



## The Probability of Duration and Frequency of Rainy and Non-Rainy Periods Case Study: Karaj County

Mehrdad Ramzanipour\*

Assistant Professor of Geography Department, Chalus Branch, Islamic Azad University, Chalus, Iran

\* Corresponding author, Email: [mehr5490@yahoo.com](mailto:mehr5490@yahoo.com)

Receive Date: 04 October 2020

Accept Date: 13 February 2021

### ABSTRACT

**Introduction:** The temporal and spatial prediction of rain is particularly important in the assessment of the water resources of a region, which predict the amount of water for agricultural, industrial and urban uses in that region.

**Objectives:** In this research, the probability of duration and frequency of rainy and non-rainy periods of Karaj station were studied using two-state Markov chain model.

**Methodology:** Daily rainfall data of Karaj station were sorted based on number of rainy and non-rainy day matrix, during a given statistical period (1985-2008) for 24 years and then probability matrix was measured on the basis of maximum of likelihood.

**Geographical Context:** The research area is Karaj County, which is located 45 km west of Tehran and on the southern slope of the Alborz mountain range.

**Result and Discussion:** The results of this study showed that probability of daily raining was 0.2470, therefore no raining was estimated 0.7869. The highest probability of raining in Karaj County was in October with probability of 0.53. In March, the shortest return period for 2-day-raining was determined 4.5 days and for 3-day-raining was determined 13.5 days. The longest return period was in September when the 2-day-raining was estimated 27.08 days and for 3-day-raining was 705.25 days. The highest probability of raining in  $p(x=4)$  was estimated to be in January, February, March, April, May and December.

**Conclusion:** The results showed that the probability of raining days in Karaj County will decrease significantly from the cold season months to the warm season months.

**KEYWORDS:** Occurrence probability, Rainy and non-rainy periods, Return period, Markov chain

## احتمال تداوم و تواتر دوره‌های بارانی و فاقد باران (مطالعه موردی: شهرستان کرج)

مهرداد رضای پور\*

استادیار گروه جغرافیا، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

Email: [mehr5490@yahoo.com](mailto:mehr5490@yahoo.com)، نویسنده مسئول، \*

تاریخ دریافت: ۱۳ مهر ۱۳۹۹

تاریخ پذیرش: ۲۵ بهمن ۱۳۹۹

### چکیده

**مقدمه:** پیش‌بینی زمانی و مکانی باران اهمیت ویژه‌ای در ارزیابی منابع آب یک منطقه و بعضاً پیش‌بینی مقدار آب برای مصارف کشاورزی، صنعتی و شهری آن منطقه دارد.

**هدف:** در این پژوهش، احتمال تداوم و تواتر دوره‌های بارانی و فاقد باران مورد بررسی قرار گرفت.

**روش‌شناسی:** داده بارندگی روزانه برای بازه زمانی ۲۴ سال (۲۰۱۰-۱۹۸۶) با استفاده از مدل زنجیره مارکوف مرتبه اول دو حالت مورد بررسی قرار گرفت. در این روش بر اساس ماتریس شمارش تغییر وضعیت روزهای بارانی و فاقد باران مرتب شد و سرانجام با روش درست‌نمایی بیشینه محاسبه گردید.

**قلمرو جغرافیایی:** قلمرو تحقیق حاضر شهرستان کرج می‌باشد. این شهرستان در ۴۵ کیلومتری غرب تهران و در دامنه جنوبی رشته کوه‌های البرز واقع شده است.

**یافته‌ها:** طبق نتایج پژوهش احتمال وقوع بارندگی در هر روز به طور متوسط ۰/۲۵ و عدم وقوع آن ۰/۷۹ تعیین شد. اما بیشترین احتمال وقوع بارندگی در شهرستان کرج برای ماه اکتبر است که با احتمال وقوع ۰/۵۳ مشخص شد. ماه مارس با کوتاه‌ترین دوره برگشت یعنی ۴/۵ روز برای بارندگی‌های ۲ روزه و ۱۳/۵ روز برای بارندگی‌های ۳ روزه و ماه سپتامبر با طولانی‌ترین دوره برگشت یعنی ۲۷/۰۸ روز برای بارندگی ۲ روزه و ۷۰۵/۲۵ روز برای بارندگی ۳ روزه شناسایی شده‌اند. بر اساس محاسبه احتمال رخداد روزهای بارندگی از طریق توزیع پواسون، ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می و دسامبر، حداکثر احتمال رخداد بارندگی در را دارند.

**نتیجه‌گیری:** نتایج بدست آمده نشان داد که احتمال وقوع روزهای بارندگی در شهرستان کرج از ماه‌های فصل سرد به سمت ماه‌های فصل گرم از کاهش قابل توجهی برخوردار خواهد بود.

**کلیدواژه‌ها:** احتمال رخداد، دوره بارانی و فاقد باران، دوره بازگشت، زنجیره مارکوف

## مقدمه

بارش به عنوان یکی از متغیرهای اساسی مؤثر بر منابع آب در ایران محسوب شده و پیش‌بینی زمانی و مکانی آن اهمیت ویژه‌ای در ارزیابی منابع آب حوضه‌های آبریز دارد و پیش‌بینی مقدار آب برای مصارف کشاورزی، صنعتی و شهری نیز منوط به پیش‌بینی زمانی و مکانی بارش می‌باشد و این پیش‌بینی، زمانی امکان‌پذیر است که اطلاعات در مورد گذشته آن‌ها موجود باشد و آن دسته از مدل‌های آماری-ریاضی در پیش‌بینی پدیده‌های اقلیمی کاربرد دارد که بر ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها تأکید دارد (یوسفی و همکاران، ۱۳۸۶، ۱۲۸-۱۲۱). یکی از روش‌هایی که امروزه برای مدل‌سازی پدیده‌های مذکور در مطالعات نوین مورد استفاده قرار می‌گیرد مدل زنجیره مارکوف است. تاکنون مطالعات زیادی برای مدل‌سازی روزهای بارانی و فاقد باران توسط محققین داخلی و خارجی از طریق زنجیره مارکوف انجام گرفته است. علیجانی و همکاران (۱۳۸۴) احتمال وقوع بارندگی‌های منطقه لارستان را با استفاده از مدل زنجیره مارکوف مورد تحلیل و پیش‌بینی قرار دادند. در این راستا ابتدا فراوانی روزهای بارانی را بر اساس تداوم آن‌ها گروه‌بندی و فراوانی هر کدام از توالی‌ها را مجزا نموده، سپس بر اساس مدل زنجیره مارکوف احتمال وقوع هر یک از توالی‌ها را به صورت ماهانه، فصلی و سالانه محاسبه کردند. یافته‌هایشان نشان داد که حداکثر فراوانی روزهای بارانی، ۴۴ روز و حداقل آن ۱۱ روز در سال است و ژانویه بیشترین فراوانی و ماه‌های می و ژوئیه کمترین فراوانی را دارند و همچنین زمستان، فصل مرطوب و بهار، فصل خشک منطقه است و شدت متوسط هر بارش ۸/۲ میلی‌متر، فاصله متوسط بین دو بارندگی در دوره بارانی ۶/۲ روز، زمان متوسط شروع بارندگی ۱۷ آذر و خاتمه بارندگی ۲۶ فروردین است. واکاوی احتمال تواتر و تداوم روزهای بارانی در استان مازندران توسط زنجیره مارکوف حاکی از آن است که بر اساس ماتریس پایا، دوره‌های بازگشت دامنه‌ای بین ۳-۱۰ روز برای احتمال روزهای بارانی و ۱-۳ روز برای احتمال روزهای خشک را دارد. برای نمونه، احتمال بارندگی با تداوم ۲ روزه بین ۰/۱۹-۰/۱۸ و بارش با تداوم ۳ روزه بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۵ برآورد شده است (عساکره و حسین‌جانی، ۱۳۹۱، ۱۱۲) و همچنین عساکره و مازینی (۱۳۸۹) احتمال وقوع روزهای بدون باران استان گلستان را از طریق زنجیره مارکوف بررسی نموده و به این نتیجه رسیدند که با افزایش آستانه بارندگی ضمن افزایش احتمال وقوع، دامنه احتمال وقوع آن نیز کاهش می‌یابد. جلالی و همکاران (۱۳۸۹) پس از بررسی احتمال وقوع روزهای بارانی شهر ارومیه با زنجیره مارکوف دریافتند که بیشترین احتمال وقوع روزهای باران در بهار (ماه آوریل) می‌باشد. علی‌زاده و آشگرطوسی (۱۳۸۳) احتمال وقوع خشک‌سالی در استان خراسان را بررسی کردند و نقشه‌های پهنه‌بندی احتمال وقوع برای سه وضعیت خشکسالی، نرمال و مرطوب را ترسیم نمودند. بررسی و مقایسه دوره‌های تر و خشک در بخش‌های مختلف اقلیمی ایران با استفاده از مدل زنجیره مارکوف دو حالت مشخص می‌کند که در تمام ایستگاه‌ها احتمال وقوع روزهای تر ۱ روزه بیش از دوره‌های دیگر است و هر چه مدت دوره‌های مرطوب افزایش می‌یابد احتمال وقوع آن‌ها کاهش می‌یابد (صادقی‌نیا، ۱۳۹۱، ۸۱). ماه آورپور (۱۳۹۳) احتمال وقوع بارندگی‌های روزانه ایران را با مدل زنجیره مارکوف مورد پیش‌بینی قرار داد، از نظر وی بیشترین احتمال وقوع روز همراه با بارندگی ۰/۲۷ در ماه اسفند است و کوتاه‌ترین دوره بازگشت بارندگی‌ها با تداوم ۱ و ۲ روزه طی ماه‌های بهمن و اسفند به ترتیب ۳/۷ و ۵/۶ روز است. آلاسور<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۴) در شبیه‌سازی تحلیل زمانی وقوع بارندگی بر اساس مدل مارکوف به این نتایج دست یافتند که باران با مدل زنجیره مارکوف مرتبه دوم خیلی دقیق‌تر برآزش دارد و در این راستا پهنه‌بندی طول دوره‌های بارانی و فاقد باران در اسپانیا با توجه احتمالات مارکوفی توسط (مارتین<sup>۲</sup> و همکاران، ۱۹۹۹، ۵۵۵-۵۳۷) انجام پذیرفت. اسریکانتان<sup>۳</sup> و همکاران (۱۹۸۵) مدل مارکوف درجه اول را جهت تحلیل

<sup>1</sup> Alasseur

<sup>2</sup> Martin

<sup>3</sup> Srikanthan

بارندگی سالانه و گریگورتن<sup>۱</sup> (۱۹۶۶) زنجیره مارکوف را جهت تخمین تواتر و استمرار چندین ساعته تا چندین هفته‌ای وقایع هواشناختی مفید دانست و همچنین گابریل<sup>۲</sup> و همکاران (۱۹۶۲) به تعیین احتمال وقوع روزهای بدون باران در منطقه فلسطین اشغالی با استفاده از زنجیره مارکوف مبادرت ورزید. شهرستان کرج بر اساس شاخص اقلیمی دما ترن از اقلیم بیابانی در قسمت‌های جنوبی تا اقلیم‌های نیمه‌مرطوب و مرطوب در قسمت‌های شمالی را شامل می‌شود. این شهرستان در دامنه‌های جنوبی رشته کوه‌های البرز واقع شده و این بخش از ارتفاعات البرز، مرتفع‌ترین قله البرز را در خود جای داده است. به همین دلیل ارتفاعات البرز نقش مهمی در شکل‌گیری اقلیم‌های مختلف این شهرستان دارد. ارتفاعات شمالی شهرستان به صورت رشته کوه‌های بلند و کشیده از یک سو سبب کاهش دما می‌شوند و از سویی دیگر مانع نفوذ هوای مرطوب دریچه خزر به قسمت‌های داخلی می‌گردد. مناطق کوهستانی شمال در فصل سرد سال بارش‌های توده‌های هوای مرطوب غربی را تشدید می‌کند و در فصل گرم سال به ویژه فصل بهار سبب بارش در دامنه کوه‌ها می‌شود. در مقابل بخش‌های جنوبی که ارتفاع کمتری دارند افزایش دما در آن باعث می‌گردد از میزان بارندگی کاسته شود. از طرف دیگر شهرستان کرج در فصول سرد سال متأثر از سیستم‌های شمالی و شمال غربی و غربی به ویژه جنوب غربی بوده و ریزش‌های آن متأثر از فعالیت این سیستم‌ها می‌باشد. به طور کلی میزان بارش در این شهرستان در نواحی ارتفاعی بیش از نواحی مسطح است و حداکثر بارش در ماه فروردین و حداقل مقدار آن، در مرداد رخ می‌دهد. از این رو رخداد حداقل بارندگی فصلی در طی فصل تابستان است. رژیم نامنظم بارش منطقه، بر اساس ضریب تغییرات درازمدت سالانه بالاتر از ۴۰ درصد در تمام ایستگاه‌ها مشهود است.

از آنجایی که تغییرات زمانی و مکانی نزولات جوی به همراه تداوم وقوع و عدم وقوع بارش اثرات شدیدی بر مصارف صنعتی، شهری و به ویژه کشاورزی دارد به همین دلیل پیش بینی وضعیت بارش و مدیریت منابع آب با توجه به کمبود منابع آبی در این منطقه، بسیار حائز اهمیت است. فلذا هدف پژوهش حاضر بررسی الگوی احتمالی دوره‌های بارانی و فاقد باران در شهرستان کرج از طریق تکنیک زنجیره مارکوف می‌باشد، زیرا که روزهای فاقد باران به لحاظ مدیریت و برنامه‌ریزی‌های هیدرولوژیکی و کشاورزی داری اهمیت خاصی می‌باشد.

و به منظور بررسی احتمال رخداد روزهای بارانی و فاقد باران، دو پرسش اساسی مطرح است؛

(۱) آیا فراوانی حالت‌ها مستقل هستند یا از زنجیره مارکوف دو حالتی پیروی می‌کنند؟

(۲) آیا بر اساس فرض صفر داده‌ها فاقد روند هستند یا بر اساس فرض خلاف صفر از روند خاصی پیروی می‌کنند؟

## روش پژوهش

در این پژوهش احتمال تداوم و تواتر دوره‌های بارانی و فاقد باران از طریق تکنیک زنجیره مارکوف مورد بررسی و پیش‌بینی قرار گرفت. در این فرایند از داده‌های بارندگی روزانه ماه‌های مختلف ایستگاه‌های کرج برای دوره آماری ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۷ استفاده گردید. مدل‌های زنجیره مارکوف دارای دو مزیت می‌باشد؛ اول اینکه پیش‌بینی‌ها، بلافاصله پس از انجام مشاهدات موجود می‌باشند، زیرا آن‌ها به عنوان پیش‌بینی‌کننده تنها از اطلاعات محلی آب‌وهوا استفاده می‌کنند. دوم اینکه پس از پردازش داده‌های اقلیم‌شناسی، به حداقل محاسبات نیاز دارند. زنجیره مارکوف یک روش ریاضی برای مدل‌سازی فرآیندهای تصادفی است. مارکوف ریاضیدان روسی این فرضیه را ارائه کرد که خروجی آزمایش مورد نظر تنها به خروجی آزمایش ماقبل خود بستگی دارد. این فرضیه به فرمول‌بندی مفهوم کلاسیک یک فرایند تصادفی شناخته شده با عنوان فرایند مارکوف برای زمان پیوسته و یا زنجیره مارکوف برای زمان گسسته منجر شد. مدل زنجیره مارکوف مرتبه  $N$ ام برای یک فرایند تصادفی گسسته [۱ و ۲ و ۳]  $X_t = t$  می‌تواند به صورت رابطه (۱) نوشته شود؛

<sup>1</sup> Grigorten

<sup>2</sup> Gabriel

$$P_r [X_t=X_t/X_{t-1}=X_{t-1}, \dots, X_1=X_1]= \quad (1)$$

$$P_r [X_t=X_t/X_{t-1}=X_{t-1}, \dots, X_{t-N}=X_{t-N}]=$$

مدل زنجیره مارکوف مرتبه اول برای  $N=1$  به صورت رابطه (۲) نوشته می‌شود؛

$$P_r [X_t=X_t/X_{t-1}=X_{t-1}, \dots, X_1=X_1]= \quad (2)$$

$$P_r [X_t=X_t/X_{t-1}=X_{t-1}]=$$

اگر  $X_{(t-1)}=i$  و  $X_t=j$ ، آن‌گاه سیستم، تغییر وضعیتی از وضعیت  $i$  به وضعیت  $j$  در مرحله  $t$  ام دارد. احتمالات تغییر وضعیت‌های مختلف که ممکن است رخ دهد، احتمال انتقال نام دارد و در زنجیره مارکوف مرتبه اول به صورت رابطه (۳) نوشته می‌شود؛

$$P_{ij} [X_t=j/X_{t-1}=i]= \quad (3)$$

$$p[X_{t-1} = i, X_t = j]$$

$$p[X_{t-1} = i]$$

به بیان بهتر این مدل بیان می‌کند که پیش‌بینی مقدار فردا، به وسیله داده‌های امروز قابل انجام بوده و داده‌های روزهای قبل تأثیری در آن نخواهند داشت (توان‌پور و همکاران، ۱۳۹۷، ۹۱).

فرایند پژوهش مطابق مدل مذکور بدین شرح است؛ در ابتدا روزهای فاقد باران با حرف اختصاری  $D^1$  و کد صفر و روزهای بارانی با حرف اختصاری  $W^2$  و کد (۱) مشخص شدند. سپس ماتریس فراوانی تغییر وضعیت روزهای بارانی و فاقد باران از طریق رابطه (۴) تشکیل گردید.

$$F = \begin{matrix} & \begin{matrix} D \\ W \end{matrix} \\ \begin{matrix} D \\ W \end{matrix} & \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} \\ n_{21} & n_{22} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

(۴)

در مرحله بعد برای ارزیابی نیکویی برازش ماتریس فراوانی با فرایند دو حالت مارکوفی از آزمون استقلال استفاده شد و آماره آزمون با رابطه (۵) محاسبه گردید؛

$$\chi_0^2 = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \frac{(n_{ij} - e_{ij})^2}{e_{ij}} \quad (5)$$

که در آن  $n_{ij}$  مقادیر فراوانی مشاهدات در درایه  $ij$ ام از ماتریس فراوانی و  $e_{ij}$  فراوانیهای انتقال مورد انتظار در گذر از حالت  $i$  به  $j$  را تحت فرض استقلال برای درایه  $ij$ ام از ماتریس فراوانی مشخص می‌کند و به صورت فراوانی  $e_{ij} = \frac{n_{i.} \cdot n_{.j}}{n}$  می‌باشد که در اینجا  $n_{i.} = n_{i0} + n_{i1}$  نشان‌گر تعداد روزهایی است که روز قبل از آن سری داده‌ها در موقعیت ( $i=0,1$ ) به سر برده است و  $n$ .. تعداد کل روزهای در نظر گرفته شده در مطالعه می‌باشد.  $\chi_0^2$  محاسبه شده از رابطه احتمال‌های انتقال در زنجیره مارکوف مرتبه دوم که از توزیع مربع کای با درجه آزادی ۱ تبعیت می‌نماید و لذا

<sup>1</sup> Dry

<sup>2</sup> Wet

با عدد جدول توزیع مربع کای در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ مقایسه می‌شود. در صورتی که  $X_0^2$  از مقدار عدد جدول بزرگ‌تر باشد فرضیه صفر رد می‌شود.

احتمال‌های انتقال در زنجیره مارکوف مرتبه دوم به صورت رابطه (۶) است (توان‌پور و همکاران، ۱۳۹۷، ۹۲).

$$P_{ijk} = p \{X_{t+1} = k | X_t = j, X_{t-1} = i\} \quad \forall i, j, k = 0, \quad (6)$$

و ماتریس احتمال تغییر وضعیت از طریق روش بیشینه درست‌نمایی صورت می‌پذیرد که از رابطه (۷) به دست آمد:

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} D & W \end{matrix} \\ \begin{matrix} D \\ W \end{matrix} & \begin{bmatrix} \frac{n_{11}}{n_{1+}} & \frac{n_{12}}{n_{1+}} \\ \frac{n_{21}}{n_{2+}} & \frac{n_{22}}{n_{2+}} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (7)$$

سپس احتمال پایا یا ایستایی ماتریس محاسبه گردید که مشخص شد در مدت طولانی، احتمال وقوع مثلاً روز بارانی و فاقد باران چقدر است. بعد از آن دوره بازگشت هر یک از تغییر وضعیت‌ها محاسبه گردید که آن به عکس احتمال موسوم است و متوسط روزهایی است که بین وقوع دو حادثه مشابه وجود دارد که با رابطه (۸) بیان می‌شود:

$$T_j = \frac{1}{p_{ij}} \quad (8)$$

و در مرحله بعدی، دوره برگشت روزهای بدون باران با تداوم  $m$  روزه برآورد شد. یعنی روزهای بدون بارندگی که در ۲ روز متوالی اتفاق افتاده و یا روزهای قبل و بعد آن ۲ روز، بارندگی رخ داده است. بر اساس رابطه (۹) به دست آمد:

$$p_m = p^{m-1} q \quad (9)$$

از توزیع پواسون برای تعیین احتمال رخداد بدون باران ۱ تا  $n$  روزه استفاده شد. تابع پواسون به صورت رابط (۱۰) بیان می‌شود:

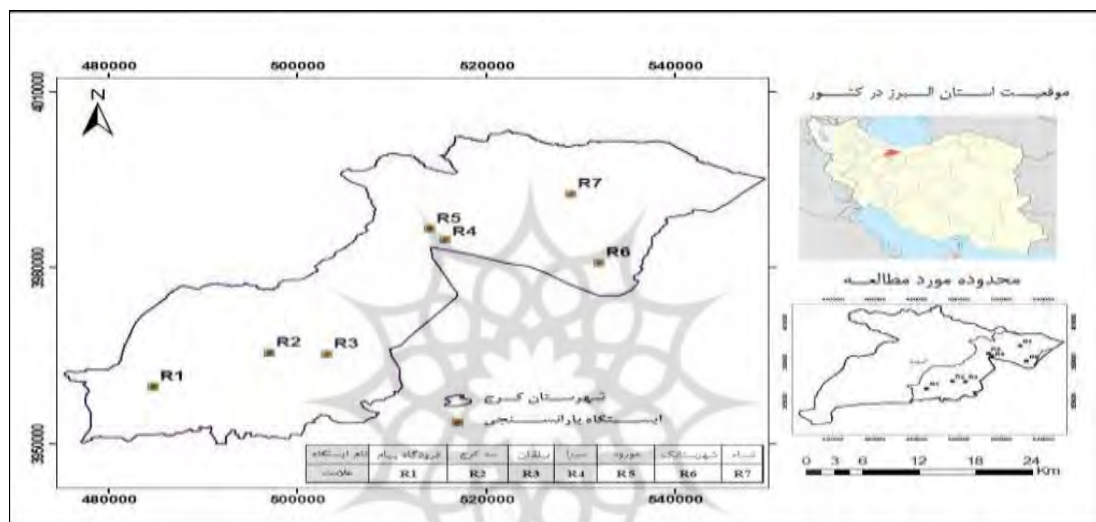
$$P(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} \quad x = 0, 1, 2, \dots \quad (10)$$

در اینجا  $\lambda$  میانگین تعداد پیشامدها و برابر با  $e np$  عدد نپر (۲/۷۱۸۲۸) و متغیر  $x$  نشان‌دهنده تعداد پیشامدهای یک رخداد در گذر زمان یا در برخی از گستره‌های جغرافیایی است. با افزایش مقدار  $\lambda$ ، منحنی حالت تقارن پیدا می‌کند. به طور کلی وقتی  $n \geq 20$  و  $p \leq 0.05$  باشد، توزیع پواسون تقریب خوبی از توزیع دو جمله‌ای به حساب آمده و وقتی که  $n \geq 100$  و  $np \geq 10$  باشد تقریب بسیار عالی برای آن محسوب می‌شود (عساکره و رزمی، ۱۵۸، ۱۳۹۰-۱۳۷). این توزیع برای رخدادهای نادر یا دارای احتمال خیلی کم کاربرد دارد. مجموع احتمالات  $x = 0, 1, 2, 3, \dots$  برابر با ۱ است. بنابراین احتمال کل برای  $x$ ، بزرگتر یا مساوی عدد مفروض  $k$  برابر است با رابطه (۱۱):

$$p(x \geq k) = 1 - [p(0) + p(1) + p(2) + \dots + p(k-1)] \quad (11)$$

## قلمرو جغرافیایی پژوهش

شهرستان کرج در عرض جغرافیایی ۳۱/۳۵ تا ۳۲/۳۶ و طول جغرافیایی ۱۸/۵۰ تا ۲۶/۵۱ واقع شده و جمعیتی حدود سه میلیون نفر را در خود جای داده است. شهرستان کرج با وسعت ۲۴۵۲ کیلومتر مربع در ۴۵ کیلومتری غرب تهران و در دامنه جنوبی رشته کوه‌های البرز قرار گرفته است. این شهرستان از شمال به استان مازندران، از جنوب به شهرستان شهریار و استان مرکزی، از غرب به شهرستان ساوجبلاغ و قزوین و از شرق به تهران و شمیرانات محدود است. جلگه پهناور کرج با ارتفاع متوسط ۱۳۲۰ متر از سطح دریا در مسیر راه ارتباطی وسایط نقلیه حامل کالاهای وارداتی و صادراتی از مرز ترکیه و آذربایجان و به مقصد تهران و بالعکس است. کوه‌های رفیع و پر ابهت البرز، استان مازندران و کرج را از هم جدا کرده است. جنس خاک آن آبرفتی و زمین‌های آن از نظر کشاورزی بسیار حاصلخیز است و رود کرج آنها را مشروب می‌سازد (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها در شهرستان کرج  
(برگرفته از: اداره کل هواشناسی استان البرز)

جدول زیر موقعیت جغرافیایی و مشخصات ارتفاعی ایستگاه‌های بارانسنجی شهرستان کرج را نشان می‌دهد:

جدول ۱

موقعیت جغرافیایی و مشخصات ارتفاعی ایستگاه‌های بارانسنجی شهرستان کرج

موقعیت	سال تاسیس	ارتفاع	مختصات		علامت	کد ایستگاه	نام ایستگاه
			UTMx	UTMy			
ارتفاعی	۱۳۶۴	۱۲۶۸	۴۸۴۶۱۸	۳۹۵۹۶۸۷	R1	-۰۵۰۴۱	فرودگاه پیام
	۱۳۴۶	۱۳۱۵	۵۱۳۸۹۹	۳۹۸۶۶۴۳	R2	-۱۰۱۴۱	سد کرج
	۱۳۶۰	۱۴۱۵	۵۰۳۰۹۳	۳۹۶۵۲۶۴	R3	-۱۰۳۴۱	بیلقان
	۱۳۷۴	۱۸۳۵	۵۱۵۶۰۷	۳۹۸۴۷۷۳	R4	-۸۳۶۴۱	سیرا
	۱۳۸۸	۱۳۰۰	۵۳۱۹۰۹	۳۹۸۰۸۳۴	R5	-۳۳۶۴۱	مورود
	۱۳۴۷	۲۲۳۰	۴۹۶۹۳۵	۳۹۶۵۴۹۶	R6	-۲۳۲۴۱	شهرستانک
	۱۳۴۸	۲۱۹۰	۵۲۸۸۸۸	۳۹۹۲۵۶۹	R7	-۳۳۲۴۱	نساء

برگرفته از: اداره کل هواشناسی استان البرز

طی دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۸۶ متوسط بارندگی سالانه شهرستان کرج ۲۵۱/۲ میلی‌متر می‌باشد که در حدود ۴۳ درصد از باران سالیانه در فصل زمستان، ۲۸ درصد در فصل پائیز، ۲۸ درصد در فصل بهار و تنها ۱ درصد آن در تابستان می‌بارد. فروردین و اسفند پر باران‌ترین و مرداد و شهریور کم باران‌ترین ماه‌ها هستند. تفاوت حداکثر و حداقل مقدار متوسط ماهانه بارش در شهرستان کرج از ایستگاه‌های جنوبی به طرف ایستگاه‌های شمالی افزایش دارد. به گونه‌ای که از کمترین مقدار ۳۸/۱ میلی‌متر در ایستگاه فرودگاه پیام به ۴۴/۳ میلی‌متر ایستگاه بیلقان، ۶۴ میلی‌متر در ایستگاه سد کرج، ۷۵/۸ میلی‌متر در مورود، ۸۱/۷ میلی‌متر در سیرا، ۸۹/۴ میلی‌متر در شهرستانک و در نهایت بیشترین حد خود معادل با ۹۰/۷ میلی‌متر در ایستگاه نساء تغییر می‌کند (مصطفوی و همکاران، ۱۳۹۵، ۵). همچنین تیرماه گرمترین و خشک‌ترین و دی‌ماه سردترین و مرطوب‌ترین ماه سال محسوب می‌شود. متوسط حداکثر دوره خشکی در این شهرستان ۷۷ روز بوده و دوره خشکی از اوایل اردیبهشت آغاز شده و تا اوایل آبان به طول می‌انجامد.

## یافته‌ها و بحث

### یافته‌های توصیفی

جدول ۲ آمار توصیفی بارندگی ماهانه ایستگاه کرج را بیان می‌کند. طبق این جدول، ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و آوریل با بیش از ۲۰۰ روز بارندگی در طی دوره، بیشترین تعداد روزهای بارندگی را شامل می‌شوند که نشان می‌دهد حداکثر بارندگی روزانه، اغلب در ماه‌های سرد سال یعنی زمستان اتفاق می‌افتد. ضریب بالای تغییرات بارندگی از سالی به سال دیگر، نشان‌دهنده تغییرات شدید روزهای بارندگی در ایستگاه کرج می‌باشد.

جدول ۲

جدول مشخصات آماری بارندگی روزانه شهرستان کرج طی دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۸۶

ماه	تعداد روزهای بارانی	میانگین بارندگی روزانه (mm)	ضریب تغییرات	حداکثر بارندگی روزانه (mm)
ژانویه	۲۳۰	۲۹/۳	۲۶/۸	۲۸
فوریه	۲۱۵	۳۶/۳	۶۵/۶	۲۶
مارس	۲۴۴	۶۱/۴	۷/۱۴	۴۴
آوریل	۲۲۸	۸۹/۳	۴۹/۱۲	۵۷
می	۱۹۶	۴۲/۲	۹۲/۱۲	۲۲
ژوئن	۵۲	۲/۱	۷۷/۱۸	۷
ژوئیه	۴۸	۶۲/۱	۹/۲۲	۹
اوت	۲۵	۱۹/۱	۲/۴۱	۱۱
سپتامبر	۲۳	۶۹	۸۸/۳۱	۵
اکتبر	۱۳۳	۸۶/۲	۱۳/۱۷	۲۵
نوامبر	۱۷۳	۷۸/۳	۶۴/۱۱	۳۷
دسامبر	۲۱۵	۹۳/۳	۶۱/۹	۳۰

### یافته‌های تحلیلی

بر اساس مقایسه مقادیر بحرانی  $\chi^2_c$  و مقادیر مشاهده شده  $\chi^2_o$  معلوم شد که فراوانی حالات از زنجیره مارکوف دو حالتی پیروی می‌کند. جدول (۳) نمونه‌ای از جدول متقاطع جهت انجام آزمون را نشان می‌دهد.



جدول ۳

فراوانی مقادیر مشاهده شده و مقادیر مورد انتظار ماتریس فراوانی دو حالت شهرستان کرج

	D	W	جمع
D	۶۰۵۸	۹۱۴	۶۹۷۲
W	۹۱۵	۸۷۸	۱۷۹۳
جمع	۶۹۷۳	۱۷۹۲	۸۷۶۵

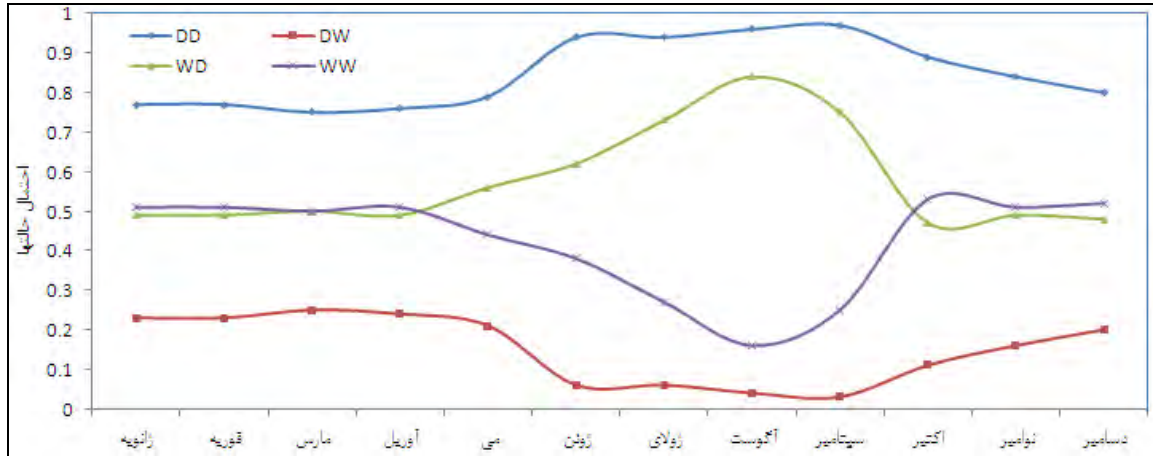
ماتریس احتمال ۲ روز متوالی بدون بارندگی ( $D \rightarrow D$ ) در فصل زمستان نشان‌دهنده عدم تغییر بسیار زیاد این حالت بوده و همین روند تا ماه می ادامه دارد. بعد از ماه می، احتمال حالت فوق به بیش از ۰/۹ رسیده و احتمال فوق تا ماه اکتبر ادامه می‌یابد. مجدداً در ماه‌های نوامبر و دسامبر میزان احتمال ۲ روز بدون بارندگی متوالی به کمتر از ۰/۹ کاهش می‌یابد. تغییرات حالت ( $D \rightarrow W$ ) کاملاً برعکس ( $D \rightarrow D$ ) بوده و در ماه‌های ژوئن، ژولای، آگوست و سپتامبر به کمترین مقدار خود می‌رسد. در همین راستا، احتمال ۲ روز متوالی ( $W \rightarrow D$ ) از روند کلی احتمال ( $D \rightarrow D$ ) با احتمال پایین‌تر پیروی می‌کند. همچنین احتمال ( $W \rightarrow W$ ) از روند احتمال ( $D \rightarrow W$ ) پیروی می‌کند، اما از احتمال بالاتری برخوردار است (جدول ۴).

جدول ۴

ماتریس احتمال حالت و ماتریس احتمال پایای روزهای بارانی و فاقد باران زنجیره مارکوف مرتبه اول دو حالت شهرستان کرج

احتمال حالت‌ها و پایای ژانویه		احتمال حالت‌ها و پایای فوریه		احتمال حالت‌ها و پایای مارس	
$P_j = \begin{matrix} D & W \\ D & \begin{bmatrix} 0.77 & 0.23 \\ 0.49 & 0.51 \end{bmatrix} \end{matrix}$	$P_j = \begin{matrix} D & W \\ D & \begin{bmatrix} 0.68 & 0.32 \\ 0.68 & 0.32 \end{bmatrix} \end{matrix}$	$P_j = \begin{matrix} D & W \\ D & \begin{bmatrix} 0.77 & 0.23 \\ 0.49 & 0.51 \end{bmatrix} \end{matrix}$	$P_j = \begin{matrix} D & W \\ D & \begin{bmatrix} 0.67 & 0.33 \\ 0.67 & 0.33 \end{bmatrix} \end{matrix}$	$P_m = \begin{matrix} D & W \\ D & \begin{bmatrix} 0.75 & 0.25 \\ 0.50 & 0.50 \end{bmatrix} \end{matrix}$	$P_m = \begin{matrix} D & W \\ D & \begin{bmatrix} 0.67 & 0.33 \\ 0.67 & 0.33 \end{bmatrix} \end{matrix}$
احتمال حالت‌ها و پایای آوریل		احتمال حالت‌ها و پایای می		احتمال حالت‌ها و پایای ژوئن	
$P_a = \begin{matrix} D & W \\ D & \begin{bmatrix} 0.76 & 0.24 \\ 0.49 & 0.51 \end{bmatrix} \end{matrix}$	$P_a = \begin{matrix} D & W \\ D & \begin{bmatrix} 0.67 & 0.33 \\ 0.67 & 0.33 \end{bmatrix} \end{matrix}$	$P_m = \begin{matrix} D & W \\ D & \begin{bmatrix} 0.79 & 0.21 \\ 0.56 & 0.44 \end{bmatrix} \end{matrix}$	$P_m = \begin{matrix} D & W \\ D & \begin{bmatrix} 0.73 & 0.27 \\ 0.73 & 0.27 \end{bmatrix} \end{matrix}$	$P_j = \begin{matrix} D & W \\ D & \begin{bmatrix} 0.94 & 0.06 \\ 0.62 & 0.38 \end{bmatrix} \end{matrix}$	$P_j = \begin{matrix} D & W \\ D & \begin{bmatrix} 0.92 & 0.08 \\ 0.92 & 0.08 \end{bmatrix} \end{matrix}$
احتمال حالت‌ها و پایای ژولای		احتمال حالت‌ها و پایای آگوست		احتمال حالت‌ها و پایای سپتامبر	
$P_j = \begin{matrix} D & W \\ D & \begin{bmatrix} 0.94 & 0.06 \\ 0.73 & 0.27 \end{bmatrix} \end{matrix}$	$P_j = \begin{matrix} D & W \\ D & \begin{bmatrix} 0.92 & 0.08 \\ 0.92 & 0.08 \end{bmatrix} \end{matrix}$	$P_a = \begin{matrix} D & W \\ D & \begin{bmatrix} 0.96 & 0.04 \\ 0.84 & 0.16 \end{bmatrix} \end{matrix}$	$P_a = \begin{matrix} D & W \\ D & \begin{bmatrix} 0.95 & 0.05 \\ 0.95 & 0.05 \end{bmatrix} \end{matrix}$	$P_s = \begin{matrix} D & W \\ D & \begin{bmatrix} 0.97 & 0.03 \\ 0.75 & 0.25 \end{bmatrix} \end{matrix}$	$P_s = \begin{matrix} D & W \\ D & \begin{bmatrix} 0.96 & 0.04 \\ 0.96 & 0.04 \end{bmatrix} \end{matrix}$
احتمال حالت‌ها و پایای اکتبر		احتمال حالت‌ها و پایای نوامبر		احتمال حالت‌ها و پایای دسامبر	
$P_o = \begin{matrix} D & W \\ D & \begin{bmatrix} 0.89 & 0.11 \\ 0.47 & 0.53 \end{bmatrix} \end{matrix}$	$P_o = \begin{matrix} D & W \\ D & \begin{bmatrix} 0.81 & 0.19 \\ 0.81 & 0.19 \end{bmatrix} \end{matrix}$	$P_a = \begin{matrix} D & W \\ D & \begin{bmatrix} 0.84 & 0.16 \\ 0.49 & 0.51 \end{bmatrix} \end{matrix}$	$P_n = \begin{matrix} D & W \\ D & \begin{bmatrix} 0.75 & 0.25 \\ 0.75 & 0.25 \end{bmatrix} \end{matrix}$	$P_d = \begin{matrix} D & W \\ D & \begin{bmatrix} 0.80 & 0.20 \\ 0.48 & 0.52 \end{bmatrix} \end{matrix}$	$P_d = \begin{matrix} D & W \\ D & \begin{bmatrix} 0.70 & 0.30 \\ 0.70 & 0.30 \end{bmatrix} \end{matrix}$

شکل ۲ تغییر حالت زنجیره مارکوف دو حالت روزهای بارانی و فاقد باران ایستگاه کرج را نشان می‌دهد به‌طوری‌که سری زمانی احتمال هر چهار حالت از ژانویه تا می بدون تغییر بوده و احتمال آنها ثابت است و بعد از ماه می بر احتمال حالت  $D \rightarrow D$  و  $D \rightarrow W$  افزوده می‌شود و نیز میزان افزایش برای حالت  $D \rightarrow D$  تا سپتامبر ثابت بوده و از آن به بعد تا ماه دسامبر کاهش یافته و روند تغییرات دو حالت دیگر نسبتاً شبیه به هم می‌باشد. در فصول گرم سال از احتمال روزهای متوالی  $W \rightarrow W$  کاسته شده و در ماه آگوست به کمترین مقدار خود می‌رسد.



شکل ۲. نمودار تغییرات احتمال حالت‌های مختلف زنجیره مارکوف مرتبه اول دو حالت شهرستان کرج

لازم به توضیح است که تمامی توان‌های ماتریس احتمال  $(P^k)$ ، ماتریس تصادفی خواهند بود. همچنین از یک مقدار به بعد با افزایش توان ماتریس  $(k)$  تغییر خاصی در مقادیر ماتریس احتمال ایجاد نشده و مقادیر ردیف‌های متناظر در ماتریس با هم برابر خواهند شد. در این حالت، ماتریس به ایستایی یا پایایی رسیده است. با توجه به برابر بودن ردیف‌های ماتریس پایا می‌توان آن را به شکل بردار  $\pi$  نشان داد. بردار احتمال پایا نشان می‌دهد که احتمال روزهای بارانی و فاقد باران در طولانی مدت چقدر است (عساکره، ۱۳۸۹، ۴۴-۲۹). از این رو بر اساس بردار احتمال پایا، تداوم بدون بارندگی‌ها برای دوره‌های ۲ تا ۵ روزه قابل محاسبه است.

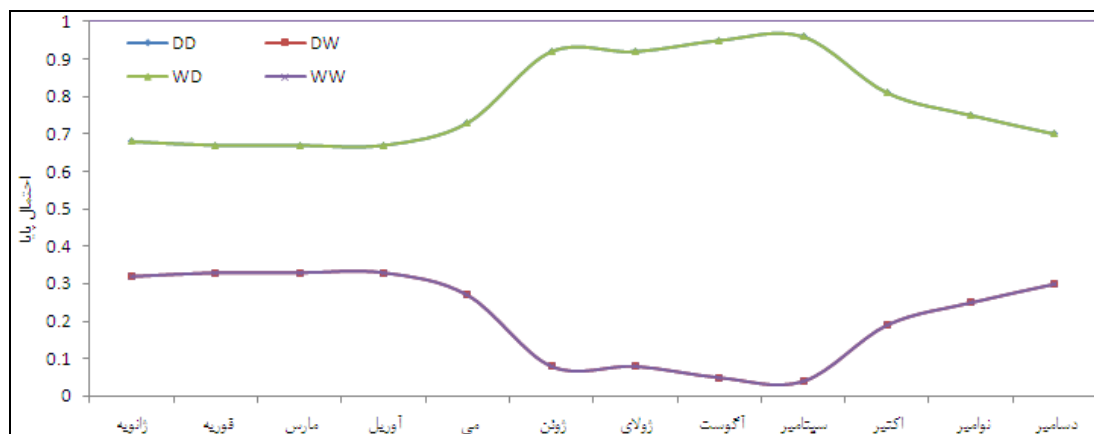
در جدول (۵) احتمال پایای روزهای بارانی و فاقد باران برای ۱۲ ماه سال محاسبه شده است به طوری که احتمال پایای روزهای بارانی و فاقد باران از ماه‌های گرم به ماه‌های سرد به نفع روزهای بارانی بوده و بر احتمال آن افزوده می‌شود؛ مثلاً در ماه ژانویه احتمال بارندگی ۰/۳۲ و عدم بارندگی ۰/۶۸ است. در حالی که در ماه سپتامبر احتمال پایای بارندگی ۰/۳۸ و عدم بارندگی ۰/۶۲ بدست آمد.

جدول ۵

احتمال پایای روزهای توام با بارندگی و فاقد بارندگی شهرستان کرج

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
باران	۰/۳۱۹	۰/۳۲۸	۰/۳۳۳	۰/۳۲۸	۰/۲۷۲	۰/۰۸۳	۰/۰۷۶	۰/۰۵۰	۰/۰۳۸	۰/۱۸۹	۰/۲۴۶	۰/۲۹۴
فاقد باران	۰/۶۸۰	۰/۶۷۱	۰/۶۶۶	۰/۶۷۱	۰/۷۲۷	۰/۹۱۶	۰/۹۲۴	۰/۹۵۰	۰/۹۶۲	۰/۸۱۰	۰/۷۵۴	۰/۷۰۶

شکل ۳ چگونگی تغییرات احتمال پایای بارندگی و عدم بارندگی را نشان می‌دهد.



شکل 3. نمودار احتمال پایای بارانی و فاقد باران شهرستان کرج

یکی از کاربردهای تکنیک زنجیره مارکوف، برآورد دوره برگشت  $m$  روزه است. منظور از تداوم بارندگی یا عدم بارندگی، تعداد روزهای بارندگی‌ها یا عدم بارندگی‌های با تداوم متوالی است که بارندگی یا عدم بارندگی در آن رخ داده باشد. برای مثال؛ تداوم 2 روزه بارندگی یا عدم بارندگی، به معنی ریزش باران یا عدم باران در 2 روز متوالی است. ولی قبل از روز اول و بعد از روز دوم، بارندگی یا عدم بارندگی وجود نداشته باشد؛ مثلاً طبق جدول (6) احتمال اینکه روزهای بدون بارندگی 10 روز در ماه ژانویه تداوم پیدا کند 0/009 خواهد بود.

## جدول 6

احتمال دوره برگشت عدم بارندگی 10 روز شهرستان کرج

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
عدم بارندگی	0/009	0/009	0/008	0/008	0/007	0/038	0/037	0/029	0/026	0/028	0/019	0/012

اما بر اساس جدول (7) بارندگی‌های 2 روز و 3 روز برای ماه ژانویه با دوره برگشت حدود 4/6 و 14/4 روز محاسبه شد.

## جدول 7

دوره برگشت بارندگی‌های 2 روز و 3 روز شهرستان کرج

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
بارندگی 2 روز	4/6	4/53	4/5	4/53	5/04	13/09	14/25	14/03	27/08	6/66	6/5	4/81
بارندگی 3 روز	14/4	13/8	13/5	13/8	18/5	157/21	187/84	178/9	705/25	34/32	25	20

## احتمال رخداد

جدول (8) احتمال رخداد روزهای بارندگی ماه‌های مختلف سال با تکرارهای  $x = 0$  تا  $x = 14$  را نشان می‌دهد.

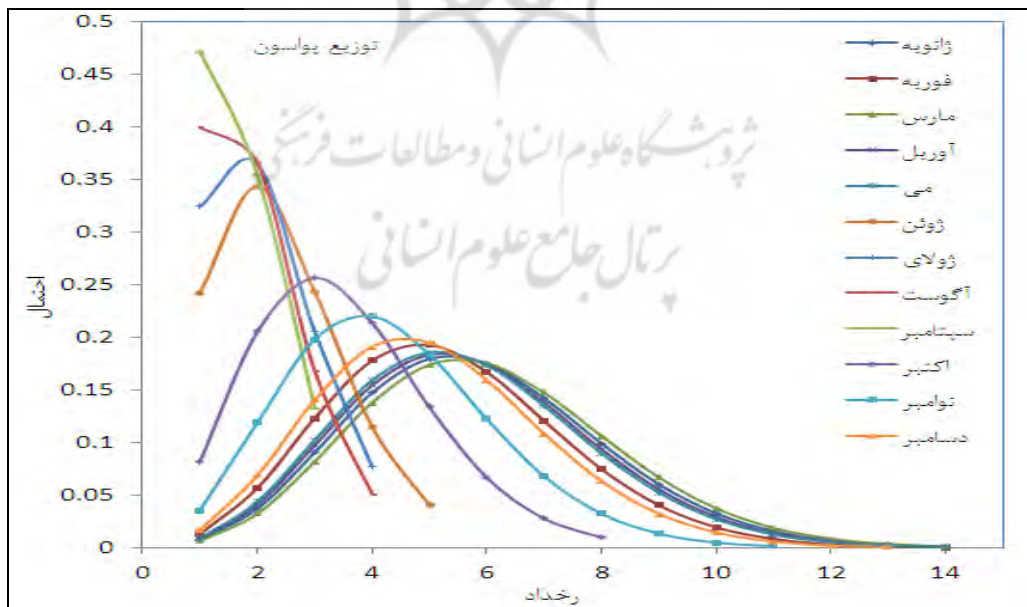
همان‌گونه که پیداست،  $p(x = 0)$  در ماه سپتامبر نسبت به سایر ماه‌ها از احتمال بالاتری برخوردار است؛ زیرا روزهای فاقد باران در این ماه نسبت به سایر ماه‌ها از فراوانی بیشتری برخوردار است. وقوع حداقل یک‌بار بارندگی در تمامی ماه‌های سال دارای احتمال بسیار بیشتری است. نمودار تابع چگالی احتمال پواسون ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می و دسامبر نشان‌دهنده حداکثر احتمال رخداد باران در  $p(x = 4)$  است؛ یعنی احتمال چهار بار بارندگی در ماه‌های مذکور بیشتر از رخداد بارندگی با تکرارهای دیگر است.

جدول ۸

احتمال فراوانی رخداد روزهای بارانی شهرستان کرج با استفاده از توزیع پواسون

ماه	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
ژانویه	۰/۰۰۸	۰/۰۳۷	۰/۰۹۱	۰/۱۴۷	۰/۱۸۰	۰/۱۷۵	۰/۱۴۲	۰/۰۹۹	۰/۰۶۰	۰/۰۳۳	۰/۰۱۶	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰
فوریه	۰/۰۱۳	۰/۰۵۷	۰/۱۲۳	۰/۱۷۸	۰/۱۹۳	۰/۱۶۷	۰/۱۲۱	۰/۰۷۵	۰/۰۴۰	۰/۰۱۹	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	
مارس	۰/۰۰۶	۰/۰۳۳	۰/۰۸۲	۰/۱۳۸	۰/۱۷۴	۰/۱۷۵	۰/۱۴۷	۰/۱۰۶	۰/۰۶۷	۰/۰۳۷	۰/۰۱۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
آوریل	۰/۰۰۹	۰/۰۴۱	۰/۰۹۸	۰/۱۵۵	۰/۱۸۴	۰/۱۷۴	۰/۱۳۸	۰/۰۹۴	۰/۰۵۶	۰/۰۲۹	۰/۰۱۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰
می	۰/۰۰۹	۰/۰۴۴	۰/۱۰۲	۰/۱۵۹	۰/۱۸۶	۰/۱۷۳	۰/۱۳۵	۰/۰۹۰	۰/۰۵۲	۰/۰۲۷	۰/۰۱۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰
ژوئن	۰/۲۴۳	۰/۳۴۴	۰/۲۴۳	۰/۱۱۵	۰/۰۴۱										
ژولای	۰/۳۲۵	۰/۳۶۵	۰/۲۰۵	۰/۰۷۷											
آگوست	۰/۴۰۰	۰/۳۶۷	۰/۱۶۸	۰/۰۵۱											
سپتامبر	۰/۴۷۲	۰/۳۵۴	۰/۱۳۳												
اکتبر	۰/۰۸۲	۰/۲۰۵	۰/۲۵۷	۰/۲۱۴	۰/۱۳۴	۰/۰۶۷	۰/۰۲۸	۰/۰۱۰							
نوامبر	۰/۰۳۶	۰/۱۱۹	۰/۱۹۸	۰/۲۲۰	۰/۱۸۴	۰/۱۲۲	۰/۰۶۸	۰/۰۳۲	۰/۰۱۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲				
دسامبر	۰/۰۱۷	۰/۰۶۹	۰/۱۴۰	۰/۱۹۱	۰/۱۹۵	۰/۱۵۹	۰/۱۰۸	۰/۰۶۳	۰/۰۳۲	۰/۰۱۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱		

همچنین شکل (۴) تغییرات احتمال رخداد بارندگی از  $p(x = 0)$  تا  $p(x = 14)$  را نشان می‌دهد. در ماه مارس احتمال یک‌بار بارندگی، بیشتر از تکرارهای دیگر بوده و در سپتامبر، احتمال عدم وقوع بارندگی نیز بسیار زیاد است. واضح است که نمودار توزیع پواسون ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس، آوریل و دسامبر تمایل به تقارن داشته و کمتر چوله هستند. به طور کلی تمامی توزیع‌ها راست چوله بوده و احتمالات با افزایش  $x$  در آن سوی میانگین به طور سریع کاهش می‌یابند.



شکل ۴. نمودار توزیع احتمال رخداد پواسون برای ماه‌های فاقد باران شهرستان کرج

در نتایج مشابه پژوهش محمدی و همکاران (۱۳۹۴) در خصوص احتمال تواتر و تداوم روزهای بارانی شهر شیراز با استفاده از مدل زنجیره مارکوف نشان داد که بیشترین احتمال وقوع روزهای بارانی طی فصل زمستان به ویژه ماه‌های ژانویه و فوریه است و دوره بازگشت ۲ روز بارانی متوالی در ماه ژانویه حدود ۵ روز برآورد گردید. از این رو مشاهده گردید که بارش شیراز از توزیع زمانی ناهمگنی برخوردار است. این محققین معتقدند در پی وقوع پدیده گرمایش جهانی، مناطق حاره‌ای و دیگر مناطق مرطوب، از بارش بیشتر و پراکنش مکانی و زمانی مناسب‌تری برخوردار خواهند شد و بر عکس مناطق خشک از جمله مناطق جنب حاره‌ای، خشک و خشک‌تر می‌شوند و بارش‌ها به سمت تمرکز زمانی و مکانی شدید سوق پیدا خواهند کرد و به تبع آن بخش وسیعی از کشور ایران که در منطقه جنب حاره واقع شده است با عدم همگونی زمانی و مکانی بارش رو به رو خواهد شد. از طرفی محمودی و همکاران (۱۳۹۲) معتقدند که در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر ایران، چرخند جنب حاره‌ای در تروپوسفر میانی و فوقانی سبب پایداری جوی بزرگی می‌شود، به طوری که در مرکز و جنوب ایران مدت دوره‌های خشک بسیار طولانی‌تر هستند. یعنی ماندگاری و تداوم روزهای خشک بسیار زیاد است. همچنین احتمال تواتر و تداوم روزهای بارانی در جنوب غرب ایران با استفاده از مدل زنجیره مارکوف بیشترین احتمال بارندگی را در فصل سرد سال به ویژه در ماه ژانویه و کمترین احتمال آن را در فصل تابستان نشان می‌دهد (خورشید دوست و فخاری، ۱۳۹۵، ۸۷) و بیشترین احتمال وقوع بارندگی در لامرد مربوط به ماه‌های ژانویه و مارس و کمترین احتمال وقوع آن مربوط به ماه آوریل می‌باشد (توان‌پور و همکاران، ۱۳۹۷، ۹۷).

## نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده نشان داد که احتمال وقوع روزهای بارندگی در شهرستان کرج از ماه‌های فصل سرد به سمت ماه‌های فصل گرم از کاهش قابل توجهی برخوردار است. بیشترین احتمال ۲ روز بارندگی، مربوط به ماه‌های سرد سال بوده و در فصول گرم سال از احتمال روزهای متوالی بارانی کاسته شده و در ماه آگوست به کمترین مقدار خود می‌رسد. محاسبه امید ریاضی دوره برگشت بردار احتمال پایای بارندگی شهرستان کرج نشان داد که کمترین دوره برگشت برای ۱ روز بارندگی مربوط به ماه‌های سرد سال است. همچنین تداوم بارندگی‌های ۲ و ۳ روزه برای ماه ژانویه با دوره برگشت حدود ۴/۶ و ۱۴/۴ روز محاسبه شد. دوره بازگشت روزهای توأم با بارندگی برای تداوم ۲ و ۳ روز برای ۱۲ ماه سال نشان داد که کوتاه‌ترین دوره برگشت برای ماه زمستان است. بکارگیری تابع پواسون جهت بررسی احتمال رخداد روزهای بارانی شهرستان کرج با فراوانی‌های مختلف نشان از هماهنگی تابع فوق با فراوانی رخداد ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس، آوریل و دسامبر می‌باشد.

به عنوان پیشنهاد به ذی‌نفعان توصیه می‌شود که از نتایج حاصل از تحقیق برای حل مسائل و مشکلات موجود در رابطه با ترسالی یا خشکسالی شهرستان کرج بهره گرفته شود به آن امید که ماحصل این پژوهش در بهبود وضع موجود و رسیدن به وضع مطلوب در راستای اهداف تحقیق حاضر نقشی هر چند اندک داشته باشد. همچنین محقق به محققین آینده این توصیه را دارد که از مدل‌های تکمیلی - ترکیبی در راستای تحقیق حاضر استفاده نمایند.

## منابع

- توان‌پور، نیما؛ قائمی، علی‌اصغر؛ هنر، تورج و شیروانی، امین. (۱۳۹۷). بررسی احتمال وقوع و تداوم روزهای بارانی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف (مطالعه موردی شهر لامرد). *تحقیقات منابع آب ایران*. ۱۴ (۲)، ۸۹-۹۹.
- جلالی، مسعود؛ کارگر، حلیمه و سلطانی، صغری. (۱۳۸۹). بررسی احتمال وقوع روزهای بارانی در شهر ارومیه با استفاده از مدل زنجیره مارکوف. *فضای جغرافیایی*. (۳۵)، ۲۳۵-۲۵۷.

- خورشید دوست، علی محمد و فخاری، مجتبی. (۱۳۹۵). بررسی احتمال تواتر و تداوم روزهای بارانی در جنوب غرب ایران با استفاده از مدل زنجیره مارکوف. *جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری*. ۲۶ (۵۶)، ۸۷-۱۰۴.
- صادقی‌نیا، علی‌رضا. (۱۳۹۱). بررسی و مقایسه دوره‌های تر و خشک در بخش‌های مختلف اقلیمی ایران. *جغرافیای طبیعی*. ۵ (۱۸)، ۸۱-۹۱.
- عساکره، حسین و حسین‌جانی، لیلا. (۱۳۹۷). واکاوی احتمال تواتر و تداوم روزهای بارانی در استان مازندران. *اندیشه جغرافیایی*. ۹ (۱۸)، ۱۱۲-۱۲۸.
- عساکره، حسین و رزمی، رباب. (۱۳۹۰). اقلیم‌شناسی بارش شمال غرب ایران، *جغرافیا و توسعه*. ۹ (۲۵)، ۱۳۷-۱۵۸.
- عساکره، حسین و مازینی، فرشته. (۱۳۸۹). بررسی احتمال وقوع روزهای خشک در استان گلستان با استفاده از مدل زنجیره مارکوف. *جغرافیا و توسعه*. ۱۸ (۱)، ۲۹-۴۴.
- علی‌جانی، بهلول؛ جعفرپور، زین‌العابدین و قادری، حیدر. (۱۳۸۴). تحلیل و پیش‌بینی بارش‌های منطقه لارستان با استفاده از مدل زنجیره مارکوف. *جغرافیای سرزمین*. ۲ (۷)، ۱-۱۰.
- علی‌زاده، امین و آشگرطوسی، شادی. (۱۳۸۷). توسعه یک مدل برای پایش و پیش‌بینی خشک‌سالی (مطالعه موردی: خراسان)، *فصلنامه علوم و صنایع کشاورزی*. ۲۲ (۱)، ۲۲۳-۲۳۴.
- ماه‌آورپور، زهرا. (۱۳۹۳). احتمال وقوع بارش‌های روزانه ایران و پیش‌بینی آن با مدل زنجیره مارکوف. *تحقیقات جغرافیایی*. ۲۹ (۴)، ۲۲۹-۲۴۰.
- محمدی، حسین؛ ماهوتچی، محمدحسن؛ خزائی، مهدی و عباسی، اسماعیل. (۱۳۹۴). واکاوی احتمال تواتر و تداوم روزهای بارانی شهر شیراز با استفاده از مدل زنجیره مارکوف. *اطلاعات جغرافیایی*. ۲۴ (۹۳)، ۷۷-۹۰.
- محمودی، پیمان؛ پروین، نادر و رضایی، جبار. (۱۳۹۲). پهنه‌بندی ایران بر اساس طول دوره‌های خشک. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*. ۴ (۱۳)، ۸۵-۱۰۶.
- مصطفوی، رویا؛ غلامی، شعبانعلی؛ عزیززاده، امید و حاتمی، لادن. (۱۳۹۵). تحلیل توزیع مکانی-زمانی بارش با استفاده از روش زمین آمار در شهرستان کرج. مقاله منتشر شده در پنجمین همایش سامانه‌های سطوح آبگیر باران (صص ۱-۱۱)، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گیلان، رشت.
- یوسفی، نصرت‌الله؛ حجام، سهراب و ایران‌نژاد، پرویز. (۱۳۸۶). برآورد احتمالات خشک‌سالی و ترسالی با استفاده از زنجیره مارکوف و توزیع نرمال (مطالعه موردی: قزوین). *پژوهش‌های جغرافیایی*. ۶۰ (۶)، ۱۲۸-۱۲۱.

## References

- Alijani, B., Jafarpour, Z., & Qadri, H. (2004). Analysis and forecasting of rainfall in Larestan region using Markov chain model, *Territory*. 2(7), 1-10. (In Persian)
- Alizadeh, A., & Ashgartousi, S. (2007). Development of a model for drought monitoring and forecasting (case study: Khorasan), *journal of agricultural sciences and natural resources*, 22(1), 223-234. (In Persian)
- Allasseur, C., Husson, L., & Perez-Fontan. F. (2004). Simulation of rain events time series Markov, *IEEE 15th International symposium on personal, Indoor and mobile radio communications (IEEE Cat. No.04TH8754)*, 2801.
- Asakere, H., & Hosseinjani, L. (2017). Analyzing the probability of frequency and continuity of rainy days in Mazandaran province, *Geographical Notion*, 9(18), 112-128. (In Persian)
- Asakere, H., & Mazzini, F. (2009). Investigating the probability of occurrence of dry days in Golestan province using Markov chain model. *Geography and Development*, (18), 29-44. (In Persian)
- Asakreh, H., & Razmi, R. (2011). Rainfall Climatology of Northwest Iran, *Geography and Development*, 9(25), 137-158. (In Persian)
- Gabriel, K. R., & Neumann. J. (1962). A Markov chain model for daily rainfall occurrences in Telaviv, Israel. *Journal of Roy. Meteor. Soc*, 88, 90-95.
- Grigorten, I. L. (1966). A stochastic model of the frequency and duration of weather events, *Journal of Applied Meteorology*, 5, 60.

- Jalali, M., Kargar, H., & Soltani, S. (2010). Investigating the probability of rainy days in Urmia using Markov chain model. *Geographical space*, 35, 235-257. (In Persian)
- Khurshid Dost, A. M., & Fakhari, M. (2015). Investigating the probability of the frequency and continuity of rainy days in the southwest of Iran using the Markov chain model. *Geography and urban planning*, 26(56), 87-104. (In Persian)
- Mah Avarpour, Z. (2013). Probability of daily rainfall in Iran and its prediction with Markov chain model, *Geographical research*, 29(4), 229-240. (In Persian)
- Mahmoudi, P., Parvin, N., & Rezaei, J. (2012). Zoning of Iran based on the length of dry period, *journal of arid regions Geographic studies*. 4(13), 85-106. (In Persian)
- Martin-Vide, J., & Gomez. L. (1999). Regionalization of peninsular Spain based on the length of dry spells, *int. Journal of Climatology*, 19, 537-555.
- Mohammadi, H., Mahoutchi, M. H., Khazaei, M., & Abbasi, I. (2014). Analyzing the probability of frequency and continuity of rainy days in Shiraz using Markov chain model, *Geographical data*, 24(93), 77-90. (In Persian)
- Mostafavi, R., Gholami, S. Ali., Azizzadeh, O., & Hatami, L. (2015). Analysis of spatio-temporal distribution of rainfall using geostatistical method in Karaj city. Paper presented at the Proceedings of the 5th Conference on Rain Catchment Surface Systems (pp. 1-11), Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources, Gilan, Rasht., Iran. (In Persian)
- Sadeghinia, A. (2011). Investigation and comparison of wet and dry periods in different climatic parts of Iran, *Physical Geography Quarterly*, 5(18), 81-91. (In Persian)
- Srikanthan, R. & McMahon, T.A. (1985). *Stochastic generation of rainfall and evaporation data*, Publisher: Australian Govt. Pub. Service.
- Tuanpour, N., Ghaemi, A. A., Art, T., & Shirvani, A. (2017). Investigating the probability of occurrence and continuity of rainy days using the Markov chain model (Lamard city case study). *Iran's water resources research*, 14(2), 89-99. (In Persian)
- Yousefi, N., Hejam, S., & Irannejad. P. (2007). Estimation of drought and drought probabilities using Markov chain and normal distribution (case study: Qazvin), *Geographical research*, 60, 121-128. (In Persian)

**How to Cite:**

Ramzanipour, M. (2022). The Probability of Duration and Frequency of Rainy and Non-Rainy Periods Case Study: Karaj County. *Geographical Engineering of Territory*, 6(1), 183-196.

ارجاع به این مقاله:

رمزانی پور، مهرداد. (۱۴۰۱). احتمال تداوم و تواتر دوره‌های بارانی و فاقد باران (مطالعه موردی: شهرستان کرج). *مهندسی جغرافیایی سرزمین*، ۶(۱)، ۱۸۳-۱۹۶.

پرتال جامع علوم انسانی