فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۳، شماره پیاپی ۱۱۵
زهرا ماه آورپور، کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، دانشگاه اصفهان Z. Mahavarpour

شماره مقاله: ۹۹۵ صص: ۲۴۰-۲۲۹
وصول: ۹۳/۲/۱۱ پذیرش: ۹۳/۹/۴
E-mail: zarrin_mah2010@yahoo.com

احتمال وقوع بارش‌های روزانه ایران و پیش‌بینی آن با مدل زنجیره مارکوف

چکیده

در این پژوهش، وقوع بارش‌های ایران بر اساس قوانین احتمال به‌صورت فرایندهای تصادفی و با استفاده از مدل زنجیره مارکوف واکاوی شد. برای رسیدن به این هدف، از داده‌های رخداد و رخنداد بارش پایگاه داده اسفزاری به مدت ۴۳ سال (۱۳۴۰/۱/۱ تا ۱۳۸۳/۱۰/۱۱) استفاده شد. این اطلاعات بر روی ۷۱۸۷ یاخته و شامل ۱۵۹۹۱ روز است. با استفاده از مدل زنجیره مارکوف مرتبه اول با دو حالت بارش و بی‌بارش، آرایه فراوانی تشکیل و سپس به روش حداکثر درست‌نمایی آرایه احتمال انتقال محاسبه شد. انجام آزمون نیکویی برازش، خی- دو پیروی داده‌ها از مدل انتخاب شده را در سطح بالایی تأیید کرد. با به توان رساندن مکرر این آرایه، احتمال پایا و دوره بازگشت روزانه، حالت‌های بارش و بدون بارش برآورد شد. بدین ترتیب، دوره بازگشت بارش روزانه حدود ۷ روز و دوره بازگشت خشکی حدود یک روز برآورد شد. بنابراین، احتمال وقوع بارش در هر روز ۰/۱۴۴۹ و احتمال عدم وقوع آن ۰/۸۵۵۱ به‌دست آمد. همچنین، دوره بازگشت بارش با تداوم ۱ تا ۳ روز برای تمام ماه‌ها و فصول محاسبه شد. بیشترین احتمال وقوع روز همراه با بارش ۰/۲۷ طی ماه اسفند است. کوتاه‌ترین دوره بازگشت بارش‌ها با تداوم ۱ و ۲ روزه طی ماه‌های بهمن و اسفند به ترتیب ۳/۷ و ۵/۶ روز است.

واژه‌های کلیدی: بارش، پایگاه داده اسفزاری، زنجیره مارکوف، آرایه احتمال انتقال.

مقدمه

از جمله نیازهای اساسی در برنامه‌ریزی‌های منابع آب، پیش‌بینی مقدار آب برای بارگذاری‌های کشاورزی، صنعتی و شهری است. از این رو، لازم است توان آبی هر منطقه برای گام‌های زمانی مختلف برای برنامه‌ریزی‌های کارآمد از طریق روش‌های مناسب و مطمئن پیش‌بینی گردد. بسیاری از پدیده‌های طبیعی شامل عناصری هستند که آن‌ها را نمی‌توان به سادگی کنترل یا پیش‌بینی نمود؛ اما این پیش‌بینی در صورتی امکان‌پذیر است که اطلاعاتی در مورد گذشته آن‌ها موجود باشد(رضیئی و همکاران، ۲۹۵:۱۳۸۲). براساس قوانین احتمال، برخی پدیده‌های تصادفی شانس بیشتری برای وقوع دارند؛ در صورتی که شانس وقوع برخی دیگر کمتر است. همچنین، گاهی از بین n حالت ممکن، تنها یکی از حالت‌ها می‌تواند رخ دهد؛ در ضمن امکان رخ دادن هیچ کدام از حالت‌ها بر حالت‌های دیگر برتری ندارد (آکان و

هوگتالن[1]، ۸:۲۰۰۳). برای محاسبه شانس وقوع پیشامدها لازم است مدل مناسبی انتخاب شود. بررسی این حالات نامعین را دانش احتمال بر عهده دارد. روش‌های سری زمانی؛ بویژه زنجیره مارکوف، از جمله روش‌های پیش‌بینی احتمالاتی است. زنجیره مارکوف با روش‌های ساده ریاضی(مانند ضرب آرایه‌ها) حل احتمالات مربوط به فرایندهای وابسته را بسیار آسان نموده است. مدل زنجیره مارکوف دارای دو مزیت است: اول اینکه پیش‌بینی‌ها بلافاصله پس از انجام مشاهدات قابل دسترسی هستند؛ دوم اینکه آن‌ها پس از پردازش داده‌های هواشناختی به حداقل محاسبات نیاز دارند. همچنین، مرتبه کمتر زنجیره مارکوف به دو دلیل ترجیح داده می‌شود: اول، تعداد پارامترهایی که برآورد می‌شود، حداقل هستند؛ بنابراین، برآورد بهتری به‌دست می‌آید. دوم، استفاده‌های بعدی از مدل برازش داده شده برای محاسبه دیگر کمیت‌ها همانند احتمالات طول دورهٔ خشک ساده‌تر هست(سلوی و سلوارج[2]، ۵۲:۲۰۱۰). مدل زنجیره مارکوف در علوم مختلفی، مانند: هواشناسی، آب و هوا شناسی، اقتصاد و صنعت کاربرد وسیعی دارد(یوسفی همکاران، ۱۲۲:۱۳۸۵). پژوهشگران زیادی از مدل مارکوف برای پیش‌بینی بارش و خشکسالی با اهداف مختلف بهره جسته‌اند. به منظور پیش‌بینی خشکسالی، کلیتا و سارما[3] (۲۷:۱۹۸۳)، توالی دوره‌های خشک و تر را در دره براهماپوترا در هند با استفاده از زنجیره مارکوف مرتبه اول محاسبه کردند. اسپربر[4] (۳۸۰:۱۹۸۶)، ویژگی‌های بارش را در دوره‌های طولانی خشکسالی در ایسلند با داده‌های بارش ساعتی به مدت ۶ سال واکاوی کرد. گسم[5] (۲۲۸:۱۹۸۷)، احتمال رخداد دوره‌های تر و خشک در منطقه جوبا واقع در جنوب سودان را به کمک زنجیره مارکوف محاسبه کرد و نشان داد دوره‌های تر و خشک طولانی مدت از روند مشخصی پیروی نمی‌کنند، بلکه بی‌نظمی‌هایی در توالی این دوره‌ها دیده می‌شود. کائو[6] و همکاران (۴۵:۱۹۸۹)، توالی دوره‌های خشک و تر را با استفاده از مدل زنجیره مارکوف همانندسازی کردند. هس[7] (۲۰۱:۱۹۹۰)، مدل زنجیره مارکوف را برای پیشگویی ساعتی در هشت کلان‌شهر ایتالیا به‌کار برد. بازه را ۱۲ ساعته از ۶ تا ۱۸ گرفت و نشان داد که در بازه ۳ ساعته نیز این روش جوابگوست. خامبت[8] (۱۷۴:۱۹۹۳)، برای طبقه‌بندی اقلیمی کشاورزی از مدل زنجیره مارکوف استفاده کرد. مارتین و گومز[9] (۵۳۷:۱۹۹۸)، بر مبنای طول دوره‌های خشک محاسبه شده به کمک روش زنجیره مارکوف نواحی مختلف شبه

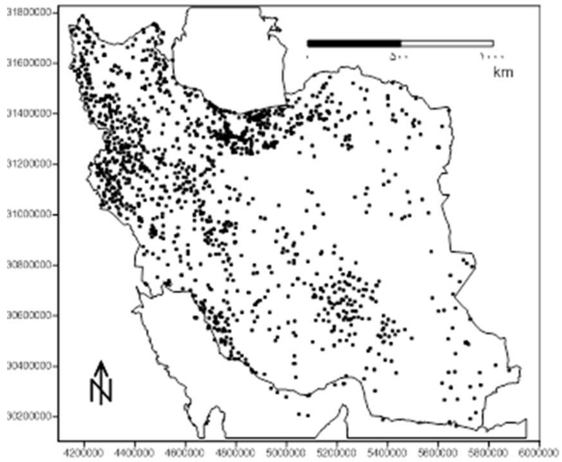
جزیره اسپانیا را تقسیم‌بندی کردند. به این ترتیب، روش مارکوفی در نواحی شمال اسپانیا کاملاً پذیرفته شده و بر عکس نواحی جنوبی اسپانیا تطبیقی با این روش ندارد و اختلاف محسوسی بین مقادیر تجربی برآورد شده برای طولانی‌ترین دوره‌ها وجود دارد. جامز و کاسیکی[10](۱۹۶۳)، با استفاده از مقادیر احتمالات تجربی، رخداد بارش در فواصل زمانی مختلف را در دنور کلمبیا بررسی کردند و نشان دادند که مدل مرتبه اول زنجیره مارکوف با این مقادیر

1 -Akan & Houghtalen
2 -Selvi & Selvarj
3 -Kalita & Sarmah
4- Sperber
5 -Gasm
6 -Cao
7- Hess
8- Khambet
9 -Martin & Gomez
10- Jamese & caskey

موافقت نزدیک دارد. تودورویچ و ولهیسر[11] (۱۹۷۴)، احتمال وقوع روزهای بارشی را با دو مدل توزیع دو جمله‌ای که احتمال رخداد بارش روزانه را در مدت n روز ثابت می‌داند و مدل زنجیره مارکوف که احتمال رخداد بارش در هر روز را بسته به این می‌داند که روز قبل از آن خشک بوده یا مرطوب، مقایسه کردند. هان[12] و همکاران (۱۹۷۶)، در پژوهشی مدل زنجیره مارکوف را به منظور شناخت الگوهای دراز مدت بارش و نیز برنامه‌ریزی برای پروژه‌های منابع آب به‌کار بستند. پنیاواردنا و کولاسیری[13] (۱۹۹۶)، در پژوهشی مرتبه اول و دوم مدل مارکوف را برای بارش‌های هفتگی در منطقه خشک سریلانکا شبیه‌سازی کرده و نتایج دو مدل را با هم مقایسه کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که زنجیره مارکوف مرتبه دوم با تعداد زیادی از محاسبات برای بازنمایی رخداد بارش هفتگی در منطقه خشک سریلانکا مناسب نیست. عملکرد دو حالته(خشک، مرطوب) مارکوف مرتبه اول را کافی و برای اکثر برنامه‌های کاربردی کشاورزی قابل اعتماد یافتند. یوسفی و همکاران (۱۳۸۵)، احتمالات خشکسالی و ترسالی با استفاده از زنجیره مارکوف و توزیع نرمال را برای منطقه قزوین به‌کار بردند. فولادمند (۱۳۸۵)، زنجیره مارکوف را به منظور پیش‌بینی بارندگی روزانه و سالانه و تعداد روزهای بارانی در منطقه نیمه خشک باجگاه در استان فارس به‌کار برده است. علیجانی و همکاران (۱۳۸۹)، در پژوهشی از مدل نهان زنجیره مارکوف برای مطالعه بارش‌های جنوب ایران به منظور مدیریت بهینه منابع آب استفاده کردند.

داده‌ها پژوهش

در این مطالعه از داده‌های رخداد و رخنداد بارش روزانه پایگاه داده اسفزاری استفاده شده است. اسفزاری مجموعه‌ای از داده‌های شبکه‌ای چندین عنصر اقلیمی در سراسر ایران زمین است. تقویم این داده‌ها از ۱۳۴۰/۱/۱ (۱۹۶۱/۳/۲۱میلادی) تا ۱۳۸۳/۱۰/۱۱خورشیدی (۲۰۰۴/۱۲/۳۱میلادی) را شامل می‌شود. داده‌های شبکه‌ای بارش این پایگاه داده بر اساس دیده‌بانی‌های ۱۴۳۷ ایستگاه باران‌سنجی، اقلیمی و همدید تهیه شده است.



شکل ۱) پراکنش۱۴۳۷ایستگاه در ایران

11 - Todorovic & woolhiser
12- Haan
13- Punyawardena & Kulasiri

این شبکه با استفاده از روش میان‌یابی کریجینگ حاصل شده است. در این پایگاه برای هر عنصر اقلیمی شبکه‌ای با ابعاد ۱۵۹۹۲×۷۱۸۷ تعریف شده است که در آن سطرها بیانگر یاخته‌های مکانی و ستون‌ها نماینده زمان (بر حسب روز) است. چون برای مدل سازی مارکوفی باید طول دوره آماری (بارش روزانه) حداقل ۲۰ سال باشد، داده‌های مورد نیاز با دقت کافی برای انجام این کار موجود بوده است و امکان تهیه نقشه‌های احتمالات مارکوفی برای همه کشور و برای سراسر دوره آماری، و نیز تهیه نقشه‌های پیش‌بینی به تفکیک ماه‌ها و فصول را فراهم ساخته است.

از جمله تکنیک‌های ریاضی برای تحلیل پدیده‌های تصادفی مدل زنجیره مارکوف است که تداومی از مشاهدات را در طول زمان نشان می‌دهد (طالشی،۱۳۸۴). زنجیره مارکوف حالت خاصی از مدل‌هایی است که در آن‌ها حالت فعلی سیستم به حالت‌های قبلی آن بستگی دارد. برای زنجیره مارکوف مرتبه اول که احتمال رفتن به وضعیت بعدی به یک مرحله قبل بستگی دارد، رابطه زیر برقرار است:

$$P_{00} = \Pr (X_{t+1} = 0 | X_t = 0)$$
$$P_{01} = \Pr (X_{t+1} = 1 | X_t = 0)$$
$$P_{10} = \Pr (X_{t+1} = 0 | X_t = 1)$$
$$P_{11} = \Pr (X_{t+1} = 1 | X_t = 1)$$

رابطه ۱)

در اینجا احتمال رفتن از یک روز بی‌بارش به روز بی‌بارش با (p_{00})، بی‌بارش به بارش با (p_{01})، بارش به بی‌بارش با (p_{10}) و بارش به بارش با (p_{11}) نشان داده شده است(کازاسیوک و سیپو[14]، ۸۳:۲۰۰۵). اگر مجموعه حالات ممکن در یک زنجیره مارکوف محدود باشد، می‌توان یک آرایه مربع تشکیل داد.

برای به‌دست آوردن آرایه احتمال‌های تغییر وضعیت باید در ابتدا آرایه شمارش فراوانی محاسبه شود (سلوی و سلوارج[15]،۵۵:۲۰۱۰). در این پژوهش، آرایه شمارش دو وضعیتی برای هر یاخته به شرح زیر ساخته شده است:

$$n=\begin{array}{c c} & \begin{array}{cc} w & d \end{array} \\ \begin{array}{c} w \\ d \end{array} & \begin{bmatrix} n_{11} & n_{10} \\ n_{01} & n_{00} \end{bmatrix} \end{array}$$

رابطه ۲)

در این آرایه فراوانی تغییر وضعیت از روز بارش به روز بارش با n_{11}، تغییر از روز بارش به روز بی بارش با n_{10}، گذر از روز بی بارش به روز بارش با n_{01}، و از روز بی‌بارش به روز بی‌بارش با n_{00} نشان داده شده است. آنگاه آرایه احتمال انتقال به روش حداکثر درست‌نمایی تهیه می‌شود. احتمال بر اساس فراوانی (بسامد)های نسبی در یک دوره آماری طولانی و به صورت درست‌نمایی بیشینه اتفاق افتادن رویداد مورد نظر تعریف می‌شود. درست‌نمایی معمولاً با (p) نشان داده می‌شود. درست نمایی را می‌توان به عنوان برآوردی از ارزش احتمال (p) در نظر گرفت. آرایه احتمال انتقال (p) به روش بیشینه درست‌نمایی به صورت زیر به‌دست می‌آید (زارعی و شاهکار، ۱۳۵:۱۳۸۰):

$$P=\begin{array}{c c} & \begin{array}{cc} w & d \end{array} \\ \begin{array}{c} w \\ d \end{array} & \begin{bmatrix} \frac{n11}{1+} & \frac{n10}{1+} \\ \frac{n01}{0+} & \frac{n00}{0+} \end{bmatrix} \end{array}$$

رابطه ۳)

14 -Cazacioc & Cipu
15 -Selvi & Selvarj

درایه‌های این آرایه با احتمال‌های انتقال یک مرحله‌ای متناظرند. احتمال تغییر وضعیت یک مرحله‌ای برابر با احتمال رفتن از حالت i به j در یک دوره زمانی با آغاز از n بیان و به شکل p_{ij} نشان داده می‌شود، برابر با احتمال رفتن از حالت i به j در یک دوره زمانی با آغاز از n بیان و به شکل p_{ij} نشان داده می‌شود. اکنون آرایه احتمال انتقال p_{ij} بین دو حالت متوالی رخداد و رخنداد بارش را می‌توان به شکل زیر نوشت:

$$p = \begin{array}{cc} & \begin{array}{cc} w & d \end{array} \\ \begin{array}{c} w \\ d \end{array} & \begin{bmatrix} p_{11} & p_{10} \\ p_{01} & p_{00} \end{bmatrix} \end{array}$$ رابطه ۴)

که p_{ij} بیانگر احتمال‌های انتقال از حالت i به دیگر حالت‌های ممکن j است(گاری و سینگ[۱۶]، ۷۷:۲۰۱۰). در روش پژوهش این نوشتار که مدل زنجیره مارکوف مرتبه یک است، آزمون نیکویی برازش برروی آرایه فراوانی دو حالته مارکوف انجام گرفت. در این آزمون فرض صفر (H_0) بر این ایده قرار دارد که سری‌ها مستقل هستند؛ یعنی داده‌ها از زنجیره مارکوف مرتبه مورد نظر که در اینجا ۲ است، پیروی نمی‌کنند و فرض مقابل (H_1) براین ایده است که داده‌ها فاقد استقلال بوده، از مدل زنجیره مارکوف مرتبه ۲ پیروی می‌کنند. این آزمون بر اساس جدول متقابل مقادیر انتقال مشاهده شده (n_{ij}) و تعداد انتقال مورد انتظار براساس فرض صفر (e_{ij}) بنا نهاده شده است. مقادیر مورد انتظار از روی مقادیر مشاهده شده انتقال با این فرض که جمع حاشیه‌ای مقادیر قابل انتظار مثل انتقالات مشاهده شده است، حاصل می‌شود (باکس[۱۷]و همکاران، ۴۶:۲۰۰۵)؛ یعنی:

$$eij = \frac{n_{i+}\, n_{+j}}{n}$$ رابطه ۵)

در رابطه فوق:

$n_{i+} = n_{i1} + n_{i2}$ مجموع هریک از سطرهای آرایه فراوانی؛

$n_{+j} = n_{1j} + n_{2j}$ مجموع هر یک از ستون‌های آرایه فراوانی است.

بنابراین، آماره آزمون از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\chi_0^2 = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \frac{(n_{ij} - e_{ij})^2}{e_{ij}}$$ رابطه۶)

χ^2 بحرانی (χ_c^2) با (r-1) , (c-1) درجه آزادی، در این جا r و c به ترتیب تعداد سطر و ستون‌های آرایه است و در سطح ۵٪ خطا؛ یعنی با ۹۵٪ اطمینان ($\chi_{0.05, df=(c-1),(r-1)}$) از جدول مربوطه به‌دست می‌آید. اگر $\chi_0^2 > \chi_c^2$ باشد، فرض صفر در سطح معنی‌داری مورد نظر رد می‌شود(عساکره،۱۳۸۷: ۴-۵). ابتدا وضعیت روزهای بارش کشور با فرض دوحالته بودن در آرایه فراوانی زیر مرتب شد:

16 -Gary & Sing
17 -Box

رابطه ۷)

$$F = \begin{array}{cc} & \begin{array}{cc} w & d \end{array} \\ \begin{array}{c} w \\ d \end{array} & \begin{bmatrix} 1771 & 1147 \\ 1147 & 12525 \end{bmatrix} \end{array}$$

در ردیف اول این آرایه عدد ۱۱۷۱ گویای تغییر وضعیت از روز بارش به روز بارش ($W \rightarrow W$) بعدی است. در واقع، طی ۱۵۹۹۱ روز آمار موجود ۱۱۷۱ روز، روزهای همراه با بارش است که پس از یک روز بارش رخ داده است. عـدد ۱۱۴۷ در سطر اول تـعداد روزهـای بدون بارش، پـس از یک روز بـارش -($W \rightarrow D$) را نشان می‌دهد. سطر دوم، تبدیل وضعیت از روز بدون بارش به روز بارش ($D \rightarrow W$) و بدون بارش به بدون بارش ($D \rightarrow D$) به ترتیب ۱۱۴۷ و ۱۲۵۲۵ روز بوده است.

در اینجا باید بدانیم آیا فراوانی‌ها در آرایه فراوانی حالات (رابطه ۵) مستقل هستند یا از زنجیره مارکوف دو حالته پیروی می‌کنند. از آزمون‌های بسیار معتبر برای ارزیابی آرایه تغییر حالت مارکوفی، آزمون χ^2 است. جدول (۱) جدول متقاطع برای انجام آزمون را نشان می‌دهد. اعداد بالایی مقادیر مشاهده شده (O) و اعداد داخل پرانتز مقادیر مورد انتظار (E) تحت فرض صفر است.

جدول ۱) جدول دو بعدی مقادیر مشاهده شده و مقادیر مورد انتظار آرایه فراوانی دو حالته

	W	D	∑
W	۱۱۷۱ (۳۳۶/۰۳)	۱۱۴۷ (۱۹۸۱/۹۷)	۲۳۱۸
D	۱۱۴۷ (۱۹۸۱/۹۷)	۱۲۵۲۵ (۱۱۶۹۰/۰۳)	۱۳۶۷۲
∑	۲۳۱۸	۱۳۶۷۲	۱۵۹۹۰

آماره آزمون به شرح زیر به‌دست آمد:

رابطه ۸) χ_0^2 = ۲۰۷۴/۷۳ + ۳۵۱/۷۵ + ۳۵۱/۷۵ + ۵۹/۶۳= ۲۸۳۷/۸۹

براساس آزمون مربوطه ارزش آماره P (p- Value) در هر سطحی معنی‌دار است (p= 0). همچنین، براساس مقایسه مقادیر بحرانی (χ_c^2) و مقادیر مشاهده شده (χ_0^2) مشخص شد در هر سطح دلخواه شواهد کافی برای پذیرش فرض صفر (استقلال داده‌ها و عدم پیروی از زنجیره مارکوف دو حالته) وجود ندارد؛ به این معنی که فراوانی حالات از زنجیره مارکوف دو حالته پیروی می‌کند.

یافته‌های پژوهش

در این پژوهش به منظور مطالعه و بررسی احتمالات رخداد و رخنداد بارش، آرایه فراوانی و آرایه احتمال انتقال زنجیره مارکوف مرتبه اول، به روش حداکثر درست‌نمایی با دو حالت بارش و بی‌بارش و با آستانه بارش ۰/۵ میلی‌متر، تشکیل شد. احتمالات تجربی نیز در این بررسی مورد توجه قرار گرفت. مقایسه احتمالات تجربی (جدول ۲) و

احتمالات مارکوفی (جدول ۳) نشان می‌دهد برای سه حالت انتقال از بارش به بارش، بارش به بی‌بارش، بی‌بارش به بارش، احتمالات تقریباً برابر است، در حالی‌که درمدل زنجیره مارکوف برای دو حالت بارش به بارش، بارش به بی‌بارش، احتمالات کمترین اختلاف را داشته و این دو حالت با احتمال انتقال از بی‌بارش به بارش تفاوت زیادی را نشان می‌دهد و این موضوع گرایش اقلیم ایران به سمت خشکی را تأیید می‌کند؛ در حالی که در مدل احتمالات تجربی این نکته نشان داده نشده است.

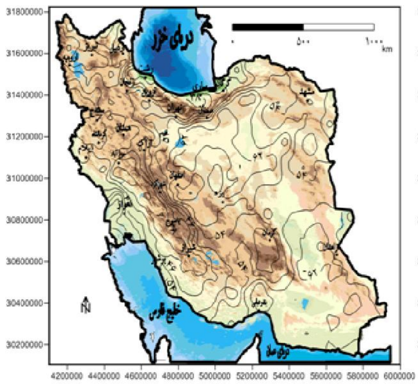
جدول ۲) احتمالات تجربی به درصد

	بارش به بارش	بارش به بی‌بارش	بی‌بارش به بارش	بی‌بارش به بی‌بارش
میانگین سالانه	۷/۳	۷/۲	۷/۲	۷۸/۳

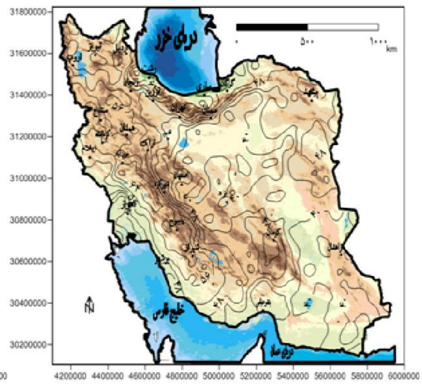
جدول۳) احتمالات مارکوفی به درصد

	بارش (w)	بی‌بارش(d)
بارش(w)	۴۷/۲۵	۵۲/۷۵
بی‌بارش(d)	۸/۷۳	۹۱/۲۷

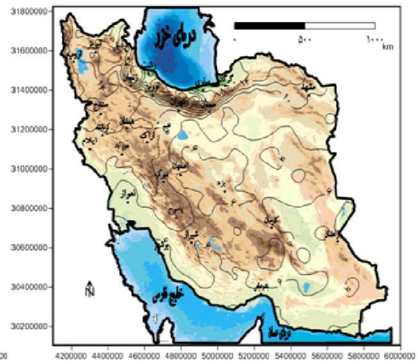
مقایسه نقشه‌های احتمالاتی مختلف نتایج قابل‌توجهی را از شرایط بارش و بدون بارش برای ایران نشان می‌دهد. نقشه بارش به بارش (شکل ۱) احتمالات مارکوفی بیشترین احتمال انتقال را برای رشته کوه‌های البرز و زاگرس نشان داده که تقریباً برابر است. احتمال بیشتر این انتقال برای نواحی کوهستانی کشورکه منطبق بر نقاط پر بارش ایران است، نشان می‌دهد با افزایش مقدار بارندگی احتمال انتقال از بارش به بارش بیشتر می‌شود. با دور شدن از نواحی پربارش به نواحی کم بارش؛ یعنی نواحی مرکزی، شرق و جنوب‌شرق این احتمال کاهش می‌یابد که بیانگر ارتباط کاهش بارندگی با کاهش این احتمال است. نقشه انتقال بارش به بی‌بارش مارکوفی (شکل ۲) کمترین احتمال را برای بلندی‌های البرز و زاگرس ۳۸٪ نشان می‌دهد و از این نظر البرز و زاگرس شرایط مشابهی دارند. آنچه به وضوح در این نقشه به چشم می‌خورد، این است که کوه‌ها چه به‌صورت رشته‌ای (البرز و زاگرس) و چه به‌صورت منفرد و پراکنده (کوه‌های مرکزی ایران) نقش مهمی درکاهش وقوع این انتقال ایفا می‌کنند.



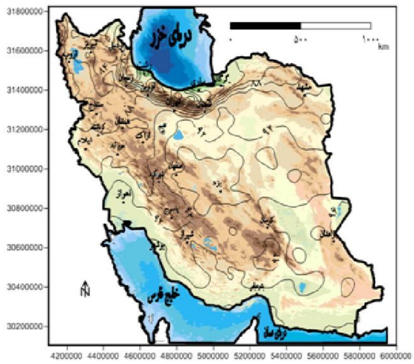
شکل ۲) احتمال مارکوفی بارش به بی‌بارش



شکل ۱) احتمال مارکوفی بارش به بارش

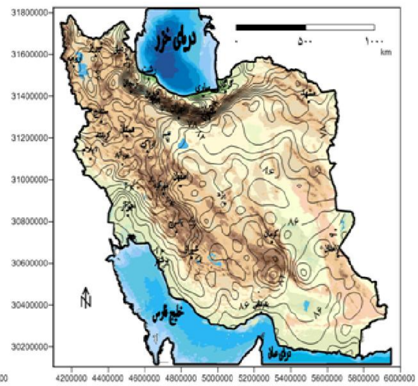


شکل ۳) احتمال مارکوفی بی‌بارش به بارش

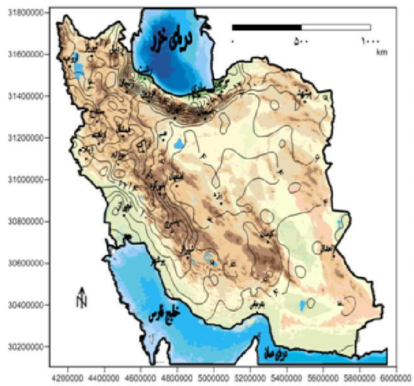


شکل ۴) احتمال مارکوفی بی‌بارش به بی‌بارش

انتقال از بی‌بارش به بارش مارکوفی (شکل ۳) برای کشور ما که اقلیمی خشک دارد، اندک است. بیشترین این احتمال مربوط به رشته کوه‌های البرز است. شیو زیاد خطوط نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع این احتمال نیز افزایش می‌یابد. این موضوع بیان می‌کند بین مقدار بارندگی و افزایش احتمال از بی‌بارش به بارش رابطه مستقیم وجود دارد. نکته جالب توجه در این نقشه آن است که رشته کوه‌های زاگرس در وقوع این احتمال تأثیری ندارد. نقشه بی‌بارش به بی‌بارش مارکوفی (شکل ۴) نشان می‌دهد کشور به دو بخش کم‌وسعت شمالی و پروسعت جنوبی تقسیم شده است. برای رخداد این نوع احتمال هم کوه‌های زاگرس نقشی ایفا نمی‌کند و منحنی‌ها زاگرس را قطع کرده است. برای بخش‌های وسیعی از کشور، احتمال انتقال از بی‌بارش به بی‌بارش به ۹۲٪ می‌رسد. مقایسه نقشه احتمال انتقال تجربی بی‌بارش به بی‌بارش (شکل ۵) و احتمال انتقال مارکوفی (شکل ۴) شرایط مشابهی را از نظر پراکندگی این نوع احتمال نشان می‌دهد.



شکل ۵) احتمال تجربی بی‌بارش به بی‌بارش

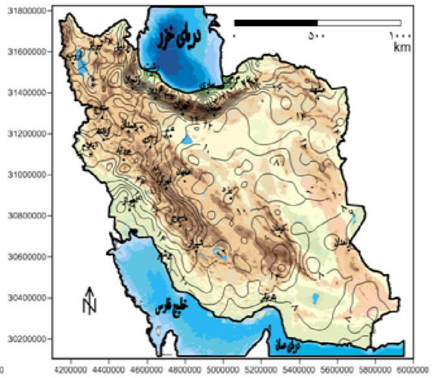


شکل ۶) احتمال تجربی بارش به بارش

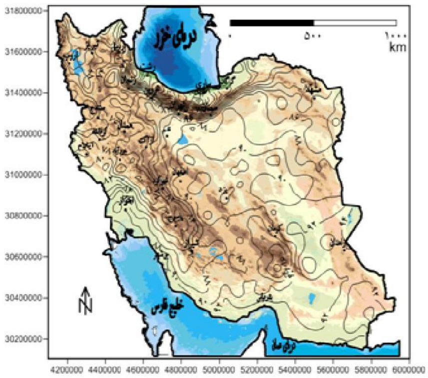
این نقشه نشان می‌دهد که اساساً رخداد بارش در ایران پدیده‌ای کمیاب است؛ به بیان دیگر، روزها و روزها از پی هم می‌گذرند، بدون آنکه بارشی رخ دهد. نتیجه عملی این ویژگی آن است که همین مقدار بارش اندکی که در ایران می‌بارد ناشی از تعداد کمی روز همراه با بارش است؛ در حالی که می‌توانست از انباشت بارش فرو باریده، در تعداد زیادتری روزهای بارش به‌دست آید که در این صورت مهیایی آب در طول سال تضمین می‌شد؛ اما در شرایط کنونی بخش بزرگی از سال بدون بارش سپری می‌شود و تنها در طی چند روز کل بارش سالانه یا بخش بسیار بزرگی از آن فرو می‌بارد.

پیش‌بینی به روش زنجیره مارکوف

نقشه‌های پیش‌بینی به روش زنجیره مارکوف با ایستاکردن احتمالات مارکوفی تهیه شده است. این ایستایی با ضرب مکرر آرایه احتمال انتقال مارکوف به‌دست می‌آید. احتمال وقوع و عدم وقوع بارش برای تمام ماه‌ها محاسبه و در جدول (۴) نشان داده شده است. به دلیل به‌کار بردن داده‌های یاخته‌ای (۷۱۸۷ یاخته) و عدم امکان محاسبه دستی، با نوشتن برنامه‌ای در نرم افزار متلب احتمالات پایا برای تمام یاخته‌ها محاسبه شد و سپس نقشه‌های پیش‌بینی طولانی مدت برای ماه‌ها، فصول و سالانه تهیه شد. نقشه‌های پیش‌بینی احتمال وقوع و عدم وقوع روزانه بارش طی دوره سالانه در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است. حالت ایستایی احتمال وقوع و عدم وقوع بارش روزانه را ۸۵/۵٪ بدون بارش و ۱۴/۵٪ بارش برای کشور طی دوره سال، در دراز مدت پیش‌بینی کرد.



شکل۷) پیش‌بینی احتمال وقوع بارش روزانه



شکل۸) پیش‌بینی احتمال عدم وقوع بارش روزانه

پس از محاسبه احتمال پایا (ایستا) که تغییر وضعیت بارش کشور را در درازمدت بیان می‌کند، دوره بازگشت هر یک از وضعیت‌ها محاسبه شد. دوره بازگشت (T_j) عکس احتمال است و میانگین تعداد روزهایی است که بین رخداد دو حادثه همانند وجود دارد و به شکل $T_j = \frac{1}{p_{ij}}$ بیان می‌شود (عساکره:۱۳۸۷)؛ مثلاً اگر دوره بازگشت رخدادی با احتمال وقوع ۰/۱ ، ۱۰ سال باشد؛ یعنی به طور میانگین هر ۱۰ سال یک بار اتفاق می‌افتد.

جدول ۴) احتمال پایای روزهای توأم با بارش و بدون بارش طی ماه‌های مختلف

دوره	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	امرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
احتمال بارش	۰/۲۴۴	۰/۱۷۸	۰/۰۶۴۶	۰/۰۳۶۳	۰/۰۳۵۲	۰/۰۳۴۲	۰/۰۶۲۷	۰/۱۳۳	۰/۱۹۷۶	۰/۲۳۹	۰/۲۶۵	۰/۲۷۱
احتمال عدم بارش	۰/۷۵۶	۰/۸۲۲	۰/۹۳۵۴	۰/۹۶۳۷	۰/۹۶۴۸	۰/۹۶۵۸	۰/۹۳۷۳	۰/۸۶۷	۰/۸۰۲۴	۰/۷۶۱	۰/۷۳۵	۰/۷۲۹

با توجه به این تعریف برای زنجیره‌های مارکوف، میانگین زمان لازم برای بازگشت زنجیره به حالت اولیه را نیز زمان بازگشت می‌گویند. اگر در وضعیت j قرار داشته باشیم، دوره بازگشت و احتمال پایا را با رابطه زیر می‌توان نشان داد

(هیگنز و مکنالتی، ۱۶۶:۱۳۷۹):

رابطه ۹)
$$E(T_j) = \frac{1}{\pi j}$$

دراین رابطه $\pi = (\pi_1, \pi_2, \ldots\ldots, \pi_s)$ بردار احتمال حالت پایای زنجیره و T_j دوره بازگشت به حالت j را نشان می‌دهد. نتایج این محاسبات در جدول ۵ (ستون دوم) نشان داده شده است.

برآورد دوره برگشت بارش‌ها با تداوم m روزه از توانایی‌های دیگر مدل زنجیره مارکوف است. منظور از تداوم بارش، تعداد روزهای متوالی است که بارش در آن رخ داده باشد؛ مثلاً تداوم دو روزه بارش، به معنی ریزش باران در دو روز متوالی است؛ ولی قبل از روز اول و بعد از روز دوم بارندگی وجود نداشته باشد. دوره برگشت براساس رابطه زیر به‌دست می‌آید(برگرو گوسنس[18]، ۳۳:۱۹۸۳):

رابطه ۱۰)
$$T_m = \frac{1}{p^{m-1}(1-p)}$$

در این رابطه p احتمال (پایای) بارش برای تمام ماه‌ها (جدول۴)، m دوره بارش مورد نظر طی m روز، Tm دوره بازگشت بارشm روزه است. با قرار دادن مقادیر ۲ و ۳ به ازای m، طول دوره بازگشت بارش با تداوم‌های ۲ و ۳ روزه برای هر ماه، فصل و سالانه محاسبه شد .نتیجه این محاسبات در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵) دوره برگشت (تر و خشک) تری دو روزه، سه روزه و احتمال وقوع دو و سه روزه بارش

دوره	دوره‌بازگشت(یک روزه)		دوره بازگشت تری		احتمال وقوع تری	
	تری	خشکی	دو روزه	سه روزه	دو روزه	سه روزه
فروردین	۴/۱	۱/۳	۶/۴	۳۸/۴	۰/۱۵۵۹	۰/۰۲۶۰۳
اردیبهشت	۵/۶	۱/۲	۱۱	۱۷۳/۸	۰/۰۹۰۴	۰/۰۰۵۷۵
خرداد	۱۵/۵	۱/۰۶	۶۱	۱۶۱۹۷	۰/۰۱۶۴	۰/۰۰۰۰۶۲
تیر	۲۷/۶	۱/۰۳	۱۴۱	۷۶۸۹۸	۰/۰۰۷۱	۰/۰۰۰۰۱۳
امرداد	۲۸/۴	۱/۰۳	۱۴۵	۷۲۸۶۰	۰/۰۰۶۹	۰/۰۰۰۰۱۳۷
شهریور	۲۹/۳	۱/۰۳	۱۷۵	۸۶۹۴۴	۰/۰۰۵۷	۰/۰۰۰۰۱۱۵
مهر	۱۵/۹	۱/۰۶	۴۳	۳۰۴۴	۰/۰۲۳۲	۰/۰۰۰۳۳
آبان	۷/۵	۱/۱	۱۳/۶	۲۴۳	۰/۰۷۳۷	۰/۰۰۴۱۲
آذر	۵	۱/۲	۷/۸	۶۲	۰/۱۲۸۵	۰/۰۱۶۰۵
دی	۴/۲	۱/۳	۶	۳۱	۰/۱۶۶۱	۰/۰۳۲۷۳
بهمن	۳/۷	۱/۳	۵/۶	۲۵	۰/۱۷۹۸	۰/۰۴۰۳۲
اسفند	۳/۷	۱/۳	۵/۶	۲۶	۰/۱۷۷۸	۰/۰۳۸۳۵
بهار	۶/۲	۱/۲	۱۰	۱۱۴	۰/۱۰۰۵	۰/۰۰۸۸
تابستان	۲۸/۹	۱/۰۳	۱۳۴	۵۷۷۳۴	۰/۰۰۷۵	۰/۰۰۰۰۱۷۳
پاییز	۷/۶	۱/۱	۱۲/۳	۱۸۱	۰/۰۸۱۲	۰/۰۰۵۵۲
زمستان	۳/۸	۱/۳	۵/۷	۲۷	۰/۱۷۵۴	۰/۰۳۷۶
سالانه	۶/۹	۱/۲	۹/۶۴	۹۴	۰/۱۰۳۷	۰/۰۱۰۶۳

18 -Berger & Goossens

این جدول نشان می‌دهد کمترین دوره بازگشت بارش طی ماه‌های بهمن و اسفند با ۳/۷ روز است. دوره بازگشت بارش‌های دو روزه نیز طی همین ماه‌ها با ۵/۶ روز است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، دوره بازگشت بارش‌های ۱ و ۲ روزه درهمه ماه‌ها اختلاف کمی دارند؛ در صورتی که بین بارش‌ها با تداوم ۲ و۳ روز تفاوت چشگیر است و این بیانگر آن است که اساساً در کشور ما نباید بارش با تداوم بیشتر از ۲ روز را انتظار داشته باشیم. احتمال وقوع بارش با تداوم ۳ روز در ایران بسیار ضعیف و برای ماه‌های تابستان تقریباً غیر ممکن به نظر می‌رسد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با به‌کارگیری تکنیک زنجیره مارکوف، وضعیت کشور از نظر قرارگرفتن در موقعیت خشکی و تری واکاوی شد. داده‌ها مربوط به ۷۱۸۷ یاخته برای ۱۵۹۹۱ روز است. نتایج نشان داد به علت موقعیت خاص جغرافیایی و بهره‌مندی کمتر ایران زمین، از سامانه‌های بارش‌زا و عرض جغرافیایی، مدل مرتبهٔ اول زنجیره مارکوف برازش خوبی با اقلیم کشور دارد. همچنین به علت دوام کمتر و پراکندگی بیشتر بارش، هم از نظر مکانی و هم از نظر زمانی آستانه ۰/۵ برای تمایز روز بدون بارش از روز همراه با بارش مناسب تشخیص داده شد. نقشه‌های احتمالات تجربی و احتمالات مارکوفی بارش بیشتر را برای منـاطق کوهستانی با وسعت کمتر و بارش کمتر را برای بخش وسیعی از کشور نشان داده است. آرایه احتمال انتقال برای تمام یاخته‌ها پس از اینکه به توان ۹ رسید، پایا شد. این پایایی احتمال عدم وقوع بارش روزانه را ۸۵/۵٪ و احتمال وقوع بارش روزانه را ۱۴/۵٪ برای کشور در دراز مدت پیش‌بینی کرد. این نکته نشان داد که عوامل مؤثر بر خشکی در اقلیم کشور از ثبات بیشتری برخوردار بوده، ایران اقلیمی ذاتاً خشک دارد.

منابع

۱- رضیئی، طیب و دیگران .(۱۳۸۲). «پیش‌بینی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی‌ها با استفاده از روش‌های احتمالاتی و سری‌های زمانی (مطالعه موردی استان سیستان و بلوچستان)»، *مجله بیابان*، ج ۸، ش۲ ،ص ۲۹۲-۳۱۰ .

۲- 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، ص ۱۴- ۳۰.

۳- طالشی، عبدالله .(۱۳۸۴). *مدل‌سازی بارش‌های سالانه ایران با استفاده از زنجیره مارکوف*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما دکتر علی اکبر رسولی دانشکده علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه تبریز.

۴- عساکره، حسین .(۱۳۸۷). «بررسی احتمال تواتر و تداوم روزهای بارانی در شهر تبریز با استفاده از زنجیره مارکوف»، *مجله منابع آب ایران*، ش ۲، پاییز ۱۳۸۷، ص ۱-۱۶.

۵- فولادمند، حمید رضا .(۱۳۸۵). «پیش‌بینی بارندگی روزانه و سالانه و تعداد روزهای بارانی در سال با استفاده از زنجیره مارکوف در یک منطقه نیمه خشک»، *مجله علمی پژوهشی، علوم کشاورزی*، سال دوازدهم، ش ۱، ص ۱۱۳-۱۲۵.

۶- ماه‌آورپور، زهرا .(۱۳۹۱). *مدل مارکوفی بارش ایران بر اساس پایگاه دادهٔ اسفزاری*، پایان نامهٔ کارشناسی ارشد، استاد راهنما دکتر سید ابوالفضل مسعودیان، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان.

۷- هیگنز، مکنالتی .(۱۳۷۹). *مفاهیم احتمال و مدل‌بندی تصادفی*، ترجمه علی مشکانی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ دوم.

۸- یوسفی، نصرت الله و دیگران .(۱۳۸۶). «برآورد احتمالات خشکسالی و ترسالی با استفاده از زنجیره مارکوف و توزیع نرمال (مطالعه موردی قزوین)». *پژوهش‌های جغرافیایی*، ش ۶۰، ص ۱۲۱-۱۲۸.

9-Akan, A.Osman and Houghtalen, Robert.J., 2003, Urban Hydrology, Hydraulics, and Storm Water Quality, John Wily & snos.Inc.,U.S.A.

10- Berger, A. & Goossens, C.H.R (1983), Persistence of wet and dry spells at Uccle (Belgium), j. Climatol. 3, 21-34.

11- Box. George E P, Hunter Stuart J. and Hunter William G (2005), Statistics for Experimenters. John Wily & Sons.Inc.,U.S.A.

12-Cao, C [etal] (1993), Time serials of rainfall and Their Stochastic Simulation,Urban Storm drainage. Italy, 25-28Jully 1993, 45-62.

13- Cazacioc, L & Cipu, E.C (2004), Evaluation of the transition probabilities for daily precipitation time series using a Markov chain model. Proceedings of The 3-rd International Colloquium. Mathematics in Engineering and Numerical Physics, October (2004)7-9.

14- Garg,V.K, & Singh,J.B (2010), Three – State Markov Chain Approach On the Behavior Of Rainfall. New York Science Journal(2008),3(12).76-81.

15- Gasm .A .M (1987), An Application of Markov chain Model For Wet and Dry Spell probailites at Juba in Southern Sudan.Geo journal 15.4 ,420-424 Geographical. Bulletin,Vol.8.pp.228.

16- Hess, G.D & [etal] (1990), Operational, short-term prediction of rainfall using a cycled Markov chain method. Australian Meteorological Magazine 38:3 september 1990, 201-205.

17- Kalita, S & Sarmah, S .K (1984), On the occurrences of dry and wet sequences in the Brahmaputra valley ,jornal of earth system science.Vol.No.1,March PP.27-36, 1984.

18- Khambete, N.N (1993), use of Markov chain model in Agra-climatic classification for assessment of crop potential, J. of Maharashtra –Agric.universitis, 18:2,174-177.

19- Martin,vide & Gomez J (1999), Regionalization of Peninsular Spain Based on the Length of dry spells. International Journal of Climatology, 19,537-555.

20- Selvaraj, R.S. & Selvis,T (2010), Stochastic Modelling of daily rainfall at ADUTHURAI. International Journal of Advanced Computer and Mathematical Sciences, vol 1, Issue 1, Dec, 2010, pp 52-57.

21- Sperber, K.R. & Hameed, s (1986), Some characteristics of precipitation and dry periods on long Island. Tellus (1986), 38B, 380-384.