

## طبقه‌بندی تغییرات طول دوره‌های خشک وابسته به بارش در ایران

سید کرامت هاشمی‌عنا\*

استادیار گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه یاسوج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۲۸

### چکیده

جهت بررسی رفتار طول دوره‌های خشک از داده‌های بارش در مقیاس روزانه برای ۴۵ ایستگاه سینوپتیک ایران (۱۹۸۵ تا ۲۰۱۷) استفاده شد. به منظور توزیع فضایی دوره‌های خشک از توالی‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و بیش‌تر از ۳۰ روزه استفاده و به پهنه تبدیل شدند؛ نتایج نشان داد که بیشترین رخداد فراوانی دوره‌های خشک بلندمدت (۳۰ روز و بیشتر)، با ۸۶ رخداد مربوط به پهنه جنوب شرق ایران و ایستگاه ایرانشهر است. کمترین فراوانی نیز با ۳ مورد متعلق به ایستگاه رشت در کرانه جنوب غرب بوز دریای خزر در شمال ایران بوده است. برای ارزیابی نوع توزیع دوره‌های خشک، تداوم بازگشت و احتمال وقوع آن‌ها از توزیع احتمالاتی مارکوف مرتبه دوم استفاده شد. ماتریس احتمال و دوره بازگشت برای تداوم‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ روزه در مقیاس ماهانه محاسبه و مشخص شد که ماه‌های خرداد و فروردین کوتاه‌ترین دوره بازگشت دوره‌های خشک (۱۸ روزه) در مناطق خشک مرکزی و شرقی کشور با بیشترین احتمال رخداد (۸۹ درصد) و طولانی‌ترین دوره بازگشت مربوط به ماه‌های مهر و آبان در پهنه‌های مرطوب نوار ساحلی شمال و شمال غرب کشور با (۳۳۸ روزه) و کمترین احتمال رخداد (۲۸ درصد) است.

واژگان کلیدی: دوره‌های خشک، طبقه‌بندی، مارکوف، بارش، ایران.

### مقدمه

پدیده خشک‌سالی که به کمبود بارش در یک دوره بلند مدت گفته می‌شود یکی از پیچیده‌ترین پدیده‌های اقلیمی است که اغلب با تداوم‌های طولانی مدت روزهای خشک همراه است. تداوم دوره‌های خشک می‌تواند منجر به بحران‌هایی از قبیل خشک‌سالی شود (یاهدگو و همکاران، ۲۰۱۹). برای پایش و ارزیابی خشک‌سالی، تعیین مجموعه‌ای از شاخص‌های مناسب و دقیق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است زیرا با استفاده از این شاخص‌ها می‌توان شدت و وسعت خشک‌سالی‌ها را کمی‌سازی و ارزیابی نمود. تاکنون شاخص‌های متفاوتی جهت پایش و ارزیابی خشک‌سالی‌ها ارائه شده است که اکثر آن‌ها مبتنی بر متغیرهای هواشناسی یا آب‌شناختی هستند (کندون و همکاران، ۲۰۱۹: ۱۴). برخی از این شاخص‌ها

عبارت‌اند از: شاخص خشک‌سالی فازی یکپارچه<sup>۱</sup> FIDL، (هاشمی نسب و همکاران، ۲۰۱۸: ۱۰)، شاخص شدت خشک‌سالی پالم<sup>۲</sup> PDSI؛ (آلی، ۱۹۸۵: ۸۰۵)، شاخص ناهنجاری بارش<sup>۳</sup> AI؛ (برگر، ۱۹۸۳: ۲۱؛ ازمی و همکاران، ۲۰۱۶)، دهک‌ها (بوشند، ۱۹۸۷: ۳)، شاخص رطوبت محصول<sup>۴</sup> CMI؛ (پالم، ۱۹۶۸: ۴۵)، شاخص خشک‌سالی بالم و مولی<sup>۵</sup> BMDI؛ (بالم و مولی، ۱۹۸۰: ۱۱۹۷)، شاخص ذخیره آب سطحی<sup>۶</sup> SWSI؛ (برژون، ۱۹۸۱: ۲۹۵)، شاخص بارش ملی<sup>۷</sup> NRI؛ (کاردناس، ۱۹۸۹: ۱۲)، شاخص استاندارد شده بارش<sup>۸</sup> SPI؛ (کاسکی و همکاران، ۱۹۶۳: ۲۹۸)، شاخص خشک‌سالی احیایی<sup>۹</sup> RDI؛ (کانسسا و مارتین، ۱۹۹۳: ۱۲۳)، شاخص خشک‌سالی رطوبت خاک<sup>۱۰</sup> SMDI؛ (چاین، ۱۹۷۷: ۹۴۹) و شاخص خشک‌سالی محصول ویژه<sup>۱۱</sup> CSDI؛ (داهال و همکاران، ۱۹۹۴: ۲۷۳۹) که بعد از شاخص CMI ارائه شده است و خود به دو شاخص دیگر یکی شاخص خشک‌سالی ذرت و دیگری شاخص خشک‌سالی سویا تقسیم می‌شود. اکثر شاخص‌هایی که در بالا بدان‌ها اشاره شده است، به‌استثنای شاخص شدت خشک‌سالی پالم، بر روی مقیاس‌های زمانی ماهانه یا فصلی تعریف می‌شوند. هر چند تحلیل داده‌ها به‌خصوص داده‌های بارش در مقیاس‌های ماهانه یا فصلی دارای مزایای بسیار زیادی است اما در عین حال، دارای معایبی نیز هستند زیرا آن‌ها نمی‌توانند خشک‌ترین یا مرطوب‌ترین دوره را در طول یک ماه یا فصل نشان دهند. در واقع، در طول یک ماه، دوره‌های ۱۰ روزه‌ای وجود دارند که احتمال وقوع بارش در آن‌ها کمتر یا بیشتر از احتمال دو دوره ۱۰ روزه دیگر آن ماه است. به‌طور کلی، تحلیل مجموع بارش ماهانه یا فصلی در یک مقیاس زمانی روزانه محدودیت عدم آشکارسازی ساختار زمانی دارد. به همین خاطر، بسیاری از دانشمندان جهت مطالعه خشک‌سالی‌ها استفاده از طول دوره‌های خشک را انتخاب کرده‌اند (رودل و همکاران، ۲۰۰۴: ۳۸۱؛ گومز، ۱۹۹۷: ۷۳؛ اریکسون ۱۹۶۵: ۸۶؛ دومینگز، ۱۹۷۳: ۳۴؛ باهومیک و همکاران، ۲۰۱۹: ۸).

امروزه مفاهیم مختلفی به‌عنوان تعریف اقلیم‌شناسی از دوره‌های خشک استفاده می‌شوند. مفاهیمی همچون: (۱) روزهای متوالی بدون بارش؛ (۲) روزهای متوالی با بارش اندک؛ یا (۳) بارش اندک در طول یک دوره خاص از زمان (اسکالت و نونز ۲۰۱۷: ۶۵؛ دوگروید، ۱۹۸۷: ۵۴۱؛ گابریل و نیومن، ۱۹۶۲: ۹۰؛ ویدال و مورن، ۱۹۸۵: ۹۷). در تعریف بارش اندک، برخی از هواشناسان و اقلیم‌شناسان معمولاً آن را به‌عنوان "بارش روزانه کمتر از ۲ میلی‌متر" در نظر می‌گیرند (تیچاوسکی، ۲۰۱۹: ۱۰). اما برخی دیگر آن را به‌عنوان بارش کمتر از "۵ میلی‌متر" می‌دانند. در تعریف روز بدون بارش، برخی آن را به‌عنوان بارش روزانه کمتر از ۰/۱ میلی‌متر تعریف می‌کنند، در حالی‌که دسته دیگری آن را

<sup>1</sup> Fuzzy Integrated Drought Index

<sup>2</sup> Palmer Drought Severity Index 7-National Rain Index

<sup>3</sup> Rain Anomaly Index 8- Standard Precipitation Index

<sup>4</sup> Crop Moisture Index

<sup>5</sup> Balem And Boli Drought Index

<sup>6</sup> Surface Water Storage Index

<sup>7</sup> National Rain Inde

<sup>8</sup> Standard Precipitation Index

<sup>9</sup> Recovery Drought Index

<sup>10</sup> Soil Moisture Drought Index

<sup>11</sup> Corp Spacial Drought Index

کمتر از ۲ میلی متر فرض می‌گیرند زیرا اثر بسیار ناچیزی بر روی اکوسیستم‌ها دارد. در تعریف روزهای متوالی برخی یک دوره بیشتر از ۱۵ روز خشک متوالی را استفاده می‌کنند (مارتین، ۱۹۸۱: ۹۷)، اما برخی دیگر از یک چهارچوب زمانی ۲۵ روزه استفاده می‌کنند (تودروویچ، ۱۹۷۵: ۱۷). برای تعریف "بارش اندک در طول یک دوره زمانی خاص" دسته‌ای از محققین از یک واحد ماهانه بهره می‌برند در حالی که برخی دیگر از واحدهای فصلی یا دیگر مقیاس‌های زمانی کمک می‌گیرند (بیون و همکاران، ۱۹۹۲: ۴۵؛ هان و همکاران، ۱۹۷۶: ۴۴۳). علاوه بر این‌ها، استفاده از آستانه‌های بارشی دیگری همچون بیشتر یا مساوی با ۰/۱ میلی متر، ۱ میلی متر، ۱۰ میلی متر و غیره برای تحلیل دوره‌های خشک نیز به وفور استفاده شده است (لوپز، ۱۹۸۸: ۱۶؛ هرناوندز، ۲۰۱۳: ۱۴۱۵؛ محمودی و همکاران، ۱۳۹۲: ۲۴؛ مفیدی و همکاران، ۱۳۹۳: ۳۳).

با توجه به اینکه طول دوره‌های خشک به واسطه استفاده از داده‌های بارش روزانه یک متغیر گسسته به شمار می‌آید؛ لذا روش‌های تصادفی زیادی جهت توصیف فراوانی‌های قابل انتظار دوره‌های خشک استفاده شده‌اند. در این بین بیشترین روشی که بارها مورد استفاده قرار گرفته است زنجیره‌های مارکوف مرتبه‌های مختلف است (جلالی و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۳۵؛ مارتین-واید و گومز، ۱۹۹۹: ۵۳۷؛ برگر و گوسنس، ۱۹۸۳: ۶۱؛ نوبلیس، ۱۹۸۶: ۲۳۵؛ مون و کان، ۱۹۹۴: ۱۰۰۹؛ رایسو، ۱۹۸۲: ۸۶). علاوه بر روش قبلی، کانسلا و سالاس، ۲۰۱۰: ۱۲۳؛ رودل و همکاران، ۲۰۰۴: ۳۸۱) مدل دو جمله‌ای منفی را برای مطالعه رفتار دوره‌های خشک استفاده کرده‌اند.

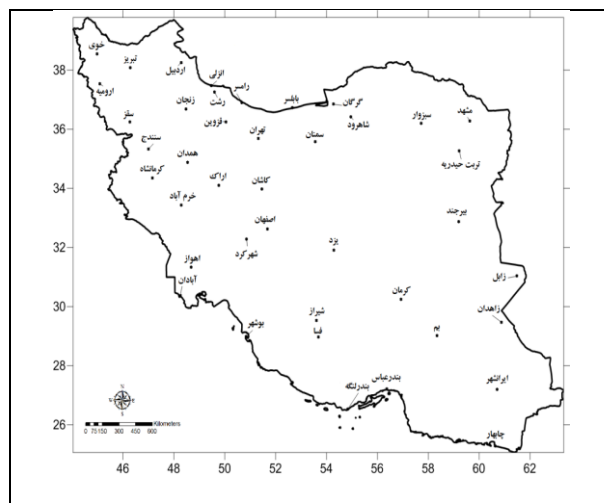
در ایران نیز مطالعات فراوانی در خصوص شناسایی رفتار روزهای تر و خشک با استفاده از روش‌های احتمالاتی به‌ویژه زنجیره مارکوف انجام شده است (حجازی زاده و شیرخانی، ۱۳۸۲: ۲۵؛ عساکره و مازینی، ۱۳۸۹: ۲۹؛ طاووسی و همکاران، ۱۳۸۹: ۳۱؛ فولادمند، ۱۳۸۵: ۱۱۳؛ علیجانی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۰)؛ اما مطالعاتی که اختصاصاً طول دوره‌های خشک را نه رفتار روزهای تر و خشک را مورد توجه قرار داده باشند بسیار اندک هستند. هاشمی عنا و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۸)، به بررسی رفتار طول دوره‌های خشک در گستره ایران، با رویکرد تغییر اقلیم و دورنمای دوره‌های خشک در دهه‌های میانی پرداخته‌اند و برای پهنه‌های مرطوب ایران مانند شمال غرب اقلیمی خشک پیش‌بینی شده است. محمودی و همکاران، ۱۳۹۲: ۸۵) در یک مطالعه اقدام به پهنه‌بندی ایران بر اساس طول دوره‌های خشک نمودند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که برای بخش بزرگی از ایران به‌خصوص جنوب شرق ایران میانگین و حداکثر طول دوره‌های خشک بسیار بالا است. علاوه بر این، برآزش زنجیره‌های مارکوف مرتبه‌های مختلف بر طول دوره‌های خشک با آستانه ۰/۱ میلی متر نیز نشان داد که در ایستگاه‌هایی که طول دوره‌های خشک آن‌ها بسیار طولانی است یا به عبارت دیگر تنوع حالت‌های مختلف بارش و عدم بارش آن‌ها کم است زنجیره‌های مارکوف مرتبه پایین بهترین برآزش را دارند اما در ایستگاه‌هایی که طول دوره‌های خشک آن‌ها طولانی نیست یا به بیانی دیگر تنوع حالت‌های مختلف بارش و عدم بارش آن‌ها زیاد است زنجیره‌های مارکوف مرتبه‌های بالاتر بهترین برآزش را نشان می‌دهند.

این مطالعه با توجه به پیشینه پژوهش ارائه شده در بالا در پی مدل‌سازی احتمالاتی تغییرات طول دوره‌های خشک در ایران با استفاده از مدل احتمالاتی زنجیره مارکوف مرتبه دوم است. نتایج حاصل از این مدل به ما کمک خواهد نمود تا رفتار تغییرات طول دوره‌های خشک در ایران را با کیفیت بهتری شناسایی و تحلیل نماییم.

## داده‌ها و روش‌ها

### روش‌شناسی پژوهش

برای مدل‌سازی تغییرات طول دوره‌های خشک در ایران و دستیابی به مجموعه‌ای از الگوی‌های مناسب در این زمینه، داده‌های مربوط به بارش روزانه ۴۲ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک برای یک دوره ۳۲ ساله (۱۹۸۵-۲۰۱۷) از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. این داده‌ها در چهار فصل: زمستان (دسامبر، ژانویه و فوریه)، بهار (مارس، آوریل و می)، تابستان (ژوئن، ژولای و آگوست) و پاییز (سپتامبر، اکتبر و نوامبر) دسته‌بندی شدند. توزیع و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح کشور در شکل شماره ۱ آورده شده است.



مأخذ: نگارنده

شکل ۱: نقشه موقعیت و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه

بعد از جمع‌آوری داده‌ها و تشکیل بانک اطلاعاتی آن‌ها، تعریفی از دوره‌های خشک جهت استخراج طول دوره‌های خشک ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین یک دوره خشک به‌عنوان دنباله‌ای از روزهای خشک متوالی با بارشی برابر یا کمتر از یک آستانه بارشی مشخص تعریف می‌شود (مارتین واید و گومز، ۱۹۹۹: ۵۳۷؛ محمودی و همکاران، ۱۳۹۲: ۸۵؛ هاشمی عنا و همکاران، ۱۳۹۵: ۴۳). استان‌هایی که در این مطالعه جهت استخراج طول دوره‌های خشک انتخاب شده است ۱/۰ میلی‌متر بارش در یک شبانه‌روز است.

در ادامه، به منظور مطالعه توزیع فضایی دوره‌های خشک در ایران، دوره‌های خشک به زیر دوره‌های کوچک‌تری به شرح ذیل تقسیم‌بندی شدند: توالی‌های کوتاه‌مدت (۱-۱۰ روزه)، توالی‌های میان‌مدت (۱۱-۲۰ روزه)، توالی‌های بلندمدت (۲۱-۳۰ روزه) و توالی‌های بسیار بلندمدت: بیشتر از ۳۰ روز

در نهایت به منظور ارزیابی نوع توزیع دوره‌های خشک در ایران و پی بردن به رفتار دقیق دوره‌های خشک از احتمالات وقوع این دوره‌ها و احتمال بازگشت و تکرار سیکل زمانی این دوره‌ها از الگوریتم و مبانی محاسباتی مدل آماری زنجیره‌های مارکوف مرتبه دوم بهره گرفته شد. این مدل این اجازه را به ما می‌دهد تا احتمال وقوع یک دوره خشک دقیقاً  $n$  روزه که  $n = 1, 2, \dots, 30$  است را برآورد کنیم. با توجه به وضعیت توزیع زمانی و مکانی بارش در ایران آستانه ۱/ میلی‌متر به عنوان مبنای مطالعاتی برای به دست آورده طول دوره‌های خشک، توالی، دوره بازگشت و ماتریس انتقال دوره‌های تر (بارانی) و خشک انتخاب شد. در ادامه به مبانی آماری این مدل پرداخته خواهد شد.

### تشریح مبانی مدل زنجیره مارکوف مرتبه دوم جهت برآزش رفتار دوره‌های خشک

در بیشتر مطالعات اقلیمی برای بررسی وضعیت رفتاری دوره‌های تر و خشک از زنجیره مارکوف مرتبه اول استفاده شده است که به نوعی نمی‌تواند الگوی دقیقی برای سنجش رفتار این دوره‌ها باشد. در این پژوهش برای رفع این نقیصه از مارکوف مرتبه دوم استفاده شد که به نوعی حساسیت و عملکرد بهتری نسبت به تکرار روزها و برگشت‌پذیری و تداوم آن‌ها دارد. در واقع زنجیره مارکوف مرتبه دوم برای ماتریس‌هایی با ابعاد زیاد دقت برآورد بالایی دارد و این برای داده‌هایی در وسعت پهنه ایران مناسب‌تر است و از طرفی ماتریس مرتبه دوم، گردش و تغییر وضعیت روزهای بارانی به خشک و برعکس را با دقت بیشتری محاسبه خواهد کرد. حساسیت و نکوئی برآزش توزیع تجربی دوره‌ها بر پایه مرتبه دوم محتمل‌تر است. در این پژوهش با استناد به همین موارد از مارکوف مرتبه دوم برای تحلیل رفتار دوره‌های خشک استفاده شده است.

در زنجیره مارکوف مرتبه دوم ابتدا نیاز است که تابع احتمال مربوط به طول دوره خشک محاسبه و سپس مقدار دوره بازگشت را از روی تابع قبلی محاسبه نماییم. تابع احتمال طول دوره خشک  $(\ell)$ ، را با  $f_L(\ell)$  از رابطه ۱ محاسبه می‌شود (کانسیلر و همکاران، ۲۰۱۰: ۵۰).

### احتمال انتقال دوره‌ها

در واقع اولین گام در برآزش داده‌ها بر مبنای الگوریتم مارکوفی محاسبه احتمال انتقال دوره‌های تر و خشک است. برای میزان برآزندگی مرتبه دوم زنجیره مارکوف در برآورد توزیع نظری مورد انتظار طول دوره‌های خشک، از آزمون  $(\text{Chi-squared test})$  یا نکویی برآزش  $(\chi^2)$  استفاده شد. در واقع اثر نکویی برآزش مرتبه دوم زنجیره مارکوف بر توزیع تجربی

عمومی طول دوره‌های خشک ایستگاه‌ها، تصویر و شناخت درستی از ناحیه بندی ایران به دست می‌دهد. نقطه صدکی توزیع ( $x^2$  در سطح احتمالاتی (p-Value)  $0.05$  / معناداری داده‌ها معیار مناسب این برآزش خواهد بود.

$$f_{L(\ell)} = \begin{cases} P(W | WD) & \ell = 1 \\ P(D | WD)P^{\ell-2} (D | DD)P(W | DD) & \ell \geq 2 \end{cases} \quad \text{رابطه ۱}$$

$f_{L(\ell)}$  تابع احتمال انتقال دوره‌ها - W احتمال روزهای تر یا بارانی - D احتمال رخداد روزهای خشک با تبدیل رابطه ۱ به ماتریس می‌توان رابطه ۲ را برای حالت‌های گذار یا انتقال دوره‌ها در نظر گرفت.

$$\Psi_W^D \begin{pmatrix} D & W \\ n_{00} & n_{01} \\ n_{10} & n_{11} \end{pmatrix} \quad \text{رابطه ۲}$$

در این ماتریس  $n_{00}$  تعداد روزهایی از یک روز خشک به دنبال یک روز خشک دیگر،  $n_{01}$  تعداد روزهایی که یک روز بارانی بعد از یک روز خشک ظاهر می‌شود،  $n_{10}$  تعداد روزهایی که یک روز خشک بعد از یک روز بارانی ظاهر می‌شود و  $n_{11}$  تعداد روزهایی را نشان می‌دهد که یک روز بارانی به دنبال یک روز بارانی اتفاق افتاده است. در این ماتریس همه محاسبات انجام شده و چرخش و انتقال روزهای بارانی و خشک با درصد احتمال مشخصی بیان می‌شود.

### تداوم و بازگشت دوره‌ها

توالی مشاهدات و رخدادهای کنونی هواشناسی معمولاً مستقل از شرایط پیشین نیستند. این شرایط در یک‌زمان تمایل به ادامه یافتن و تداوم به زمان‌های بعدی دارند. این ویژگی انتقال، به‌عنوان تداوم شناخته‌شده است (گریس و اگلیسون، ۱۹۶۶). در ابتدا باید تابع احتمالاتی انتقال مربوط به طول دوره بارش (تداوم) را به دست آورد (با استفاده از رابطه ۱) و از روی آن مقدار دوره بازگشت را محاسبه کرد.

$$T(\ell) = N/N_L = T/f_L \quad \text{رابطه ۳}$$

در این رابطه  $T(\ell)$ ، دوره بازگشت روزهای بارانی و خشک،  $N$  تعداد کل رخداد (بارانی یا خشک)،  $N_L$  تعداد مورد انتظار از رخداد دوره‌ها،  $f_L$  طول (بعد زمانی) مورد انتظار از رخداد دوره‌هاست و  $T$ ، کل دوره‌های بازگشت‌پذیر و تکرار شده است. برای توزیع هندسی دوره‌های بازگشت خشک و بارانی باید مجموع درصد احتمالاتی هرکدام از رخدادها را محاسبه کرد (Selvaraj and Selvis, 2010).

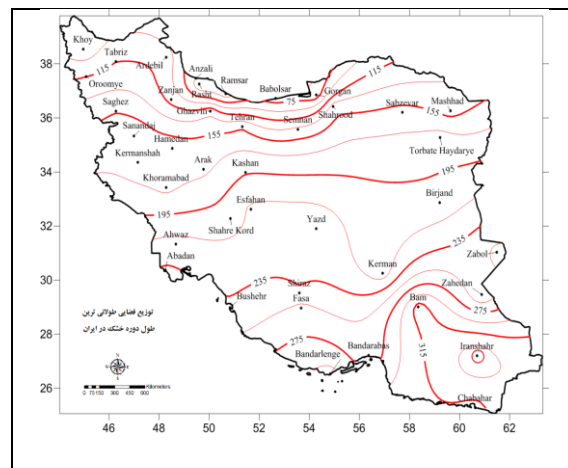
$$T = E(L_D) + E(L_W) = 2 + [P(D | WD)/P(W | DD)] + [P(W | DW)/P(D | WW)] \quad \text{رابطه ۴}$$

در این رابطه  $E(L_D)$ ، میانگین طول دوره‌های خشک،  $E(L_W)$  میانگین طول دوره‌های تر (بارانی)،  $P(D | WD)$  درصد احتمال رخداد یک دوره خشک وابسته به حاصل‌ضرب وضعیت‌های تر و خشک،  $P(W | DD)$  درصد احتمال رخداد یک دوره تر وابسته به حاصل‌ضرب دو دوره خشک متوالی است. در واقع رخداد یک روز خشک و یک روز تر و توالی آن‌ها، بر اساس مطالعه و شناخت رفتار پیشین آن‌ها قابل بررسی خواهد بود.

## بحث و یافته‌ها

### توالی‌های بسیار بلندمدت

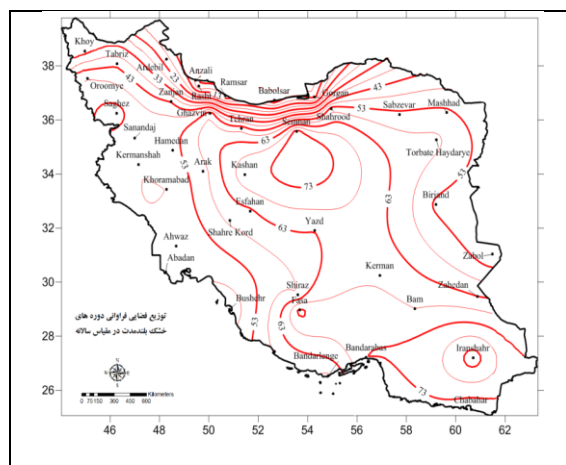
طولانی‌ترین طول دوره‌های خشکی که با آستانه  $0/1$  میلی‌متر در بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۱۷ رخ داده است برای کل ایستگاه‌های مورد مطالعه استخراج گردیدند. توزیع فضایی این دوره‌ها به صورت یک پهنه در شکل ۲ آورده شده است. طولانی‌ترین طول دوره خشک در ایستگاه ایرانشهر در جنوب شرق ایران با ۳۵۱ روز مشاهده شد. در مقابل، در شمال ایران و در ایستگاه رشت، طولانی‌ترین دوره بدون بارش ۳۷ روز بوده است.



مأخذ: نگارنده

شکل ۲: طولانی‌ترین طول دوره‌های خشک سالانه با آستانه بارشی  $0/1$  میلی‌متر در بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۱۷

بررسی فراوانی دوره‌های خشک بسیار بلندمدت در مقیاس زمانی سالانه نیز نشان داد که حداکثر فراوانی این دوره‌ها با آستانه  $0/1$  میلی‌متر متعلق به ایستگاه ایرانشهر در جنوب شرق ایران با ۸۶ مورد بوده است. این ۸۶ مورد بدین معنا است که در طول سی سال مورد مطالعه در ایستگاه ایرانشهر ۸۶ مورد دوره‌های خشک بیشتر از ۳۰ روز رخ داده است. کمترین فراوانی نیز با ۳ مورد متعلق به ایستگاه رشت در کرانه جنوب غربی دریای خزر در شمال ایران بوده است (شکل ۳).



مأخذ: نگارنده

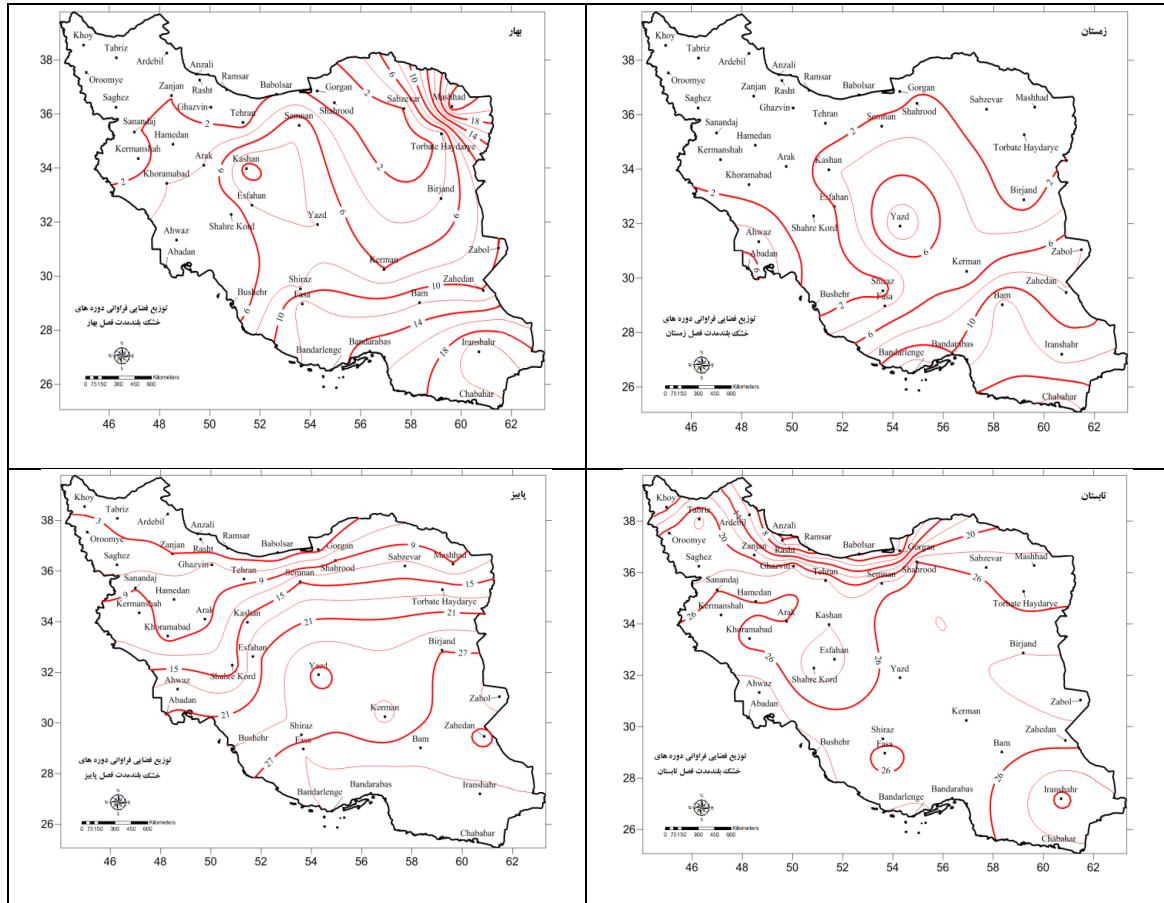
شکل ۳: فراوانی دوره‌های خشک بسیار بلندمدت (بیشتر از ۳۰ روز) در مقیاس زمانی سالانه در بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۱۷

نتایج مربوط به چهار فصل مختلف سال، توزیع‌های فضایی متفاوت‌تری را نشان می‌دهند. در فصل زمستان کرانه‌های جنوبی دریای خزر، غرب، شمال غرب و شمال شرق ایران که دارای اقلیم پربارشی هستند و بارش آن‌ها از یک رژیم بارشی زمستانه پیروی می‌کنند هیچ دوره خشک بلندمدتی که بیش از سی روز تداوم داشته باشند را مشاهده نکرده‌اند در حالی که در جنوب شرق ایران و در ایستگاه چابهار ۱۷ مورد طول دوره‌های خشک بلندمدت بیش از سی روز شمارش شده‌اند (شکل ۴). در فصل بهار الگوی توزیع فضایی فراوانی طول دوره‌های خشک بسیار بلندمدت مقداری متفاوت‌تر می‌باشند. در این فصل دو ایستگاه اردبیل و رشت تنها دو ایستگاهی بوده‌اند که در کرانه‌های جنوب غربی دریای خزر فاقد طول دوره‌های خشک بسیار بلند مدت بوده‌اند. اما حداکثر فراوانی طول دوره‌های خشک بسیار طولانی مدت در این فصل ابتدا متعلق به ایستگاه مشهد در شمال شرق با ۲۴ مورد و سپس ایستگاه ایرانشهر در جنوب شرق با ۲۲ مورد بوده است (شکل ۴).

توزیع فضایی طول دوره‌های خشک بسیار بلندمدت در فصل تابستان الگوی مشابه با الگوی سالانه نشان می‌دهد که این امر ناشی از خشک بودن اقلیم ایران است. فصل تابستان در ایران خشک‌ترین فصل به شمار می‌رود لذا انتظار اینکه بیشترین فراوانی طول دوره‌های خشک بسیار طولانی مدت متعلق به این فصل باشد امری طبیعی به شمار می‌آید. بیشترین فراوانی این نوع از دوره‌های خشک متعلق به شمال استان سیستان و بلوچستان و کرانه‌های شمالی خلیج فارس و دریای عمان است به بطوریکه ایستگاه‌های زابل، آبادان و اهواز با ۳۱ مورد دارای بیشترین فراوانی بوده‌اند. از آن طرف کمترین فراوانی طول دوره‌های خشک بسیار طولانی مدت متعلق به دو ایستگاه بندر انزلی و رشت در شمال ایران با ۲ مورد بوده است (شکل ۴). در فصل پاییز با توجه به پاییز بودن رژیم بارشی کرانه‌های جنوبی دریای خزر، کمترین فراوانی را در این فصل به خود اختصاص داده‌اند به بطوریکه چهار ایستگاه بندر انزلی، بابلسر، رامسر و رشت در طول سی سال مورد مطالعه هیچ‌گاه طول دوره خشک بیش از سی روز را تجربه نکرده‌اند در حالیکه ایستگاه‌های نیمه جنوبی ایران



بیش از ۳۰ مورد را مشاهده کرده‌اند که در این بین ایستگاه بندرعباس با ۳۳ مورد بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داده است (شکل ۴).

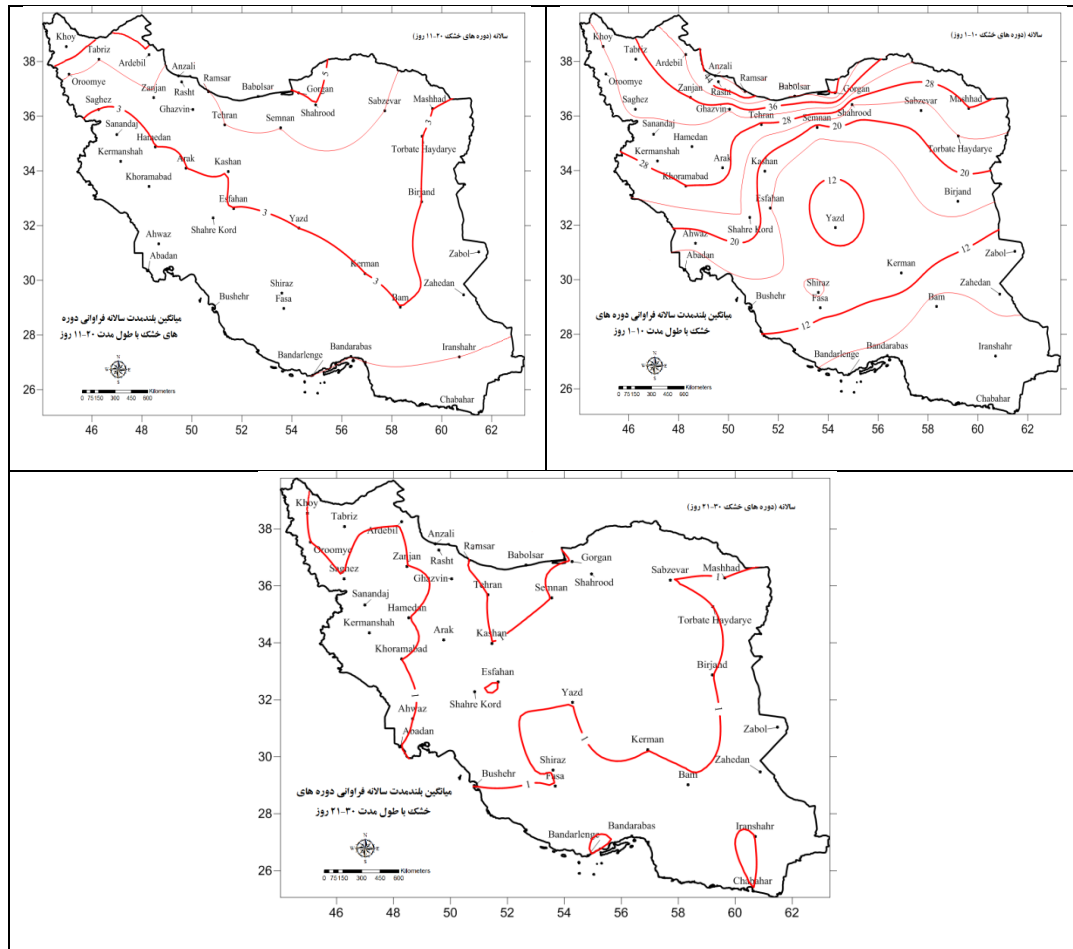


مأخذ: نگارنده

**شکل ۴:** فراوانی دوره‌های خشک بسیار بلندمدت (بیشتر از ۳۰ روز) در مقیاس زمانی فصلی در بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۱۷  
بالا سمت راست: فصل زمستان، بالا سمت چپ: فصل بهار، پایین سمت راست: فصل تابستان، پایین سمت چپ: فصل پاییز

برای دوره‌های خشک سالانه با طول مدت بین ۱۰-۱ روز، بیشترین فراوانی در کرانه‌های جنوبی دریای خزر با بیش از ۴۰ مورد (میانگین فراوانی با تقسیم جمع تعداد دوره‌های خشک بر تعداد سال‌های مورد مطالعه (۳۰ سال)) و کمترین آن با کمتر از ۸ مورد در جنوب شرق ایران مشاهده شدند. در واقع می‌توان برای این طبقه از دوره‌های خشک یک‌روند کاهشی در مقادیر فراوانی آن از شمال به جنوب را تشخیص داد (شکل ۵). برای توالی‌های میان مدت (۱۱-۲۰ روز) نیز می‌توان الگویی تقریباً مشابه با توالی‌های کوتاه مدت اما با فراوانی‌های بسیار کمتر را تشخیص داد. بیشترین فراوانی این طبقه در خوی با ۶ مورد و کمترین آن با ۱ مورد در چابهار مشاهده شده است (شکل ۵). بیشترین فراوانی دوره‌های خشک بلندمدت تنها در ایستگاه شاهرود و آن‌هم فقط با ۲ مورد مشاهده گردید. دو ایستگاه سنج و کرمانشاه نیز تنها دو ایستگاهی بودند که این نوع از دوره‌های خشک را نداشته‌اند. نکته قابل توجه در مورد این طبقه از دوره‌های خشک

این است که صرف‌نظر از دو ایستگاه سنندج و کرمانشاه، کل ایران دارای مقادیری برابر با ۲-۱ دوره بوده‌اند که بیانگر این نکته است که دوره‌های خشک بلندمدت در تمام ایران رخ داده‌اند (شکل ۵).



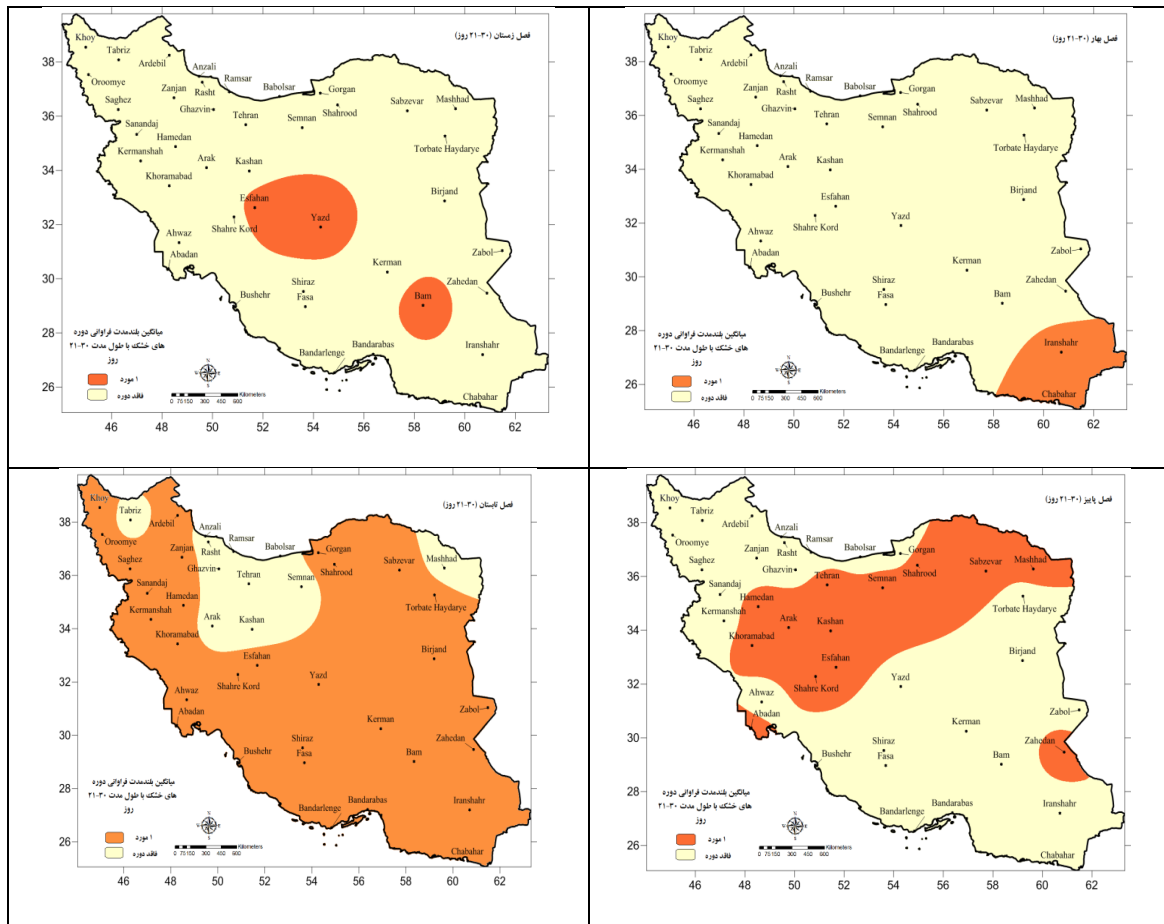
مأخذ: نگارنده

**شکل ۵:** توزیع فضایی میانگین سالانه فراوانی طبقات مختلف دوره‌های خشک مشاهده شده در ایران

بالا سمت راست: دوره‌های خشک ۱-۱۰ روز، بالا سمت چپ: دوره‌های خشک ۲۰-۱۱ روز و پایین: دوره‌های خشک ۳۰-۲۱ روز

نقشه‌های هم‌چند مربوط به توزیع فضایی فراوانی دوره‌های خشک در مقیاس فصلی، ویژگی‌های فصلی دوره‌های خشک ایران را به خوبی نشان می‌دهند. با توجه به اهداف پژوهش و به دلیل اهمیت دوره‌های خشک بلند مدت (۲۱-۳۰ روز) و جلوگیری از طولانی شدن بحث از درج و تحلیل نقشه‌های مربوط به توالی‌های (۱-۲۰ روزه) اجتناب و به استخراج و تحلیل توالی‌های بلند مدت (۲۱-۳۰ روز) پرداخته شد. فراوانی دوره‌های خشک (۲۱-۳۰ روز) بسیار کم هستند. برای فصل زمستان تنها سه ایستگاه اصفهان، یزد و بم در مرکز ایران به‌طور میانگین ۱ مورد را نشان داده‌اند در حالیکه بقیه نقاط کشور در این فصل دوره‌هایی با طول مدت ۲۱ تا ۳۰ روز را ثبت نکرده‌اند (شکل ۶). هم‌چندهای فصل بهار یک توزیع نسبتاً متفاوت‌تری را نشان می‌دهند. در این فصل جنوب شرق ایران شاهد وقوع این دسته از دوره‌های

خشک بوده است اما بقیه نقاط کشور چنین دوره‌هایی را تجربه نکرده‌اند. در فصل تابستان یک الگوی کاملاً متفاوت‌تری نسبت به دیگر الگوهای این دسته از طول دوره‌های خشک مشاهده می‌شود. در این فصل به جز چند ایستگاه در شمال غرب (تبریز)، شمال شرق (مشهد) و شمال ایران (انزلی، رشت، رامسر، بابلسر، سمنان، تهران، قزوین، کاشان و اراک) که هیچ دوره خشک بلندمدت را ثبت نکرده‌اند بقیه ایستگاه‌های مورد مطالعه یک دوره خشک بلندمدت را در این فصل داشته‌اند. در فصل پاییز یک نوار پهن با جهت شمال شرقی-جنوب غربی، نیمه شمالی ایران مرکزی را از بقیه نقاط کشور جدا می‌کند. این نوار پهن ایستگاه‌هایی را که یک دوره خشک بلندمدت را در این فصل تجربه کرده‌اند را در برگرفته است. ایستگاه‌های خارج از این نوار پهن ایستگاه‌هایی هستند که دوره‌های خشک بلندمدت را در این فصل نداشته‌اند (شکل ۶).



مأخذ: نگارنده

شکل ۶: توزیع میانگین فراوانی دوره‌های خشک با طول مدت ۲۱-۳۰ روز در مقیاس فصلی

در مجموع در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر کشور به دلیل اینکه بیشتر تحت تأثیر الگوهای هم‌دید جنب‌حاره‌ای در تروپوسفر میانی و فوقانی جو هستند قاعدتاً دوره‌های خشک بلندمدت‌تری را به خصوص در فصل تابستان تجربه می‌کنند. اما در عرض‌های جغرافیایی بالاتر به خصوص در کرانه‌های جنوبی دریای خزر، عبور پی در پی جبهه‌ها یا ناپایداری به

سبب هوای سرد فوقانی تا اندازه‌ای علت بارش‌های فراوان این منطقه و در نتیجه کوتاه‌تر شدن دوره‌های خشک آن می‌تواند باشد. بنابراین دوره‌های خشک در نیمه شمالی ایران نسبتاً کوتاه و فراوان و در نیمه جنوبی آن طولانی‌تر و با فراوانی کمتری مشاهده می‌شود.

### انتقال، تداوم و دوره بازگشت

قبل از استخراج ماتریس انتقال، مارکوف بودن مقادیر احتمال انتقال با استفاده از یکی از آزمون‌های معتبر یعنی آزمون مربع کای ارزیابی و تأیید شد. بیش از ۸۹ درصد پهنه‌های مورد مطالعه از مارکوف مرتبه دوم تبعیت داشتند. با فرض دوحالت بودن (بارانی و خشک) احتمال انتقال‌های احتمالاتی دو وضعیتی بین روزهای تر و خشک با استناد به معادلات بخش‌های پیشین (روابط ۱ و ۲) و (جداول ۱ و ۲) و محاسبه آن با استفاده از نرم‌افزار آماری (R) می‌توان گفت که میانگین فراوانی تغییر وضعیت از روزهای خشک به روز خشک بعدی ۲۹۳۶ روز، تعداد تغییر وضعیت از روز بارانی به خشک ۷۳۵ روز، فراوانی تغییر وضعیت از روزهای خشک به بارانی ۵۶۳ روز و از روزهای بارانی به بارانی ۴۲۶ روز است. بیشترین فراوانی تغییر وضعیت در بین ایستگاه‌ها مربوط به یزد و زابل (۳۵۶۲، ۳۳۶۷) و کمترین آن مربوط به رشت و گرگان (۱۸۶، ۲۳۲) بود. در واقع ماتریس تغییر حالت درجه نوسان خشکی یک پهنه را در طول سال نشان می‌دهد. در ایستگاه‌های خشک این تغییر وضعیت فراوانی بیشتری دارند. به‌عنوان نمونه، احتمال اینکه روز جاری بارانی باشد به شرط آنکه روز قبل و دو روز قبل خشک باشد برابر است با:

$$P001 = P(X_{t+1} = 1 | X_t = 1, X_{t-1} = 0) = P(W | DD) = 0.95$$

نتایج توابع احتمالاتی در گستره ایران نشان داد که به غیر از چند ایستگاه مرطوب نوار ساحلی خزر در بقیه نواحی رخداد یک دوره خشک بعد از روزهای بارانی محتمل‌تر است. این نشان از خشکی ذاتی مناطق مرکزی، شرقی و جنوبی کشور دارد.

**جدول ۱:** متوسط مقادیر فراوانی ماتریس انتقال و احتمال انتقال در گستره ایران (۱۹۸۵-۲۰۱۷) مقادیر درون پرانتز، احتمال‌های انتقال دو وضعیتی است

روزهای قبل \ روزهای بعد	خشک	بارانی
	خشک	۲۹۳۶ (/۱۸۹)
بارانی	۷۳۵ (/۳۹)	۴۲۶ (/۲۸)

مأخذ: نگارنده

جدول ۲: نتایج ماتریس فراوانی و احتمال حالت‌های انتقال (۱۹۸۵-۲۰۱۷)

روزهای قبل		روز جاری	
دو روز قبل	یک روز قبل	خشک	بارانی
خشک	خشک	۳۲۲۱	۸۸
		./۹۵	./۲۱
خشک	بارانی	۳۹۸	۲۰۸
		./۶۲	./۱۲
بارانی	خشک	۱۰۱۰	۴۲۳
		./۸۳	./۵۶
بارانی	بارانی	۲۳۹	۱۲۰۳
		./۴۵	./۶۳

مأخذ: نگارنده

به‌منظور بررسی تداوم بارش و دوره بازگشت رخداد‌های تر و خشک با استفاده از نتایج آماری روابط (۳ و ۴) و مرتبه دوم زنجیره مارکوف، دوره بازگشت مربوط به توالی‌های خشک ۱۰، ۲۰، ۳۰ و بیشتر از ۳۰ روز برای آستانه ۱/ میلی‌متر در روز محاسبه شد. بر اساس جدول ۳ دوره‌های خشک با تداوم ۳۰ روزه بیشترین احتمال رخداد و کوتاه‌ترین دوره بازگشت را دارد. در بین دوره‌های خشک با تداوم ۳۰ روزه ماه بهمن با دوره بازگشت ۲۲۱ روزه بیشترین و ماه خرداد با دوره بازگشت ۱۸ روزه، کمترین دوره بازگشت را دارا می‌باشند. ایستگاه‌های مرکزی مانند (یزد، اصفهان، شیراز و اراک) از الگوی این تداوم پیروی می‌کردند. بر اساس تداوم خشک ۱۰ روزه ماه‌های فروردین و اردیبهشت با دوره بازگشت ۱۰۰ روزه کوتاه‌ترین دوره بازگشت و مهر و اسفند با (۲۶۳ و ۲۲۴ روز)، بیشترین دوره بازگشت را دارا هستند (جدول ۳). اغلب ایستگاه‌های کشور به‌خصوص ایستگاه‌های شمالی و نوار ساحلی خزر از این الگوی دوره بازگشت تبعیت می‌کنند. بر اساس تداوم ۲۰ روزه نیز فصول گرم سال به‌ویژه در ماه‌های فروردین و خرداد کوتاه‌ترین دوره بازگشت (۷۸ و ۸۳ روز) و در مقابل مهر و آبان طولانی‌ترین دوره بازگشت را دارا است (۳۳۸ و ۲۸۹ روز) را دارا هستند. ایستگاه‌های شرق و شمال شرقی و بخش‌هایی از شمال غرب (زاهدان، زابل، بیرجند، بجنورد، ارومیه، اردبیل) از الگوی این تداوم پیروی می‌کنند. به‌طور کلی تداوم‌های کوتاه مدت در مناطق کویری و خشک دوره بازگشت کوتاه‌تری دارند و تداوم‌های بلند مدت در مناطق مرطوب‌تر شمالی دوره بازگشت طولانی‌تری دارند.

جدول ۳: برآورد دوره بازگشت تداوم‌های ۱۰ تا ۳۰ روزه ماه‌های سرد و بارانی در گستره ایران (۱۹۸۵-۲۰۱۷)

ماه‌ها تداوم‌ها	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
تداوم ۱۰ روزه	۲۶۳	۱۸۶	۱۰۰	۱۹۳	۱۴۹	۲۲۴	۴۹	۱۰۱	۹۲
تداوم ۲۰ روزه	۳۳۸	۲۸۹	۱۳۳	۲۷۶	۲۰۲	۱۶۹	۷۸	۱۲۳	۸۳
تداوم ۳۰ روزه	۱۲۴	۱۳۲	۹۹	۱۷۰	۲۲۱	۱۳۰	۱۱۹	۵۶	۱۸

مأخذ: نگارنده

### نتیجه‌گیری

پژوهش‌های مختلفی در گستره ایران به شناخت مکانیسم رفتاری بارش پرداخته‌اند، اما ضعف اکثر آن‌ها عدم توجه به توزیع تجربی داده‌های بارش و برازش رفتار دوره‌های خشک بر اساس یک مدل آماری مناسب بود. ناهمگنی بارشی به‌ویژه برای آستانه‌های کمتر از ۵ میلی‌متر در گستره ایران زیاد است بنابراین از زنجیره مارکوف مرتبه دوم به دلیل حساسیت و دقت بیشتر در تعیین نکویی برازش توزیع تجربی دوره‌های خشک استفاده شد. از طرفی دوره‌های بازگشت و احتمال رخداد دوره‌های طولانی مدت خشک بعد از یک دوره خشک را با اعتبار بیشتری پیش‌بینی شد. در این پژوهش برخلاف پژوهش‌های مشابه، برازش دوره‌های خشک بر پایه مارکوف مرتبه دوم نشان داد که بیش از ۸۹ درصد پهنه‌های مورد مطالعه از مارکوف مرتبه دوم تبعیت داشتند. نتایج توابع احتمالاتی در گستره ایران نشان داد که به غیر از چند ایستگاه مرطوب نوار ساحلی خزر در بقیه نواحی خرداد یک دوره خشک بعد از روزهای بارانی محتمل‌تر است. این نشان از خشکی ذاتی مناطق مرکزی، شرقی و جنوبی کشور دارد. بر اساس تداوم‌های طولانی مدت (۲۰) روزه نیز فصول گرم سال به‌ویژه در ماه‌های فروردین و خرداد کوتاه‌ترین دوره بازگشت (۷۸ و ۸۳ روز) و در مقابل مهر و آبان طولانی‌ترین دوره بازگشت را دارا است (۳۳۸ و ۲۸۹ روز) را دارا هستند. ایستگاه‌های شرق و شمال شرقی و بخش‌هایی از شمال غرب (زاهدان، زابل، بیرجند، بجنورد، ارومیه، اردبیل) از الگوی این تداوم پیروی می‌کنند. به‌طور کلی تداوم‌های کوتاه مدت در مناطق کویری و خشک دوره بازگشت کوتاه‌تری دارند و تداوم‌های بلند مدت در مناطق مرطوب‌تر شمالی دوره بازگشت طولانی‌تری دارند.

با استناد به نتایج بالا و اینکه در دهه‌های آتی اقلیم ایران به سمت افزایش دما و کاهش بارش پیش می‌رود، لزوم برنامه‌ریزی در بحث پایش مدیریت منابع آب به‌صورت پهنه‌ای و بخشی در فلات ایران از اهمیت خاصی برخوردار است. به‌خصوص در مناطق مرکزی و جنوبی کشور که ذاتاً دچار بحران و کمبود آب هستند. بنابراین مدیریت منابع آب با شناخت دقیق از مکانیسم رفتاری طول دوره‌های خشک محقق خواهد شد. این پژوهش در راستای همین اهداف انجام گرفته است.

## منابع

- ۱- جلالی، مسعود، کارگر، حلیمه، سلطانی، صغری (۱۳۹۰): بررسی احتمال وقوع روزهای بارانی در شهر ارومیه با استفاده از مدل زنجیره مارکوف. فصل نامه فضای جغرافیایی، دوره یازدهم، شماره ۳۵، صص ۲۵۷-۲۳۵.
- ۲- حجازی زاده، زهرا، شیرخانی، علیرضا (۱۳۸۲): تحلیل و پیش بینی آماری خشک سالی و دوره های خشک کوتاه مدت در استان خراسان، پژوهش های جغرافیایی، جلد ۱، شماره ۳۷، صص ۲۵-۳۸.
- ۳- طاووسی، تقی، خسروی، محمود، قادر زهی، خالد (۱۳۸۹): بررسی خشک سالی و تحلیل روند دوره های خشک کوتاه مدت ایران شهر با استفاده از زنجیره مارکوف در دوره آماری ۱۳۸۵-۱۳۵۹، نشریه علوم محیطی، دوره هفتم، شماره ۴، صص ۴۴-۳۱.
- ۴- عساکره، حسین (۱۳۸۷): بررسی احتمال تواتر و تداوم روزهای خشک در استان گلستان با استفاده از زنجیره مارکوف، مجله جغرافیا و توسعه، دوره ۸، شماره ۱۷، صص ۴۴-۲۹.
- ۵- علیجانی، بهلول، محمودی، پیمان، ریگی چاهی، اله بخش، خسروی، پرویز (۱۳۸۹): بررسی تداوم روزهای یخبندان در ایران با استفاده از مدل زنجیره مارکوف. پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۳، صص ۲۰-۱.
- ۶- فولادمند، حمیدرضا (۱۳۸۵): پیش بینی بارندگی روزانه و سالانه و تعداد روزهای بارانی در سال با استفاده از زنجیره مارکوف در یک منطقه نیمه خشک. مجله علوم کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، سال دوازدهم، شماره ۱، صص ۱۱۳-۱۲۴.
- ۷- محمودی، پیمان، پروین، نادر، جباری، رضا (۱۳۹۲): پهنه بندی ایران بر اساس طول دوره های خشک، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره چهارم، شماره سیزدهم، صص ۱۰۶-۸۵.
- ۸- مفیدی، عباس، زرین، آذر، کارخانه، میثم (۱۳۹۳): بررسی الگوی گردش جو در طول دوره های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر، مجله ژئوفیزیک ایران، دوره هشتم، شماره یکم، صص ۱۷۶-۱۴۰.
- ۹- هاشمی عنا، سید کرامت؛ خسروی، محمود؛ تقی طاووسی (۱۳۹۶): شبیه سازی طولانی ترین طول دوره های خشک با رویکرد تغییر اقلیم در گستره ایران زمین، مجله مناطق خشک سبزوار، دوره ۶، شماره ۲۴، صص ۳۳-۱۸.
- 10- Alley, W.M., (1985): The Palmer Drought Severity Index As A Measure Of Hydrologic Drought 1. *Jawra Journal Of The American Water Resources Association*, 21(1): Pp. 105-114.
- 11- Azmi, M., Rüdiger, C., & Walker, J. P. (2016): A Data Fusion-Based Drought Index. *Water Resources Research*, 52(3), Pp. 2222-2239.
- 12- Berger, A. And Goossens, C.H.R. (1983): 'Persistence Of Wet And Dry Spells At Uccle (Belgium)', *J. Climatol.*, 21(3): Pp. 21-34.
- 13- Bhalme, H.N. And Mooley, D.A., (1980): Large-Scale Droughts/Floods And Monsoon Circulation. *Monthly Weather Review*, 108(8): Pp. 1197-1211.
- 14- Bhowmik, R. D., Suchetana, B., And Lu, M. (2019): Shower Effect Of A Rainfall Onset On The Heat Accumulated During A Preceding Dry Spell. *Scientific Reports*, 9(1), 1-10.
- 15- Buishand, T.A. (1978): 'Some Remarks On The Use Of Daily Rainfall Models', *J. Hydrol.*, 36: Pp. 295-308.
- 16- Burgueno, A. (1981): 'Diversos Aspectos Climatolo' Gicos De La Lluvia En Barcelona', *Notes De Geografica Física*, Vol. 5, University Of Barcelona, 23(4): Pp. 3-16.
- 17- Ca'rdenas, P.A. (1989): 'Cadenas De Markov De O'rdenes Superiores En La Modelizacio'N De Di'As Consecutivos Con Precipitacio' N', *Rebista Cubana De Meteorologi'A*, Vol. 2, La Habana: Pp. 12-17.
- 18- Cancelliere, A., And J. D. Salas. (2010): Drought Length Probabilities For Periodic-Stochastic Hydrologic Data. *Water Resour. Res.*, 40(5): P. 50.
- 19- Caskey, J.E. (1963): 'A Markov Chain Model For The Probability Of Precipitation Occurrence In Intervals Of Various Length', *Mon. Weather Re6*, 101: Pp. 298-301.
- 20- Chin, E.H. (1977): 'Modelling Daily Precipitation Occurrence Process With Markov Chain', *Water Res. Res.*, 13(7): Pp. 949-956.

- 21- Dahale, S. D., Panchawagh, N., Singh, S. V., Ranatunge, E. R. And Brikshavana. (1994): Persistence In Rainfall Occurrence Over Tropical South-East Asia And Equatorial Pacific. *Theoretical And Applied Climatology*, Volume 49 (1)1: P. 2739.
- 22- Domí'Nquez, J.I. (1973): *Las Cadenas De Marko6, Su Aplicacio'N Al Clima De Ma'Laga. Posibilidades Turis'ticas*, University Of Ma'Laga, 34.
- 23- Douguedroit, A. (1987): 'The Variations Of Dry Spells In Marseilles From 1865 To 1984', *J. Climatol.*, 7, Pp. 541–551.
- 24- Eriksson, B. (1965): 'A Climatological Study Of Persistency And Probability Of Precipitation In Sweden', *Tellus*, 4, Pp. 484–497.
- 25- Gabriel, K.R. And Neumann, J. (1962): 'A Markov Chain Model For Daily Rainfall Occurrence At Tel-Aviv', *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 88, Pp. 90–95.
- 26- Go'Mez, L. (1997): *Regionalizacio'N Clima' Tica De La Espan~a Peninsular Mediante El Ana'Lisis Marko6iano De Las Sequi'As*, Doctoral Thesis: Un Published, University Of Barcelona, Spain, P. 73.
- 27- Grace Ra, Eagleson Ps. (1966): *The Synthesis Of Shorttime-Increment Precipitation Sequences*, Hydrodynamics Laboratory, Massachusetts Institute Of Technology, Cambridge, Usa (No. 91). Report, P. 56.
- 28- Haan, C.T. Et Al. (1976): 'A Markov Chain Model Of Daily Rainfall', *Water Res. Res.*, 12, Pp. 443–449.
- 29- Nasab, A. H., Ansary, H., & Sanaei-Nejad, S. H. (2018): Analyzing Drought History Using Fuzzy Integrated Drought Index (Fidi): A Case Study In The Neyshabour Basin, Iran. *Arabian Journal Of Geosciences*, 11(14), Pp. 1-10.
- 30- Hernández-Díaz, L.; Laprise, R.; Sushama, L.; Martynov, A.; Winger, K.; Dugas, B. (2013): Climate Simulation Over Cordex Africa Domain Using The Fifth-Generation Canadian Regional Climate Model (Crcm5). *Clim. Dyn.*, 40, Pp. 1415–1433.
- 31- Katz, R.W. (1977): 'Precipitation As A Chain-Dependent Process', *J. Appl. Meteorol.*, 16, Pp. 671–676.
- 32- Kendon, E. J., Stratton, R. A., Tucker, S., Marsham, J. H., Berthou, S., Rowell, D. P., & Senior, C. A. (2019): Enhanced Future Changes In Wet And Dry Extremes Over Africa At Convection-Permitting Scale. *Nature Communications*, 10(1), Pp. 1-14.
- 33- Lo'Pez Mun~ Oz, L. (1988): *Grazalema (Ca'Diz). Un Claro Ejemplo De Precipitacio'N Orogra' Fica*, Instituto Nacional De Meteorologi' A, Madrid, Pp. 16-20.
- 34- Marti'N-Vide, J. (1981): 'Cantidades Diarias Y Ana'Lisis Markoviano De Las Precipitaciones En El Litoral Mediterra'Neo Sur De La Peni'Nsula Ibe'Rica', *Paralelo 37*, Vol. 5, University College Of Almeri' A, Pp. 97–114.
- 35- Marti'N-Vide, J. (1994): 'Geographical Factors In The Pluviometry Of Mediterranean Spain: Drought And Torrential Rainfall', *Us-Spain Workshop On Natural Hazards*, The University Of Iowa, Pp. 9–25.
- 36- Martin-Vide, J. And Gomez, L. (1999): Regionalization Of Peninsular Spain Based On The Length Of Dry Spells. *International Journal Of Climatology*, Volume 19, Issue 5, Pp. 537-555.
- 37- Moon, S.E., Ryoo, S-B. And Kwon, J.G. (1994): 'A Markov Chain Model For Daily Precipitation Occurrence In South Korea', *Int. J. Climatol.*, 14, Pp. 1009–1016.
- 38- Nobilis, F. (1986): 'Dry Spells In The Alpine Country Austria', *J. Hydrol.*, 88, 235–251.
- 39- Palmer, W. C. (1985): *Meteorological Drought. Research. Paper No. 45*, U. S. Department Of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C, Pp. 45-59.
- 40- Raso, J.M. (1982): 'Probabilidades De Transicio'N Y Distribucio'N Estacionaria De Los Di'As Con Y Sin Precipitacio'N En Palma De Mallorca Segu'N El Modelo De La Cadena De Markov Para Dos Estados', *Tarraco. Cuadernos De Geografi' A*, University Of Barcelona, Tarragona, Pp. 195–209.
- 41- Rodell, M.; Houser, P.R.; Jambor, U.; Gottschalck, J.; Mitchell, K.; Meng, C-J.; Arsenault, K.; Cosgrove, B.; Radakovich, J.; Bosilovich, M.. (2004): The Global Land Data Assimilation System. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 85, Pp. 381–394.



- 42- Selvaraj Rs, Selvis T. (2010): Stochastic Modelling Of Daily Precipitation At Aduthurai. International, Pp. 20-29.
- 43- Escalante-Sandoval, C., & Nunez-Garcia, P. (2017): Meteorological Drought Features In Northern And Northwestern Parts Of Mexico Under Different Climate Change Scenarios. Journal Of Arid Land, 9(1), Pp. 65-75.
- 44- Stern, R.D. (1982): 'Computing A Probability Distribution For The Start Of The Rains From A Markov Chain Model For Precipitation', J. Appl. Meteorol., 21, Pp. 420-423.
- 45- Todorovic, P. And Woolhiser, D.A. (1975): 'A Stochastic Model Of N-Day Precipitation', J. Appl. Meteorol., 14, Pp. 17-24.
- 46- Conesa, C. And Marti'N-Vide, J. (1993): 'Analyse Para La Char'ne De Markov De La Se'Cheresse Dans Le Sudest De L'Espagne', Re6.Se'Cheresse, 2(4) Pp. 123-129.
- 47- Tichavský, R., Ballesteros-Cánovas, J. A., Šilhán, K., Tolasz, R., & Stoffel, M. (2019). Dry Spells And Extreme Precipitation Are The Main Trigger Of Landslides In Central Europe. Scientific Reports, 9(1), Pp. 1-10.
- 48- Yihdego, Y., Vaheddoost, B., & Al-Weshah, R. A. (2019): Drought Indices And Indicators Revisited. Arabian Journal Of Geosciences, 12(3), p. 69.