

بررسی احتمال تواتر و تداوم روزهای بارانی در جنوب غرب ایران با استفاده از مدل زنجیره مارکف

علی محمدخورشید دوست^۱
مجتبی فخاری^۲

چکیده

یکی از مهم‌ترین مسائل در مناطق خشک و نیمه‌خشک مدیریت منابع آب است. بنابراین با مطالعه و شناخت رفتارها و احتمال وقوع یا عدم وقوع بارش توان مدیریتی مربوط به منابع آبی را در این مناطق بهبود بخشید. در این پژوهش احتمال وقوع روزهای همراه با بارش در جنوب غرب ایران با استفاده از داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک در دوره آماری ۱۹۹۵-۲۰۰۹ و با استفاده از مدل زنجیره مارکف انجام شد. سپس ماتریس فراوانی، ماتریس تغییر وضعیت و ماتریس پایا محاسبه شد و در نهایت بارش‌های تداومی و دوره بازگشت بارش‌های ۲ و ۵ روزه محاسبه گردید. نتایج نشان می‌دهد که کم‌ترین احتمال بارش در مناطق هموار و بیش‌ترین احتمال بارش در مناطق کوهستانی است. همچنین بیش‌ترین احتمال ماهانه مربوط به ژانویه و کم‌ترین احتمال در تابستان قرار دارد. کم‌ترین دوره بازگشت و بیش‌ترین بارش‌های تداومی در ایستگاه‌های کوهستانی و بیش‌ترین دوره بازگشت و کم‌ترین احتمال بارش‌های تداومی در مناطق هموار قرار دارد. همچنین در ماه ژوئن برخلاف سایر ماه‌ها احتمال روزهای بارانی در دامنه پشت به باد بیش‌تر است.

واژگان کلیدی: زنجیره مارکف، بارش‌های جنوب غرب ایران، احتمال وقوع.

مقدمه

بخش عمده‌ای از فعالیت‌های انسانی به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم تحت تاثیر اقلیم و پارامترهای اقلیمی قرار دارد. یکی از مهم‌ترین پارامترها که نقش مهمی در زندگی انسان دارد بارش است. از آنجایی که بارش‌های ایران دارای تغییرپذیری بالایی هستند (علیچانی، ۱۳۸۰: ۱۱۷) با مطالعه و شناخت رفتارها و احتمال وقوع یا عدم وقوع بارش می‌توان مدیریت مربوط به منابع آبی را بهبود بخشید. بررسی آماری به روش‌های مختلف از جمله تحلیل سری‌های زمانی، همبستگی خطی و غیرخطی و استفاده از توزیع‌های آماری شناخته شده نظیر توزیع نرمال، گمبل و پیرسون انجام می‌گیرد. در میان روش‌های آماری، زنجیره مارکف در علوم جوی در سال‌های اخیر مورد توجه جدی قرار گرفته است. زنجیره مارکف با روش‌های ساده ریاضی حل احتمالات مربوط به فرایندهای وابسته را بسیار آسان نموده است. این روش در علوم مختلفی مانند هواشناسی، اقلیم‌شناسی، اقتصاد و صنعت کاربرد وسیعی دارد (یوسفی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۲۲). از این روش می‌توان برای پیش‌بینی احتمال وقوع و پایداری دوره‌های تر و خشک استفاده کرد (رضیعی و همکاران، ۱۳۸۶: ۲۶). تعیین ویژگی‌های خشک و تر هر منطقه، پایداری و احتمال وقوع هر یک از این دوره‌ها نیاز اساسی برنامه‌ریزی‌های محیطی به‌ویژه برنامه‌ریزی برای مدیریت منابع آب می‌باشد. از این رو با شناخت رفتار و احتمال بارندگی همراه با توزیع زمانی مکانی آن می‌توان به توان مدیریتی منابع آبی در منطقه کمک شایانی کرد. از این رو در این تحقیق با استفاده از مدل زنجیره مارکف، احتمال وقوع روزهای بارانی به‌صورت ماهانه و سالانه در جنوب‌غرب ایران بررسی شده است. پژوهش زیادی با استفاده از زنجیره مارکف انجام شده که در زیر به نمونه‌هایی از آن‌ها اشاره می‌شود. تیر و کوزرا (۲۰۰۳) توسط مدل مارکف مخفی به مدل‌سازی بلندمدت بارندگی در چند بخش مهم استرالیا پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها ساختار مدل دو مرحله‌ای را پیشنهاد می‌کند. پالتو و پیرا (۲۰۰۷) در پژوهشی دوره‌های گذار خشکسالی‌های شدید را با استفاده از زنجیره مارکف بررسی کردند و بیان می‌دارند که دوره‌های خشکسالی را می‌توان یک تا دو ماه جلوتر پیش‌بینی کرد. لئارتسون (۲۰۰۸)

بارندگی سوئد را به وسیله زنجیره مارکف چندمرحله‌ای و یک روش ترکیبی مدل‌سازی کرده است. او در یک مرحله احتمال وقوع بارش و در مرحله دیگر احتمال میزان بارش را مدل‌سازی کرده و در پایان نتایج را با داده‌های واقعی مقایسه کرده که نتایج خوبی در برداشته است. داستیدار و همکاران (۲۰۰۹) مدل زنجیره مارکف مرتبه بالاتر را برای الگوی بارش‌های مونسون استفاده کردند. آن‌ها این مدل را برای ۴ ایستگاه هواشناسی به کار گرفتند. به‌طور عمومی مارکف مرتبه سه و چهار مدل بهترین برازش را نسبت به مراحل دیگر بر داده‌ها دارد. دنی و جمین (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای به مقایسه بین مدل احتمال مرکب و مدل زنجیره مارکف برای خشکی و تری هفتگی در مالزی پرداختند و نتیجه می‌گیرند که سری لگاریتم مرکب و پراکندگی پواسون برای دوره‌های خشکی و سری لگاریتم مرکب و پراکنش هندسی برای دوره‌های مرطوب بهترین برازش را دارد. مستمند و همکاران (۱۳۸۲) به تحلیل آماری دوره‌های تر و خشک در استان فارس پرداختند و احتمال روزهای تر و خشک را برای ایستگاه‌های مورد مطالعه محاسبه کردند و موسوم‌های تر و خشک، احتمال ساکن وقوع روز تر و خشک و دوره برگشت موسوم‌های تر و خشک را برای ماه‌های آبان تا اردیبهشت مشخص کردند. دریاپاری (۱۳۸۵) با استفاده از مدل‌های ماتریس احتمال انتقال تجربی به پیش‌بینی خشکسالی در ۲۶ ایستگاه سینوپتیک ایران می‌پردازد و بیان می‌دارد که با استفاده از بارندگی سال مینا، امکان پیش‌بینی تا ۵ سال امکان‌پذیر خواهد بود. یوسفی و همکاران (۱۳۸۶) به برآورد احتمال خشک سالی و تر سالی با استفاده از زنجیره مارکف و توزیع نرمال در قزوین، نتیجه می‌گیرند که زنجیره مارکف نتایج بهتری نسبت به توزیع نرمال دارد. رضیئی و همکاران (۱۳۸۶) به بررسی خشکسالی‌های هواشناسی در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نمایه SPI و مدل زنجیره مارکف می‌پردازند و نتیجه می‌گیرند که در مقیاس ۶ ماهه، احتمال ماندن در تله خشکسالی در نواحی مرکزی استان ۷۰٪ و در نواحی شرقی کم‌تر از ۵۰٪ است. عساکره (۱۳۸۷) تواتر و تداوم روزهای بارانی در شهر تبریز با استفاده از مدل زنجیره مارکف بررسی و سپس احتمال پایا و دوره بازگشت روزانه هر یک از دو حالت بارش - خشکی را برآورد کرده و بیش‌ترین احتمال وقوع روزهای بارانی را در فصل بهار به‌دست آورده است. طاوسی و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی خشکسالی

و تحلیل روند دوره‌های خشک کوتاه‌مدت ایرانشهر با استفاده از مدل زنجیره مارکف پرداختند و نتیجه گرفتند که دوره‌های خشک‌سالی در سال‌های اول دوره آماری کمتر و از نظم بیش‌تری برخوردار بوده است. از سال ۱۳۷۷ به بعد نه تنها فراوانی خشک‌سالی‌ها بلکه شدت و تداوم آن‌ها افزایش یافته است. سلیقه و همکاران (۱۳۹۰) تحلیل فضایی بارش فصول مرطوب سال با استفاده از زنجیره مارکف را برای استان اردبیل انجام دادند و رفتار بارندگی در این استان را توصیف نمودند. قمقامی و بذرافشان (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای بر روی ۳۳ ایستگاه سینوپتیک کشور با استفاده از نمایه SPI خشک‌سالی‌های بیش از ۶ ماه را پایش نمودند و با استفاده از زنجیره مارکف وضعیت خشک‌سالی تا سه ماه آینده را پیش‌بینی کردند.

مواد و روش‌ها

هر برآمد (نتیجه) فرایندهای تصادفی که تنها به برآمد بلافاصله قبل از آن بستگی دارد را فرآیند تصادفی با ویژگی مارکف گویند. بر این اساس فرایند تصادفی که در ویژگی مارکف صدق می‌کند، فرایند یا زنجیره‌های مارکف می‌نامند. یک دوره زمانی یک زنجیره مارکف می‌تواند در یک حالت باقی مانده یا به حالت دیگر تغییر کند (سلاجقه و همکاران، ۱۳۸۷: ۲۱۰). زنجیره گویای این واقعیت است که هر برآمد به رویداد قبل از خودش وابسته است و به رویدادهای دیگر مربوط نمی‌شود. در واقع در این رویه احتمال وقوع یک حالت اقلیمی در زمان t به وضعیت آن در زمان قبل یعنی $t-1$ دارد. در این صورت تغییر هر یک از مشاهدات از حالتی به حالت دیگر مشخص می‌شود (عساکره، ۱۳۸۷: ۴۸). در این پژوهش احتمال وقوع روزهای همراه با بارش در جنوب غرب ایران با استفاده از داده‌های بارش روزانه ۱۸ ایستگاه سینوپتیک (آبادان، آغاچاری، امیدیه، اهواز، ایذه، بروجن، بستان، بندرماهشهر، بهبهان، دزفول، دوگنبدان، رامهرمز، شهرکرد، شوشتر، کوهرنگ، لردگان، مسجدسلیمان و یاسوج) در دوره آماری ۱۹۹۵-۲۰۰۹ و با استفاده از مدل زنجیره مارکف انجام شد. سپس ماتریس فراوانی، ماتریس تغییر وضعیت و ماتریس پایا محاسبه و در نهایت بارش‌های تداومی و دوره بازگشت بارش‌های ۲ و ۵ روزه به‌صورت میانگین ماهانه و سالانه محاسبه شد. ابتدا داده‌های بارش روزانه بر اساس آستانه صفر به دو قسمت تقسیم شدند. روزهای

فاقد بارش (صفر میلی‌متر) شرایط خشکی (d) و مقادیر بیش‌تر از صفر شرایط بارانی (w) به حساب آمدند. سپس وقوع هر یک از حالات دوگانه (بارش و فقدان بارش) و تغییر حالات به هم محاسبه شد و ماتریس شمارش فراوانی هر یک از این حالات تهیه شد:

$$F = \begin{matrix} & \begin{matrix} d & w \end{matrix} \\ \begin{matrix} d \\ w \end{matrix} & \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} \\ n_{21} & n_{22} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

این ماتریس تغییر وضعیت از خشکی به خشکی را با n_{11} ، تغییر وضعیت از خشکی به بارانی با n_{12} ، تغییر شرایط بارانی به خشکی n_{21} و تغییر وضعیت بارانی به بارانی را با n_{22} نمایش می‌دهد. برای آزمون نیکویی برازش ماتریس فراوانی از آزمون استقلال استفاده شد. فرض صفر (H_0) بر این ایده استوار است که سری‌ها مستقل هستند (عساکره، ۱۳۸۷: ۴۹). این آزمون با استفاده از مقادیر مشاهده شده (O) و مقادیر مورد انتظار (E) صورت می‌گیرد:

$$\chi^2 = \frac{(O - E)^2}{E} \quad (2)$$

χ^2 بحرانی با (r-1). (c-1) درجه آزادی (در این جا r و c به ترتیب تعداد سطر و ستون ماتریس است) از جدول مربوطه به دست می‌آید. اگر χ^2 محاسباتی بزرگ‌تر از χ^2 جدول باشد فرض صفر رد می‌شود (میرموسوی و زهره‌وندی، ۱۳۹۰: ۴). برای $n > 8$ مقدار r_s به وسیله فرمول (۴) و با n-2 درجه آزادی محاسبه می‌شود (عساکره، ۱۳۸۷: ۴۹):

$$t_0 = r_s \sqrt{\frac{n-2}{1-r_s^2}} \quad (4)$$

سپس ماتریس احتمال تغییر وضعیت به روش درست‌نمایی بیشینه به صورت زیر به دست می‌آید:

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} d & w \end{matrix} \\ \begin{matrix} d \\ w \end{matrix} & \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} \\ n_{21} & n_{22} \\ n_{1+} & n_{2+} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (۵)$$

ماتریس فوق یک ماتریس تصادفی است. زیرا هر درایه آن نامنفی و مجموع درایه‌های آن در هر ردیف برابر یک است. یکی از راه‌های معمول ارائه احتمال‌های تغییر وضعیت یک زنجیره مارکف به کمک ماتریس تغییر وضعیت یک مرحله‌ای است. احتمال تغییر وضعیت یک مرحله‌ای برابر احتمال شرطی زیر است (Higgins, James, ۱۳۷۹):

$$P_n(i \rightarrow j) = P[X(n+1) = j | X(n) = i] \quad (۶)$$

احتمال تغییر وضعیت یک مرحله‌ای برابر احتمال رفتن از حالت i به j در یک دوره زمانی با آغاز از n بیان می‌شود. احتمال تغییر وضعیت مرحله‌ای، در نظریه و کاربرد زنجیره مارکف نقش کلیدی ایفا می‌کند (Higgins, James, ۱۳۷۹). مشابه احتمال تغییر وضعیت یک مرحله‌ای می‌توان احتمال تغییر وضعیت k مرحله‌ای را نیز به صورت زیر تعریف کرد:

$$P^k(i \rightarrow j) = P[X(n+k) = j | X(n) = i] \quad (۷)$$

ماتریس تغییر وضعیت k مرحله‌ای ماتریسی است که درایه‌های آن با احتمال‌های تغییر وضعیت k مرحله‌ای متناظرند. در این ماتریس برچسب سطر نمایانگر وضعیت در زمان n و برچسب ستون نمایانگر وضعیت در مرحله $n+k$ است. برای محاسبه ماتریس تغییر وضعیت k مرحله‌ای می‌توان ماتریس یک مرحله‌ای متناظر را به صورت ماتریسی به توان k رساند. از مقدار k به بعد هیچ تغییری در ماتریس ایجاد نمی‌شود و مقادیر ردیف‌های متناظر در ماتریس یکسان خواهد بود. در این صورت گفته می‌شود که ماتریس به حالت ایستایی (پایایی) رسیده است (دریاباری، ۱۳۸۵: ۹۶). محاسبه احتمال از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{ij} = \frac{mi_j}{\sum_j mi_j} \quad ij=1, \dots, s \quad (۸)$$

در این معادله صورت کسر تعداد دفعات انتقال از حالت i به حالت j و مخرج کسر مجموع تعداد دفعات انتقال از حالت i به هر حالت دیگر است. دوره بازگشت (T_j) در واقع عکس احتمال است و آن متوسط روزهایی است که بین دو حادثه مشابه وجود دارد و به شکل زیر بیان می شود (مساعدی و عیوضی، ۱۳۸۷: ۹۳):

$$T_j = \frac{1}{P_{i_j}} \quad (۹)$$

با تعمیم این تعریف بر زنجیره های مارکف، متوسط زمان لازم برای بازگشت زنجیره به حالت اولیه را نیز زمان بازگشت می گویند. در صورتی که وضعیت j برقرار باشد، رابطه ساده امید ریاضی دوره بازگشت و احتمال پایا را می توان به شکل زیر نشان داد (عساکره، ۱۳۸۷: ۵۱):

$$E(T_j) = \frac{1}{\pi_j} \quad (۱۰)$$

در رابطه فوق $\pi = (\pi_j, \pi_j, \pi_j, \dots, \pi_j)$ بردار احتمال حالت پایای زنجیره دوره بازگشت به حالت j را نشان می دهد. برای محاسبه احتمال بارش های تداومی از فرمول زیر استفاده شد:

$$P^{(w-w)}P^{(w-w)}P^{(w-w)}$$

یافته ها و بحث

داده های سالانه

جدول ۱ وضعیت بارش ایستگاه های مورد مطالعه را با فرض دو حالتی بودن نشان می دهد. در این جدول فراوانی تغییر وضعیت از روز خشک به خشک در ایستگاه آبادان با ۴۷۵۰ روز بیش ترین و کوه رنگ با ۳۷۲۴ روز کم ترین مقدار را دارا هستند. در روزهای بارانی به بارانی آبادان و کوه رنگ دارای کم ترین و بیش ترین مقدار هستند. به طور کلی ایستگاه هایی چون

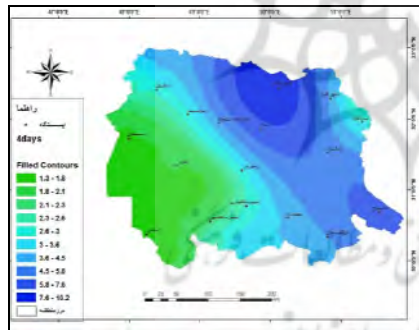
آبادان، اهواز، امیدیه، بستان و رامهرمز که در قسمت جنوب غربی منطقه واقع شده‌اند، دارای احتمال وقوع بارندگی کم‌تری نسبت به سایر مناطق هستند و فقط در ایستگاه‌های کوهرنگ، ایذه و یاسوج فراوانی روزهای تر به تر از فراوانی روزهای تر به خشک بیش‌تر است. بزرگ‌تر بودن تغییر وضعیت و فراوانی روز تر به تر نسبت به روزهای تر به خشک نشان‌دهنده تداوم بیش‌تر بارش در این مناطق است. احتمال بارش‌های تداومی در ادامه بحث خواهد شد.

جدول (۱) ماتریس تغییر وضعیت برای داده‌های سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک

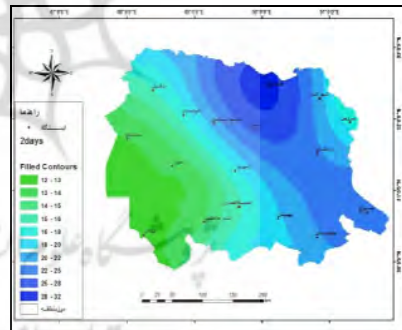
| ردیف | ایستگاه | روز خشک به خشک | روز خشک به تر | روز تر به خشک | روز تر به تر |
|------|-------------|----------------|---------------|---------------|--------------|
| ۱ | آبادان | ۴۷۵۰ | ۲۹۰ | ۲۸۹ | ۱۴۹ |
| ۲ | آغاچاری | ۴۵۸۵ | ۳۲۳ | ۳۲۳ | ۲۴۷ |
| ۳ | امیدیه | ۴۶۰۷ | ۳۳۳ | ۳۳۳ | ۲۰۵ |
| ۴ | اهواز | ۴۵۹۷ | ۳۴۰ | ۳۳۹ | ۲۰۲ |
| ۵ | ایذه | ۴۱۴۰ | ۴۳۳ | ۴۳۳ | ۴۷۲ |
| ۶ | بروجن | ۴۳۴۲ | ۴۲۷ | ۴۲۷ | ۲۸۲ |
| ۷ | بستان | ۴۶۶۹ | ۳۱۹ | ۳۱۸ | ۱۷۲ |
| ۸ | بندر ماهشهر | ۴۶۴۲ | ۳۱۸ | ۴۱۸ | ۲۰۰ |
| ۹ | بهبهان | ۴۵۱۹ | ۳۴۴ | ۳۴۴ | ۲۷۱ |
| ۱۰ | دزفول | ۴۴۱۷ | ۳۹۵ | ۳۹۴ | ۲۷۲ |
| ۱۱ | دوگنبدان | ۴۴۳۴ | ۳۶۸ | ۳۶۸ | ۳۰۸ |
| ۱۲ | رامهرمز | ۴۵۱۸ | ۳۶۹ | ۳۶۹ | ۲۲۲ |
| ۱۳ | شوشتر | ۴۵۵۸ | ۳۴۳ | ۳۴۳ | ۲۳۴ |
| ۱۴ | شهرکرد | ۴۲۳۸ | ۴۵۱ | ۴۵۱ | ۲۳۸ |
| ۱۵ | کوهرنگ | ۳۷۲۴ | ۵۳۱ | ۵۳۱ | ۶۹۲ |
| ۱۶ | لردگان | ۴۲۱۴ | ۴۲۷ | ۴۲۷ | ۴۱۰ |
| ۱۷ | مسجد سلیمان | ۴۴۳۰ | ۳۷۲ | ۳۷۱ | ۳۰۵ |
| ۱۸ | یاسوج | ۴۱۲۵ | ۴۴۶ | ۴۴۶ | ۴۶۱ |

بارش‌های تداومی

شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب احتمال بارش دو روزه و چهار روزه در منطقه را نشان می‌دهند. به عبارت دیگر روز بارشی بعد از یک روز بارشی که قبل و بعد این دو روز، خشک باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود احتمال بارش دوروزه برای آبادان ۱۲ درصد و برای کوه‌رنگ ۳۲ درصد است. برای بارش‌های ۴ روزه نیز کم‌ترین احتمال مربوط به آبادان ($1/3$) و بیش‌ترین احتمال مربوط به کوه‌رنگ ($10/2$) است. از آنجا که ایستگاه کوه‌رنگ دارای بلندترین ارتفاع در بین ایستگاه‌ها و ایستگاه آبادان در منطقه پست و همواری قرار دارد، و از آنجا که این منطقه عموماً تحت تأثیر یک نوع سامانه بارشی قرار می‌گیرند، این تغییرات در بارش‌های دو و چهار روزه می‌تواند به دلیل نقش کوهستان‌ها بر تعداد روزهای بارشی باشد. به‌طور کلی احتمال تداوم روزهای بارانی در شمال شرق منطقه که منطقه کوهستانی است، بسیار بالاتر است. این نتایج بیان‌کننده این امر است که ناهمواری‌ها با افزایش تداوم روزهای بارشی، نقشی موثر در افزایش بارش سالانه دارند.



شکل (۲) احتمال وقوع بارش‌های ۴ روزه در منطقه مورد مطالعه



شکل (۱) احتمال وقوع بارش‌های دو روزه در ایستگاه‌های مورد مطالعه

دوره بازگشت

شکل ۳ و ۴ به ترتیب دوره بازگشت بارش‌های دو روزه و ۵ روزه را نشان می‌دهد. دوره بازگشت بارش‌های دو روزه ایستگاه آبادان که در جنوب غرب منطقه مورد مطالعه واقع شده

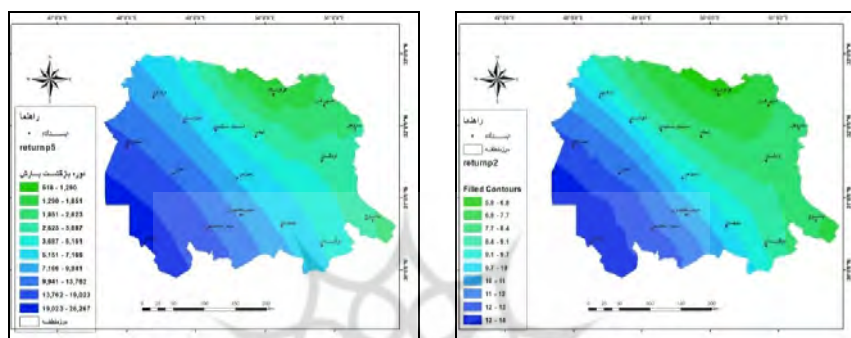
است، ۱۳ روز و برای ایستگاه کوه‌رنگ تقریباً ۶ روز است. به عبارتی در طول سال (غیر از تابستان) احتمال این‌که در آبادان بارشی با تداوم دو روز رخ دهد، ۱۳ روز بعد از آخرین رخداد آن است اما این مدت برای کوه‌رنگ به نصف کاهش پیدا می‌کند. اما در بارش‌های با تداوم بالاتر نقش کوهستان‌ها بسیار قابل ملاحظه‌تر است. به طوری که در بارش‌های ۵ روزه، دوره بازگشت برای آبادان تقریباً ۷۲ سال و برای کوه‌رنگ یک و نیم سال است. البته با در نظر نگرفتن ماه‌های بدون بارش (با احتمال بارش اندک) این دوره‌ها کاهش خواهد یافت. برای مثال بارش‌های با تداوم ۵ روز در کوه‌رنگسالی یک تا دو بار در فصل بارش تکرار می‌شود در صورتی که احتمال رخداد بارش ۵ روزه در سال برای ایستگاه‌های آبادان، اهواز، امیدیه، بستان و آغاچاری تقریباً صفر است.

دوره بازگشت ماهانه بارش‌های دو روزه نشان می‌دهد که ماه‌های ژانویه و دسامبر (میانگین ۵ روز) دارای کم‌ترین دوره بازگشت هستند و ماه‌های فوریه، مارس، آوریل و نوامبر (میانگین ۶ تا ۸ روز) قرار دارند. ماه‌های می، ژوئن و اکتبر هم دارای دوره بازگشت‌های طولانی‌تری (میانگین از ۲۴ روز تا ۱۸۲ روز) هستند. همچنین ماه‌های ژولای، اوت و سپتامبر عموماً به صورت کاملاً خشک است. همان‌طور که انتظار می‌رود ایستگاه‌های کوهستانی هم‌چون کوه‌رنگ، یاسوج و ایذه دارای کم‌ترین دوره بازگشت برای بارش‌های دو روزه می‌باشد. این ایستگاه‌ها در ماه‌های می، ژوئن و اکتبر هم دارای دوره بازگشت‌های بسیار کوتاه‌تری نسبت به سایر ایستگاه‌ها دارند. از آوریل تا اکتبر بیش‌ترین دوره بازگشت به جنوب منطقه انتقال پیدا می‌کند. در این ماه‌ها ایستگاه‌های آبادان، بندر ماهشهر، امیدیه، آغاچاری و بهبهان از جمله ایستگاه‌های با دوره بازگشت بالا می‌باشند.

ماتریس پایا

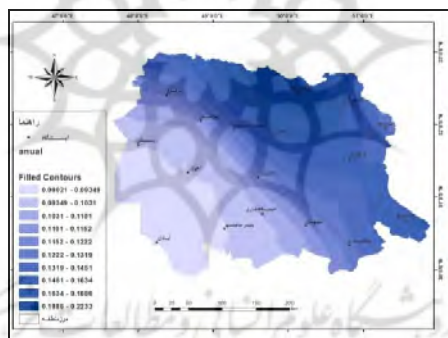
شکل ۵ احتمال وقوع بارندگی در بلندمدت (ماتریس پایا) در منطقه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود کم‌ترین احتمال روز بارانی در آبادان (۰/۰۸۰۲) و بیش‌ترین احتمال آن در کوه‌رنگ (۰/۲۲۳۳) قرار دارد. به طور کلی هر چه از سمت آبادان (جنوب غرب) به سمت کوه‌رنگ و یاسوج (شرق و شمال شرق) حرکت کنیم، بر احتمال

وقوع بارش افزوده می شود. بیشترین شیب افزایشی در کوهپایه های رو به باد و بیشترین احتمال روزهای بارشی بر محور ناهمواری ها منطبق است. پس از محور ناهمواری ها، احتمال روزهای همراه با بارش در دامنه شرقی کاهش می یابد.



شکل (۴) دوره بازگشت بارش های ۵ روزه

شکل (۳) دوره بازگشت های بارش دو روزه



شکل (۵) ماتریس پایا و احتمال وقوع روزهای همراه با بارش در منطقه مورد مطالعه

داده های ماهانه

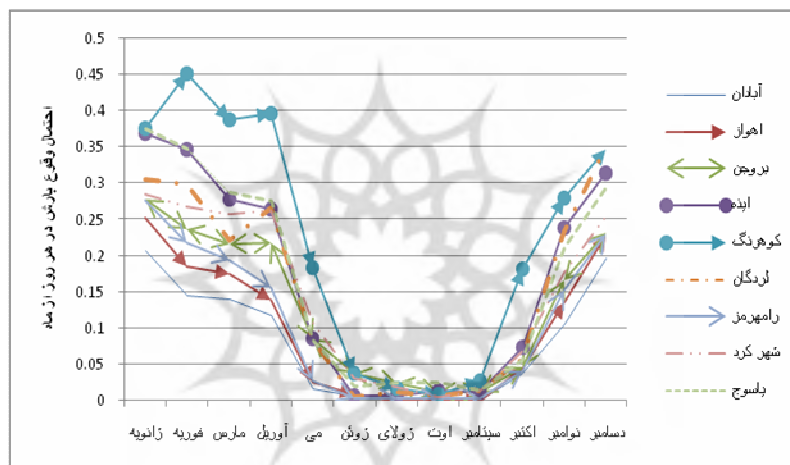
برای داده های ماهانه نیز ماتریس فراوانی و ماتریس تغییر وضعیت همانند داده های سالانه محاسبه گردید. سپس با به توان رساندن ماتریس تغییر وضعیت، ماتریس پایا به صورت ماهانه برای همه ایستگاه ها محاسبه شد. برای درک بهتر رفتار بارشی در منطقه نمودار ماهانه ماتریس پایای چند ایستگاه نمونه مناطق هموار، دامنه ای و کوهستانی آورده

شده است. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، رفتار احتمال روزهای همراه با بارش از ژانویه تا ژوئیه عموماً سیر نزولی و از سپتامبر تا دسامبر سیر صعودی دارد. به‌طور کلی احتمال بارش در ایستگاه‌ها از ژانویه تا آوریل با یکدیگر اختلاف دارند و در بقیه ماه‌ها تقریباً رفتاری شبیه هم دارند. همه ایستگاه‌ها از ژانویه تا مارس سیر نزولی دارند. از مارس تا آوریل شیب کاهش بیش‌تر ایستگاه‌ها کم شده و در بعضی ایستگاه‌ها احتمال بارش در آوریل افزایش می‌یابد (کوه‌رنگ، لردگان و بروجن). ایستگاه‌هایی که در آوریل احتمال روزهای بارشی نسبت به ماه قبل افزایش دارد، در مناطق کوهستانی واقع شده‌اند. این افزایش می‌تواند به‌دلیل همرفت در مناطق کوهستانی باشد که شرایط آن در بهار فراهم است. چرا که در فصل بهار و به خصوص تابستان، بارش‌های همرفتی سهم قابل توجهی از بارش سطح زمین را در ایران تأمین می‌کنند (جوانمرد و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۷۱۶). پس از آوریل تعداد روزهای همراه با بارش به‌صورت ناگهانی کاهش می‌یابد و در ژوئیه احتمال بارش در اکثر ایستگاه‌ها تقریباً به صفر می‌رسد. این احتمال حداقلی تا سپتامبر ادامه دارد و از نوامبر تا دسامبر سیر روند روزهای بارشی افزایشی است.

پراکنش فضایی احتمال پایا به‌صورت ماهانه

پراکنش فضایی احتمال پایای داده‌های ماهانه برای بعضی ماه‌ها شبیه هم است که می‌توان آن‌ها را در سه گروه طبقه‌بندی نمود. برای کوتاه‌تر شدن مطلب یک نمونه از هر گروه آورده شده است. ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، نوامبر و دسامبر شبیه به هم است، که به‌عنوان نمونه پراکنش ماه دسامبر آورده شده است. در این ماه‌ها حداقل احتمال روزهای بارشی در جنوب غرب منطقه قرار دارد و شامل ایستگاه‌های آبادان، بستان، اهواز و بندر ماهشهر می‌باشد. حداکثر این احتمال بر محور ناهمواری‌های منطقه منطبق است و دوباره در مناطق پشت به باد ناهمواری‌ها این احتمال کاهش می‌یابد (شکل ۷). در این میان، ماه‌های می و اکتبر نیز پراکنش همانندی داشته‌اند. در این دو ماه ایستگاه‌های واقع در جنوب منطقه از جمله امیدیه، آغاچاری، بندر ماهشهر و بهبهان دارای حداقل احتمال روزهای بارش هستند. بیش‌ترین احتمال مربوط به ناهمواری‌های زردکوه می‌باشد و به

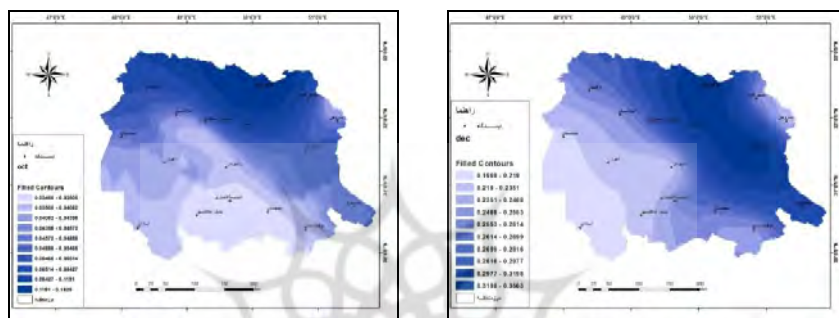
سمت دامنه‌های شرقی کاهش می‌یابد (شکل ۸). پراکنش روزهای همراه با بارش ماه ژوئن کمی متفاوت از سایر ماه‌ها است. در این ماه حداقل احتمال بارش در مرکز منطقه واقع شده است. حداکثر احتمال بارش نیز از دامنه غربی ناهمواری‌ها به دامنه شرقی ناهمواری‌ها منتقل شده است که ایستگاه‌های بادپناهی چون بروجن احتمال روزهای همراه با بارش بیش‌تری از ایستگاه‌های کوهستانی چون یاسوج و لردگان دارد. این مکانیسم بارشی متفاوت از مکانیسم تمام ماه‌ها است (شکل ۹).



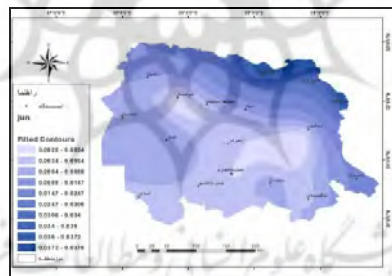
شکل (۶) نمودار احتمال پایای بارش برای ایستگاه‌های نمونه مناطق هموار، دامنه‌ای و کوهستانی

جنوب غرب منطقه قرار دارد و شامل ایستگاه‌های آبادان، بستان، اهواز و بندر ماهشهر می‌باشد. حداکثر این احتمال بر محور ناهمواری‌های منطقه منطبق است و دوباره در مناطق پشت به باد ناهمواری‌ها این احتمال کاهش می‌یابد (شکل ۷). در این میان، ماه‌های می و اکتبر نیز پراکنش همانندی داشته‌اند. در این دو ماه ایستگاه‌های واقع در جنوب منطقه از جمله امیدیه، آغاچاری، بندر ماهشهر و بهبهان دارای حداقل احتمال روزهای بارش هستند. بیش‌ترین احتمال مربوط به ناهمواری‌های زردکوه می‌باشد و به سمت دامنه‌های شرقی کاهش می‌یابد (شکل ۸). پراکنش روزهای همراه با بارش ماه ژوئن کمی متفاوت از سایر ماه‌ها است. در این ماه حداقل احتمال بارش در مرکز منطقه واقع شده است. حداکثر احتمال

بارش نیز از دامنه غربی ناهمواری‌ها به دامنه شرقی ناهمواری‌ها منتقل شده است که ایستگاه‌های بادپناهی چون بروجن احتمال روزهای همراه با بارش بیش‌تری از ایستگاه‌های کوهستانی چون یاسوج و لردگان دارد. این مکانیسم بارشی متفاوت از مکانیسم تمام‌ماه‌ها است (شکل ۹).



شکل (۷) احتمال پایا برای ماه دسامبر
شکل (۸) احتمال پایا برای ماه اکتبر



شکل (۹) احتمال پایا برای ماه ژوئن

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که احتمال وقوع بارش در منطقه از پراکنش یکسانی برخوردار نیست و متناسب با ناهمواری‌ها از جنوب غرب که منطقه پست و کم‌ارتفاعی است، به سمت شمال شرق که منطقه کوهستانی است، این احتمال افزایش می‌یابد. کم‌ترین احتمال روز بارانی در آبادان (۰/۰۸۰۲) و بیش‌ترین احتمال آن در کوه‌رنگ (۰/۲۲۳۳) قرار دارد. این

احتمال متوسط طول سال است. بیشترین احتمال روزهای بارشی ماهانه در منطقه در ژانویه است. این احتمال پس از ژانویه روند نزولی به خود می‌گیرد و در تابستان تقریباً به صفر می‌رسد و دوباره از سپتامبر روند صعودی پیدا می‌کند و تا دسامبر ادامه می‌یابد. بیشینه فراوانی احتمال روزهای بارشی در جنوب غرب ایران در ژانویه است. در صورتی که عساکره بیشینه فراوانی احتمال روزهای بارشی تبریز را ماه می به دست آورده است. همچنین در ایستگاه‌های جنوبی منطقه فصل تابستان به‌طور کامل خشک است. موسوی و زهره‌وندی نیز احتمال وقوع دوره‌های خشک مداوم ۷ روزه در همدان را ۱۰۰ درصد به دست آورده که نشانگر خشکی کامل در این منطقه است و با این منطقه تشابه دارد. پراکنش احتمال وقوع بارش همواره طوری است که در بیش‌تر ماه‌ها در مناطق هموار و بادپناهی دارای کم‌ترین احتمال بارش و در مناطق کوهستانی دارای بیش‌ترین احتمال وقوع بارش است. اما در ماه ژوئن این نظم به هم می‌خورد و بیش‌ترین احتمال روزهای بارندگی در دامنه باد پناهی کوهستان قرار دارد. همچنین دوره بازگشت بارش‌های دو روزه و ۵ روزه برای ایستگاه‌ها نشان داد که همواره مناطق کوهستانی دارای دوره بازگشت‌های کوتاه‌تری نسبت به مناطق هموار هستند. در طول دوره سرد سال که شامل ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، نوامبر و دسامبر دارای کم‌ترین دوره بازگشت می‌باشند. بیش‌ترین دوره بازگشت هم مربوط به ژوئیه (تابستان حذف شده) است.

منابع

- آمار نامه کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی، جلد اول، محصولات زراعی سال ۸۹-۱۳۸۸.
- دریاباری، سیدجمال‌الدین (۱۳۸۵)، «پیش‌بینی خشکسالی بر اساس مدل‌های ماتریس احتمال انتقال تجربی در مناطق مختلف ایران»، *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، دوره ۵، جلد ۵، شماره ۷، صفحه ۸۷-۱۰۴.
- رضیئی، طیب؛ دانش کار آراسته، پیمان؛ اختری، روح‌انگیز و بهرام ثقفیان (۱۳۸۶)، «بررسی خشک سالی‌های هواشناسی در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نمایه SPI و مدل زنجیره مارکف»، *تحقیقات منابع آب ایران*، سال سوم، شماره ۱، صص ۲۵-۳۵.
- سلاجقه، علی، ابوالحسن فتح‌آبادی و حمید غلامی (۱۳۸۷)، «شبیه‌سازی داده‌های سرعت باد با استفاده از مدل‌های استوکاستیک»، ویژه‌نامه منابع طبیعی، ۱۳۸۷، صص ۲۰۸ تا ۲۱۸.
- سلیقه، محمد؛ علیجانی، بهلول و قدیر دل‌آرا (۱۳۹۰)، «تحلیل فضایی بارش فصول مرطوب سال با استفاده از مدل زنجیره مارکف مطالعه موردی استان اردبیل»، *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، جلد ۲۰، شماره ۲۳، صص ۲۵-۴۴.
- طاوسی، تقی؛ خسروی، محمود و خالد قادری زه (۱۳۸۹)، «بررسی خشکسالی و تحلیل روند دوره های خشک کوتاه مدت ایران‌شهر با استفاده از مدل زنجیره مارکف در دوره آماری ۱۳۵۹-۱۳۸۵»، *علوم محیطی*، سال هفتم، شماره چهارم، صص ۳۱-۴۴.
- عساکره، حسین (۱۳۸۷)، «بررسی احتمال تواتر و تداوم روزهای بارانی در شهر تبریز با استفاده از مدل زنجیره مارکف»، *تحقیقات منابع آب*، سال چهارم، شماره ۲، صص ۴۶-۵۶.
- علیجانی، بهلول (۱۳۸۰)، «شناسایی تیپ‌های هوایی باران‌آور تهران بر اساس محاسبه چرخندگی، *تحقیقات جغرافیایی*، شماره ۶۳، صص ۱۱۴-۱۳۲.
- مقمامی، مهدی و بذرافشان، جواد (۱۳۹۱) «پیش‌آگاهی وضعیت خشکسالی هواشناسی در گستره ایران با استفاده از مدل زنجیره مارکف»، *حفاظت منابع آب و خاک*، سال اول، شماره ۳، صص ۱-۱۱.

- مساعدی، ابوالفضل و عیوضی، معصومه (۱۳۸۷)، «شناسایی و پیش‌بینی تعدادی از خصوصیات خشکسالی‌های هواشناسی در استان گلستان با استفاده از زنجیره مارکف»، *پژوهش کشاورزی: آب، خاک و گیاه در کشاورزی*، جلد هشتم، شماره اول (ب)، صص ۹۹-۸۹.
- « مستمند، رامین؛ حقیقت، مسعود و رنجبر، سعید (۱۳۸۲)، «تحلیل آماری دوره های تر و خشک بارندگی در ۵ نقطه از استان فارس»، *چهارمین کنفرانس هیدرولیک ایران*، ۲۹ مهر ماه ۱۳۸۲.
- مشکانی، محمدرضا (۱۳۶۳)، «بررسی احتمال تواتر روزهای خشک بابلر از دیدگاه بیز تجربی»، *مجله علوم آب*، شماره ۳، صص ۳۷-۴۹.
- میرموسوی، حسین و حسن زهره‌وندی (۱۳۹۰)، «مدل‌سازی احتمالات بارش هفته‌ای جهت تحلیل روزهای خشک متوالی (نمونه موردی ایستگاه هواشناسی قهاوند استان همدان)»، *دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران*، زنجان، ۲۸-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۰.
- هینگز، ج.ج و مک نالتی سالی کلر (۱۳۷۹)، «مفاهیم احتمال و مدل‌بندی تصادفی، [علی مشکانی]»، مشهد، نوبت اول، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- یوسفی، نصرت... و ایران‌نژاد، پرویز (۱۳۸۶)، «برآورد احتمالات خشکسالی و ترسالی با استفاده از زنجیره مارکف و توزیع نرمال (مطالعه موردی قزوین)»، *پژوهش‌های جغرافیایی*، شماره ۶۰، صص ۱۲۱-۱۲۸.
- Dastidar, A.G., Ghosh, D. & Dasgupta, S., (2009), "Higher order Markov chain model for monsoon rainfall over West Bengal", India, *Indian Journal of Radio & Space Physics*, Vol. 39, pp39- 44.
- Deni, S.M. & Jemain, A.A, (2012), "Comparison between Mixed probability Models and Markov Chain for weekly dry and wet spells in Peninsular Malaysia", *Proceedings of the World Congress on Engineering*, Vol 1, July 4- London, U.K.
- Lennartsson, J, (2008), "Modeling precipitation in Sweden using multiple step Markov chains and a composite model", Thesis for the degree of B.Sc. of Engineering in Mathematical Statistics, Chalmers University of Technology and University of Gothenburg, Goteborg, Sweden.

- Paulo, A.A. & Pereira, L.S. (2007), "Prediction of SPI drought class transitions using Markov Chains", *Water Resource Manage*, 21, 1813-1827.
- Thyer, M. & Kuczera, G. (2003), "A Hidden Markov Model for modeling long term persistence in multi site rainfall time series, 2. Real datd analysis", *Journal of Hydrology*, 275, 27-48.

