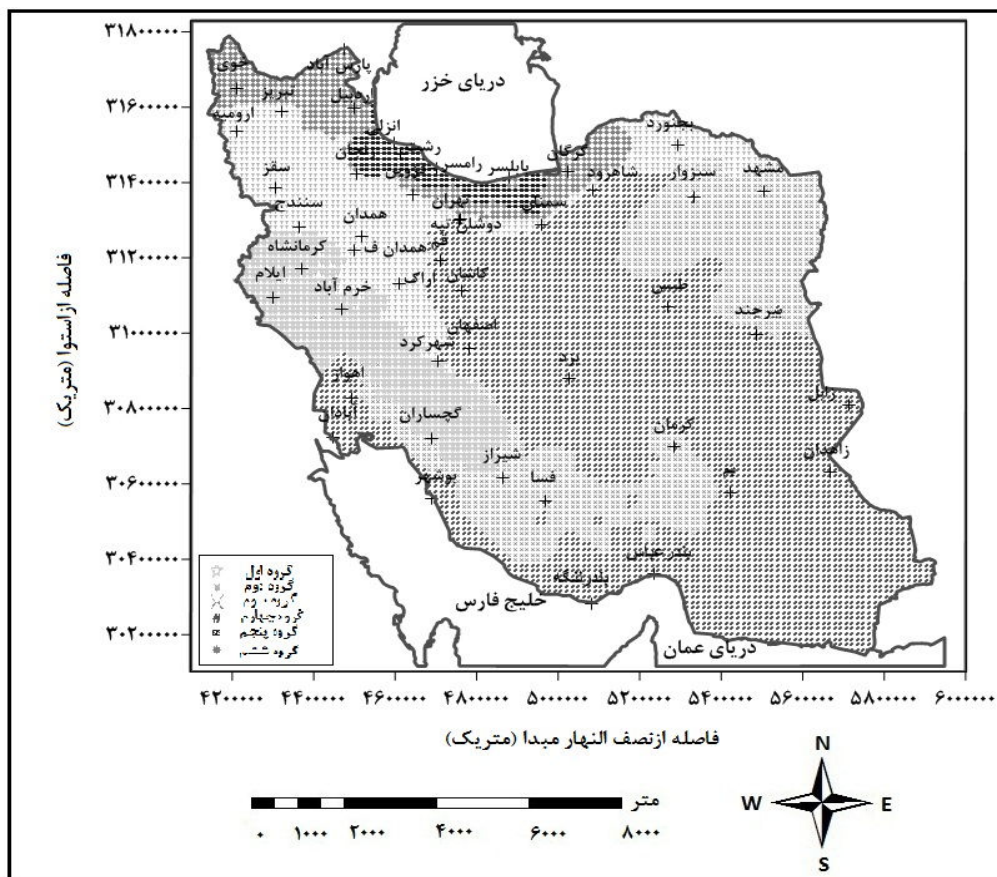
۳. ۲. پهنه بندی احتمالات مارکوفی و توان های آن

بر اساس ۴۸ نقشه مشخصات مارکوفی روزهای خشک، داده های مربوط به هر نقشه در کنار هم جمع آمدند. بنابراین یک آرایه ۴۸ × ۷۱۸۷ حاصل شد. که در آن ردیف ها تعداد یاخته های نقشه و ستون ها تعداد نقشه ها است. عملیات تحلیل خوشه ای بر این آرایه مشاهدات اعمال شد. بر اساس روش آزمون و خطا تعداد ۶ پهنه از این دارنما قابل استنباط است. پهنه های شش گانه مشخص شده بردارنمای شکل ۶ در شکل ۷ ارائه شده است.



شکل ۶ نمودار شاخه درختی (دارنما) داده های استاندارد شده

عمومی پهنه‌ها با موقعیت جغرافیایی مشخص قابل افزاند. هم‌چنین مشخصات مارکوفی ماه به ماه این پهنه‌ها در جداول ۱ تا ۳ ارائه شده است (اعدادپررنگ بیش‌ترین مقدار را در هر پهنه نشان می‌دهد). در زیر ویژگی‌های هر کدام از پهنه‌ها به صورت جداگانه آورده شده است. پهنه اول: این گروه بیش‌تر دامنه‌های غربی و مرتفع کوه‌های زاگرس (کرمانشاه، ایلام و خرم‌آباد) را شامل می‌شود که حدود ۹/۲ درصد از مساحت کشور را پوشش می‌دهد.



شکل ۷ پهنه‌بندی زنجیره مارکوف برای روزهای خشک در پهنه ایران زمین

در مقیاس ماهانه این پهنه دارای میانگین احتمال روزهای خشک برابر با ۸۱/۹۶ و ضریب تغییرپذیری آن برابر با ۴/۴ درصد است. بیش‌ترین احتمال وقوع روزهای خشک در ماه‌های تابستان و کم‌ترین آن در فصل زمستان مشاهده می‌شود که علت آن در بارش‌های زیاد زمستانه این مناطق است. بنابراین برای این پهنه الگوی مارکوفی توانسته است پیش‌بینی تقریباً نزدیک به واقعیت ارائه دهد. پهنه دوم: این پهنه قسمت‌های نواری از شمال شرقی، جنوب البرز، شمال غربی و تا حدودی غرب کشور با ۱۳/۲ درصد از مساحت کل را در بر گرفته است. میانگین احتمال وقوع روزهای خشک در این گروه ۸۲/۵۲ و میانگین ضریب تغییرپذیری ۵/۴ درصد

در مقیاس ماهانه است. با توجه به جدول شماره ۲ کمترین احتمال وقوع مربوط به فصل بهار (مارس و آوریل) با ۶۸ درصد می‌باشد. زیرا در این مناطق ماه‌های مذکور به عنوان پربارش‌ترین ماه‌ها به شمار می‌آیند. پهنه دوم دارای احتمال وقوع روزهای خشک و شمار روزهای خشک حاصل از الگو بیش‌تری نسبت به روزهای خشک واقعی است. پهنه سوم: این پهنه با ۱۹ درصد از مساحت کشور، تقریباً بخش‌هایی از مناطق شمال شرقی، و ارتفاعات لاله‌زار و هزار در جنوب کرمان و قسمت‌هایی از جنوب را پوشش می‌دهد. کم‌ترین احتمال وقوع روزهای خشک مربوط به ماه مارس است؛ زیرا بیش‌تر بارش‌های دریافتی این پهنه حاصل ناپایداری‌های محلی در ماه مورد بحث است. هم‌چنین

جدول شماره ۱ مشخصات پارامترهای آماری احتمال وقوع روزهای خشک

ضریب تغییرپذیری						میانگین						پارامتر ماه
گروه ششم	گروه پنجم	گروه چهارم	گروه سوم	گروه دوم	گروه اول	گروه ششم	گروه پنجم	گروه چهارم	گروه سوم	گروه دوم	گروه اول	ژانویه
۸/۸	۶/۶	۳/۹	۴/۸	۷	۵/۹	۷۶/۹	۶۳/۶	۸۴	۷۶/۹	۷۴/۳	۶۳	ژانویه
۹/۱	۶/۹	۳/۴	۳/۱	۸	۶/۹	۷۵/۲	۶۱/۸	۸۵	۷۷/۱	۷۳/۱	۶۴/۲	فوریه
۸/۷	۷/۸	۴	۴/۶	۷/۲	۸/۱	۶۹/۳	۵۸/۳	۸۴/۷	۷۵/۸	۶۸/۴	۶۴/۴	مارس
۷/۹	۹/۶	۴/۳	۶	۸/۹	۹/۱	۶۸/۲	۶۴/۲	۸۹/۷	۸۲/۵	۶۸/۵	۷۱/۷	آوریل
۱۱/۶	۴/۳	۳/۳	۵	۷/۸	۶/۴	۶۹/۷	۶۸/۸	۹۵/۶	۹۲/۶	۷۶/۹	۸۷/۷	می
۵/۰۶	۶	۱/۱	۱/۳	۳/۵	۰/۶۴	۸۳/۹	۷۸/۶	۹۸/۸	۹۸/۴	۹۴/۴	۹۹/۳	ژوئن
۳/۵	۵/۶	۲/۵	۱/۶۶	۱/۹	۰/۴۸	۹۱/۲	۸۲/۱	۹۸	۹۸/۴	۹۶/۸	۹۹/۳	جولای
۵/۰۵	۷/۱	۱/۷	۱/۶۲	۱/۹	۰/۴۹	۹۰/۶	۷۶	۹۸/۶	۹۸/۷	۹۷/۶	۹۹/۴	اگوست
۶/۶	۱۰/۷	۰/۹۲	۰/۸۰	۲/۶	۰/۵۷	۸۷	۶۷/۱	۹۹/۲	۹۹	۹۶/۹	۹۹/۲	سپتامبر
۵/۷	۱۱/۸	۱/۴	۱/۹	۴	۳/۹	۷۹	۶۲/۷	۹۷/۷	۹۶/۴	۸۶/۵	۹۰/۴	اکتبر
۶/۱	۹/۶	۲/۷	۲/۹	۵/۴	۵/۵	۷۸/۱	۶۳/۴	۹۴/۸	۹۱/۴	۷۹/۹	۷۷/۳	نوامبر
۸/۳	۶/۷	۴	۴/۹	۶	۵/۴	۷۷/۴	۶۳/۶	۸۸/۶۲	۸۱/۲	۷۶/۵	۶۷/۰	دسامبر

جدول شماره ۲ مشخصات ماهانه شمار روزهای خشک مشاهده شده برای پهنه‌های شش گانه کشور

ضریب تغییرپذیری						میانگین						یارامتر ماه
پهنه ششم	پهنه پنجم	پهنه چهارم	پهنه سوم	پهنه دوم	پهنه اول	پهنه ششم	پهنه پنجم	پهنه چهارم	پهنه سوم	پهنه دوم	پهنه اول	ژانویه
۸/۸	۶/۶	۳/۹	۴/۸	۷	۵/۹	۱۰۲۵	۸۴۷	۱۱۲۰	۱۰۲۵	۹۹۰	۸۳۹	ژانویه
۹/۱	۶/۹	۳/۴	۳/۱	۸	۶/۹	۹۱۴	۷۵۱	۱۰۳۳	۹۳۷	۸۸۸	۷۸۱	فوریه
۸/۷	۷/۸	۴	۴/۵	۷/۲	۸	۹۳۲	۷۸۴	۱۱۳۸	۱۰۱۹	۹۲۰	۸۶۶	مارس
۷/۹	۹/۶	۴/۳	۶/۱	۸/۹	۹/۱	۹۰۰	۸۴۷	۱۱۸۴	۱۰۸۹	۹۰۴	۹۴۷	آوریل
۱۱/۵	۹/۲	۳/۳	۵	۷/۸	۶/۴	۹۵۱	۹۳۸	۱۳۰۴	۱۲۶۳	۱۰۴۹	۱۱۹۶	می
۵/۰۷	۶	۱/۱	۱/۳	۳/۵	۰/۶۴	۱۱۰۷	۱۰۳۸	۱۳۰۴	۱۲۹۹	۱۲۴۶	۱۳۱۱	ژوئن
۳/۵	۵/۶	۲/۵	۱/۶۶	۱/۹۷	۰/۴۸	۱۲۴۴	۱۱۲۰	۱۳۳۷	۱۳۴۳	۱۳۲۱	۱۳۵۵	جولای
۵/۰۸	۷/۱	۱/۷	۱/۶۲	۱/۹۳	۰/۵	۱۲۳۶	۱۰۳۷	۱۳۴۵	۱۳۴۶	۱۳۳۱	۱۳۵۶	آگوست
۶/۶	۱۰/۷	۰/۹۲	۰/۸	۲/۶	۰/۵۷	۱۱۴۹	۸۸۵	۱۳۰۹	۱۳۰۷	۱۲۷۹	۱۳۰۹	سپتامبر
۵/۷	۱۱/۸	۱/۴	۱/۹	۴	۳/۸	۱۰۷۷	۸۵۶	۱۳۳۲	۱۳۱۶	۱۱۸۱	۱۲۳۳	اکتبر
۶/۱	۹/۶	۲/۷	۲/۹	۵/۴	۵/۵	۱۰۳۱	۸۳۷	۱۲۵۲	۱۲۰۷	۱۰۵۵	۱۰۲۱	نوامبر
۸/۳	۶/۷	۴	۴/۹	۶	۵/۴	۱۰۵۷	۸۶۸	۱۲۰۸	۱۱۰۸	۱۰۴۳	۹۱۴	دسامبر

ارتفاعات لاله‌زار و هزار نقش اندکی در این بارش‌ها ایفا می‌کنند. پیش‌بینی الگو برای این مناطق تقریباً بیش از شمار روزهای خشک مشاهده شده است که می‌توان نتیجه گرفت الگوی مارکوف در این پهنه به طور نسبی برآورد صحیحی در بیش‌تر ماه‌ها برای مناطق مذکور نداشته است.

جدول شماره ۳ مشخصات ماهانه شمار روزهای خشک حاصل از الگو برای پهنه‌های شش گانه

ضریب تغییرپذیری						میانگین						یارامتر ماه
پهنه ششم	پهنه پنجم	پهنه چهارم	پهنه سوم	پهنه دوم	پهنه اول	پهنه ششم	پهنه پنجم	پهنه چهارم	پهنه سوم	پهنه دوم	پهنه اول	ژانویه
۸/۸	۶/۶	۳/۹	۴/۸	۷	۵/۹	۱۰۴۹	۸۶۸	۱۱۴۶	۱۰۴۹	۱۰۱۳	۸۵۹	ژانویه
۹/۱	۶/۹	۳/۴	۳/۱	۸	۶/۹	۱۰۲۶	۸۴۳	۱۱۶۰	۱۰۵۲	۹۹۷	۸۷۶	فوریه
۸/۷	۷/۸	۴	۴/۶	۷/۲	۸/۱	۹۴۶	۷۹۵	۱۱۵۵	۱۰۳۴	۹۳۳	۸۷۹	مارس
۷/۹	۹/۶	۴/۳	۶	۸/۹	۹/۱	۹۳۰	۸۷۵	۱۲۲۴	۱۱۲۶	۹۳۴	۹۷۹	آوریل
۱۱/۶	۹/۳	۳/۳	۵	۷/۸	۶/۴	۹۵۱	۹۳۸	۱۳۰۴	۱۲۶۳	۱۰۴۹	۱۱۹۶	می

ژوئن	۱۳۵۵	۱۲۸۸	۱۳۴۳	۱۳۴۷	۱۰۷۲	۱۱۴۴	۰/۶۴	۳/۵	۱/۳	۱/۱	۶	۵/۰۶
جولای	۱۳۵۵	۱۳۲۱	۱۳۴۳	۱۳۳۷	۱۱۱۹	۱۲۴۴	۰/۴۸	۱/۹۷	۱/۶۶	۲/۵	۵/۶	۳/۵
آگوست	۱۳۵۶	۱۳۳۱	۱۳۴۶	۱۳۴۵	۱۰۳۷	۱۲۳۶	۰/۴۹	۱/۹۲	۱/۶۲	۱/۷	۷/۱	۵/۰۵
سپتامبر	۱۳۵۳	۱۳۲۲	۱۳۵۱	۱۳۵۳	۹۱۶	۱۱۸۸	۰/۵۷	۲/۶	۰/۸۰	۰/۹۲	۱۰/۷	۶/۶
اکتبر	۱۲۳۳	۱۱۸۰	۱۳۱۶	۱۳۳۲	۸۵۶	۱۰۷۷	۳/۹	۴	۱/۹	۱/۴	۱۱/۸	۵/۷
نوامبر	۱۰۵۴	۱۰۹۰	۱۲۴۷	۱۲۹۴	۸۶۵	۱۰۶۵	۵/۵	۵/۴	۲/۹	۴/۷	۹/۶	۶/۱
دسامبر	۹۱۴	۱۰۴۳	۱۱۰۸	۱۲۰۸	۸۶۸	۱۰۵۷	۵/۴	۶	۴/۹	۴	۶/۷	۸/۳

پهنه چهارم: این پهنه تقریباً نیمی از مساحت کشور را در بر گرفته است که بیشترین محدوده آن در مناطق مرکزی، شرق و بخش‌هایی از جنوب قرار دارد. میانگین احتمال وقوع روزهای خشک برابر با ۹۲/۹۳ است که نشان می‌دهد در بین پهنه‌های مذکور این پهنه دارای احتمال بیشینه و ضریب تغییرپذیری کمینه هستند (جدول ۱ و ۲). علت آن احتمالاً با خشک بودن مناطق مذکور مرتبط باشد که دلیل آن از یک سو به استقرار پرفشار جنب حاره در طول دوره گرم سال و از سوی دیگر به قرارگیری این نواحی در دامنه بادپناه کوه‌های زاگرس برمی‌گردد که باعث شده کمترین ریزش‌های جوی در این مناطق مشاهده شود. کمترین احتمال وقوع در این پهنه ۸۴ درصد که نسبت به سایر پهنه‌ها بیشترین احتمال را در ماه ژانویه داشته است.

پهنه پنجم: این پهنه با ۲/۳ درصد، کمترین مساحت از کشور را در بین پهنه‌ها به خود اختصاص داده است. منطقه تحت پوشش این پهنه در بخش‌های مرکز و غرب کرانه‌های خزری قرار دارد. میانگین وقوع روزهای خشک در این گروه ۶۷/۵ و ضریب تغییرپذیری آن ۸/۱ است که در بین پهنه‌ها کمترین میزان احتمال وقوع روز خشک (ماه مارس) با ۵۸/۳ درصد را دارند (جدول ۱). علت آن به ریزش‌های دریافتی در تمام طول سال است، زیرا این مناطق بیشترین بارش‌های کشور را در فصل پاییز دریافت می‌کنند؛ بنابراین الگوی مارکوف می‌تواند پیش‌بینی درستی برای این مناطق داشته باشد.

پهنه ششم: بخش‌هایی از شرق دریای خزر و شمال‌غربی کشور با ۵/۸ درصد از مساحت کشور در این پهنه قرار دارند. این پهنه با میانگین احتمال وقوع روز خشک ۷۸/۹ و میانگین ضریب تغییرپذیری ۷/۲ در رتبه دوم پهنه‌ها قرار دارد؛ یعنی این پهنه تقریباً دارای کمینه احتمال وقوع روز خشک است؛ چون بیشینه بارش این مناطق در فصل بهار دیده می‌شود؛ بنابراین کمترین احتمال وقوع روز خشک مربوط به ماه‌های مارس، آوریل و می (جدول ۱) است؛ پس اختلاف بین روز خشک واقعی و روز خشک حاصل از الگو در این پهنه زیاد نبوده و الگو پیش‌بینی درستی برای مناطق مذکور داشته است.

۴. نتیجه گیری

بارش از جمله متغیرهای اقلیمی به شمار می‌رود که دارای تغییرپذیری بالایی است. از آن جا که مدل زنجیره مارکوف یکی از روش‌های برآورد فرایندهای تصادفی به حساب می‌آید، در این مطالعه سعی بر آن است تا با پهنه‌بندی احتمالاتی زنجیره مارکوف، صلاحیت این روش در برآورد روزهای خشک مورد بررسی قرار گیرد. کم‌ترین اختلاف در ماه‌های جولای تا دسامبر، مربوط به بخش‌های شمالی، شمال‌غربی و غرب کشور بوده است؛ یعنی زنجیره مارکوف برای این نواحی پیش‌بینی نزدیک به واقعیت داشته است. بر اساس پهنه‌بندی صورت گرفته در ایران ۶ پهنه تشخیص داده شد که الگوی مارکوفی برای پهنه پنجم از صلاحیت بالاتری برخوردار بوده است. سپس به ترتیب: پهنه اول در رتبه دوم، پهنه دوم در رتبه سوم، پهنه ششم در رتبه چهارم، پهنه سوم در رتبه پنجم و در نهایت پهنه چهارم در رتبه ششم قرار گرفته‌اند. در بین پهنه‌های مورد بررسی، پهنه اول بیش‌ترین احتمال وقوع روزهای خشک در فصل تابستان (ماه آگوست) نسبت به پهنه‌های دیگر داشته است، پهنه‌های سوم و چهارم تقریباً دارای احتمال وقوع روز خشک یکسان در ماه سپتامبر هستند که با توجه به قرارگیری مناطق مذکور در بخش‌های مرکزی و جنوبی کشور و استقرار پرفشار جنب حاره باعث شده بالاترین احتمال وقوع روز خشک را این نواحی تجربه کنند. در نهایت، بیش‌ترین تفاضل روز خشک واقعی و حاصل از مدل در تمام پهنه‌ها تقریباً در ماه ژانویه بوده؛ یعنی مدل در ماه مذکور پیش‌بینی نزدیک به واقعیت برای ایران ارائه نداده است.

کتابنامه

- جانسون. ریچارد. وویچرون. دین. دلبیو. ترجمه نیرومند، حسنعلی؛ ۱۳۷۹. تحلیل آماری چند متغیری کاربردی. مشهد: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ص ۷۴۰.
- جعفری بهی، خدابخش؛ ۱۳۷۸. تحلیل آماری دوره‌های تر و خشک بارندگی در چند نمونه اقلیمی ایران با استفاده از زنجیره مارکف. پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی. دانشگاه تهران. دانشکده کشاورزی. گروه آبیاری. استاد راهنما دکتر سهراب حجام، ص ۸۷.
- عساکره، حسین؛ ۱۳۸۷. کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش. مجله جغرافیا و توسعه. شماره ۱۲. صص ۴۲-۲۵، زاهدان.
- عساکره، حسین؛ ۱۳۸۹. احتمال تواتر و تداوم یخبندان‌های زودرس و دیررس در شهر زنجان. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. ش ۱. صص ۱۶-۱. اصفهان.
- عساکره، حسین؛ ۱۳۹۰. مبانی اقلیم‌شناسی آماری. زنجان: انتشارات دانشگاه زنجان. ص ۵۴۸.

- علیزاده، امین، آشگرطوسی، شادی؛ ۱۳۸۷. توسعه یک الگو برای پیش‌بینی و پایش خشکسالی (مطالعه موردی استان خراسان رضوی). مجله علوم و صنایع کشاورزی (ویژه آب‌وخاک). شماره ۱. صص ۲۳۴-۲۲۴. مشهد.
- علیجانی، بهلول و دیگران؛ ۱۳۸۹. بررسی تداوم روزهای یخبندان در ایران با استفاده از مدل زنجیره مارکوف. مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۷۳. صص ۲۰-۱، تهران.
- علیجانی، بهلول، و دیگران؛ ۱۳۹۰. بررسی ساختار تداوم دو وضعیتی بارش‌های سالانه جنوب ایران با استفاده از الگو وضعیت نهان زنجیره مارکوف. مجله جغرافیا و توسعه. شماره ۲۵. صص ۲۰-۱. زاهدان.
- فرشادفر، عزت‌الله؛ ۱۳۸۴. اصول و روش‌های آماری چند متغیره. کرمانشاه: انتشارات دانشگاه رازی
- Ana, A., Paulo, S., 2007. Prediction of SPI drought class transitions using Markov chain. *Water Resources Management* 21, 1813-1823.
- Anagnostopoulou, Ch., Maheras, P., Karakostas, T., Vafadis, M., 2003. Spatial and temporal analysis of dry spell in Greece, *Journal of Geogrphy Research*. 74: p237-242.
- Badraddin, Y., Mohammad, A., 1997. Climatic classification of Saudi Arabia: An application of factor – cluster analysis. *Geojournal* 41, 69-84.
- Alijani, B., Mahmodi, P., Chogan, E., Bishe niaser, M., 2011. Check the continuity of annual precipitation south conditions using hidden Markov chain model. *Journal of Geography and Development* 25, 1-20.
- Alijani, B., Mahmodi, P., Rigi Chahi, E., Khosravi, P., 2010. Study of frost days in Iran continues using the Markov chain model. *Journal of Geogrphy Researches* 73, 1-20.
- Alizadeh, A., AshgarTosi, Sh., 2008. Develop a model for forecasting and drought monitoring (Case study: Khorasan Razavi). *Journal of Agriculture and Industries (specific water and soil)* 1, 224-234.
- Asakereh, H., 2008. Application of kriging method through rain routing. *Journal of Geography and Development* 12, 25-42.
- Asakereh, H., 2010. The frequency stability and continuity of early frosts likely zanjan. *Journal of Physical Geogrphy* 1, 1-16.
- Asakereh, H., 2011. Fundamentals of statistical climatology. Zanzan university Zanzan, Pp548.
- Farshadfar, E., 2005. Principles of multivariate statistical methods, Kermanshah, university Kermanshah, pp734.
- Feyerherm, A.M., Dean, B., 1967. Goodness of a Markov chain model Frequency of wet and dry days, *Journal of Applied Meteorology* 6, 770-787.
- Grigorten, L, A., 1966. Statistics model of the frequency and duration of weather events, *Journal of Applied Meteorology* 5, 606-616.
- Heli, Lu., Quangin, Sh., Jiyuan, L., Junbang, W., Shenbin, Ch., Zhuogi, Ch., 2008. Cluster analysis on summer precipitation field over Qinghai–Tibet plateau from 1961 to 2004, *Geographical science* 18: 295-307.
- Jaefrie Behi, KH., 1999. Statistical analysis of rainfall during the wet and dry climate with few examples of using Markov chain, Master Thesis Agricultural meteorology , university Tehran, Faculty Advisor: Sohrab Hejam, 1-87.

- Janson, R., Vichren, W., translator: Niromand, H.A., 2000. Applied multivariate statistical analysis, Ferdowsi university of Mashhad, pp740.
- Stem, R.D.,1980. The calculation of probability distribution for models of daily Precipitation. Archiv for meteorology geophysic and bioclimatologic 28, 137-147
- Todorovic, P., Woolhiser, D. A., 1975. A statistical model of n-day precipitation. Journal of Applied Meteorology 14, 17-24.