

# پیش‌بینی خشکسالی بر اساس مدل‌های ماتریس احتمال انتقال تجربی در مناطق مختلف ایران

دکتر سیدجمال‌الدین دریاباری  
دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان

## چکیده:

در این تحقیق با استفاده از داده‌های بارندگی سالیانه ۵۰ (۱۹۹۵-۲۰۰۴) ساله ۲۶ ایستگاه سینوپتیک کشور، ماتریس احتمال انتقال تجربی پیش‌بینی خشکسالی برای مناطق مختلف ایران تهیه گردید. برای تهیه ماتریس انتقال داده‌های خشکسالی ابتدا توزیع لوگ نرمال برای داده‌ها در گروه‌های مختلف برازش گردید و گروه‌های متناظر با توجه به وضعیت اقلیمی سال قبل برای هر ایستگاه ایجاد گردید. سپس با محاسبه برآوردهای حداکثر درست‌نمایی پارامترهای  $\mu$  و  $\sigma$  از توزیع لوگ نرمال به داده‌های خشکسالی برازش داده شد. و با استفاده از ماتریس احتمال انتقال وضعیت یک و چندمرحله‌ای ساختار تغییر وضعیت خشکسالی بر اساس وضعیت گذشته و فعلی منطقه موردپیش‌بینی قرار گرفت که با استفاده از این ماتریس احتمال وقوع خشکسالی با استفاده از بارندگی سال مینا امکان پیش‌بینی تا ۵ سال امکان‌پذیر خواهد بود.

**واژگان کلیدی:** خشکسالی، ماتریس احتمال انتقال تجربی، زنجیره مارکوف، لوگ نرمال، شاخص بارندگی استاندارد.

## مقدمه

« در بین بلایای اتمسفر و فاجعه‌های محیطی، مسئله خشکسالی که گاه به آهستگی و گاه به سرعت اثرات خود را آشکار می‌سازد قابل‌توجه می‌باشد.» (کاویانی ۱۳۸۰). خشکسالی [Drought] یعنی کمبود بارش در بلندمدت

به نحوی که باعث کمبود رطوبت خاک و کاهش آب‌های سطحی و زیرزمینی گردد و فعالیت‌های انسان و گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد. خشکی [Aridity] یک صفت اقلیمی و نوعی ویژگی پایدار آب و هوا در مناطق خشک و نیمه خشک است که در آن بارش برای رشد و تداوم حیات کفایت نمی‌کند.

«از دیدگاه بعضی دانشمندان خشکسالی را می‌توان به چهار دسته تقسیم کرد :

۱- خشکسالی اقلیم شناسی

۲- خشکسالی هیدرولوژی

۳- خشکسالی کشاورزی

۴- خشکسالی قحطی» (کردوانی ۱۳۷۹).

خشکسالی کاهش و بی‌نظمی بارش در حدی است که در آن روند عادی رشد، تولید محصول و رابطه متعارف و متوازن انسان و محیط مختل می‌شود. از این رو، خشکسالی صرفاً محدود به مناطق خشک دنیا نمی‌شود و در هر نوع اقلیمی احتمال وقوع دارد، حتی در مناطقی که بارندگی سالیانه آنها بیش از ۱۵۰۰ میلی‌متر است ممکن است به کرات اتفاق افتد (امین، ۱۳۷۹). اما، با توجه به حساسیت سینوپتیک جوی در مناطق خشک، خسارات بیشتری را به دنبال دارد. خشکسالی با دیگر حوادث طبیعی از قبیل سیل، طوفان و زلزله تفاوت‌های زیر را دارد :

تأثیر خشکسالی به تدریج و در یک دوره زمانی نسبتاً طولانی بوده و اثرات آن ممکن است با تأخیر و پس از چند سال پس از پایان آن ظاهر شود. از سوی دیگر، تعیین دقیق زمان شروع و خاتمه این پدیده تا حدودی مشکل است. با توجه به این ویژگی، اغلب خشکسالی را پدیده‌ای خزنده توصیف می‌کنند. از سوی دیگر، فشارها و اثرات ناشی از خشکسالی فاقد ساختار مشخص بوده و نسبت به

خسارات حاصل از سایر حوادث طبیعی دیگر، منطقه جغرافیایی وسیع‌تری را تحت پوشش قرار می‌دهد. ضمن این که نبود یک تعریف دقیق و قابل قبول جهانی از خشکسالی به پیچیدگی و سردرگمی در مورد این که این پدیده وجود دارد یا نه و اگر وجود دارد با چه درجه‌ای از شدت است، افزوده است.

اگرچه خشکسالی‌های کوتاه مدت مناطق خشک و نیمه خشک غالباً موقتی است و با افزایش میزان ریزش‌های جوی ممکن است شرایط به وضع اولیه خود برگردد، اما در صورتی که در طی دوران خشکسالی میزان برداشت از منابع آب، خاک، پوشش گیاهی و حیات جانوری به طور بی‌رویه‌ای صورت گرفته باشد، باز هم ممکن است برگشت‌پذیری شرایط اکولوژی به وضع اولیه خود به طور طبیعی غیرممکن گردد و منطقه تحت تأثیر بیابان‌زایی قرار گیرد.

شاخص‌های مختلف اندازه‌گیری اثرات خشکسالی عبارتند از: شاخص درصد نرمال (PPN)، شاخص شدت خشکسالی پالمر (PDSI)، شاخص رطوبت گیاه (CMI)، شاخص منابع آب سطحی، شاخص بارندگی استاندارد (SPI)، شاخص احیای خشکسالی و شاخص پتانسیل کشاورزی هیدرولوژی. در میان این روش‌ها، روش SPI از جایگاه مناسبی برخوردار است و تحلیل نسبتاً دقیقی را ارائه می‌دهد (رضائی پژند و مهدی‌پور، ۱۳۸۰).

### پیشینه تحقیق

به منظور فراهم‌نمودن شرایط درک صحیح از خشکسالی، بسیاری از تلاش‌ها جهت ارائه تحلیل‌های متناسب و جامع خصوصیات این پدیده، و همچنین بررسی ارتقاء و بهبود عملکرد موثرتر در مقابل آن به کار رفته است. (۱۹۴۸)

آغاز بررسی وضعیت مدت خشکسالی به صورت کمی به سال ۱۸۸۷ مربوط است که سازمان هواشناسی انگلستان بین خشکسالی جزیی (یک دوره حداقل ۱۵ روزه متوالی با بارش کمتر از ۰/۲ میلی‌متر و خشکسالی مطلق که معدل روزانه ۲۹ روز متوالی باران کمتر از ۰/۲ میلی‌متر) تفاوت قایل شده است (کاوایانی ۱۳۸۴) لو<sup>۱</sup> (۱۹۸۴) نقشه شاخص تغییرپذیری را برای بررسی قاره استرالیا تهیه کرده است این شاخص تغییرپذیری بارش را در مناطقی که معدل بارش خیلی متفاوت است. مستقیماً با یکدیگر مقایسه می‌کند. وی با استفاده از این شاخص توانست نواحی که بیشترین استعداد را برای خشکسالی در استرالیا دارند مشخص نماید. فولی<sup>۲</sup> (۱۹۷۵) با بسط بعضی از دوره‌های خشکسالی استرالیا توانسته است معیاری برای تغییرات شاخص خشکی پیشنهاد نماید. (لشتی، تلوری، ۱۹۸۳)

نیشابوری (۱۳۶۵) با استفاده از روشهای تجربی، آمبرژه، بانیول، و گوسن، با انجام تغییراتی در آنها به منظور سازگار کردن معادلات با ویژگی‌های جغرافیایی ایران اقدام به تعیین و تفکیک فصول مرطوب و خشک کرده است.

فرج‌زاده و همکاران (۱۳۷۴) با استفاده از روش‌های متکی بر بارش، پدیده خشکسالی را با عنایت به تعیین ویژگی‌های آماری آن از جمله وسعت، شدت، فراوانی و تداوم زمانی آن در ایران مطالعه نموده‌اند.

زاهدی و قویدل (۱۳۸۱) ویژگی‌های خشکسالی‌ها و ترسالی‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه را با استفاده از روش و نیز مورد محاسبه قرار داده و اقدام به پیش‌بینی سال‌های مرطوب و خشک آن نمودند.

---

<sup>۱</sup> -Loewe

<sup>۲</sup> - Foly

لشنی، تلوری (۱۳۸۳) با استفاده از شاخص SPI خشکسالی را در شش حوضه غرب و شمال غرب کشور مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. و با استفاده از سری‌های زمانی اقدام به پیش‌بینی خشکسالی در منطقه مورد مطالعه نمودند. از جمله تحقیقاتی که در داخل کشور در رابطه با این موضوع انجام گرفته می‌توان به پایان نامه دکتری خوش اخلاق (۱۳۷۶) تحت عنوان خشکسالی‌های فراگیر ایران اشاره کرد. که در این تحقیق بررسی شناسایی دوره‌های خشک و مرطوب سالانه از ضرایب آماری ۳ و نیز شاخص استاندارد بارش ۳۷ ایستگاه سینوپتیک استفاده شده. و در نهایت با بررسی نقشه‌های سینوپتیکی الگوهای ماهانه خشکسالی و ترسالی در ایران تحلیل گردیده است. (خوش اخلاق، ۱۳۷۶، ص ۱۵۴-۱۳۶)

زارعی (۱۳۷۸) جریان کم را برای حوضه آبریز دریای خزر به صورت منطقه‌ای برآورد نمود. در تحقیقات وی، اکثراً از روش رگرسیون گام به گام بین عوامل مؤثر بر جریان‌های حداقل یک، هفت، پانزده و سی روزه با دوره برگشت معین استفاده شده است.

شاه‌محمدی و همکاران (۱۳۸۰) براساس آمار بلند مدت بارندگی‌های سالیانه در ایران، سال‌های خیلی خشک تا خیلی مرطوب را برای پنج ایستگاه بوشهر، مشهد، تهران، اصفهان و جاسک تعیین کرده‌اند. براساس نتایج این تحقیق برای ایستگاه اصفهان احتمال این که بارندگی سالیانه در محدوده خشک (۶۵-۱۰۰ میلیمتر) قرار گیرد ۲۲/۹ درصد و در محدوده خیلی خشک (۳۰-۶۵ میلیمتر) قرار گیرد ۱۴/۱ درصد است.

### داده‌های آماری و روش تحقیق

در این پژوهش داده‌های بارندگی سالیانه ۲۱ ایستگاه ایران از سال ۱۹۵۵ تا سال ۲۰۰۴ و ۵ ایستگاه از سال ۱۹۵۱ تا سال ۲۰۰۴ مورد استفاده قرار گرفته است.

### ضریب همبستگی

شاخص عددی است که میزان شدت ارتباط خطی بین دو متغیر عددی را محاسبه می‌کند. اگر  $n$  زوج مشاهده از دو متغیر مورد بررسی را به صورت  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$  نمایش دهیم برای محاسبه‌ی مقدار عددی این اندازه از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

که در آن  $\bar{x}$  و  $\bar{y}$  مقادیر میانگین حسابی متناظر برای مقادیر  $x_i$  و  $y_i$  هستند. این شاخص مقداری بین -۱ تا ۱ را اختیار می‌کند. این ضریب با عنوان ضریب همبستگی پیرسون نیز شناخته می‌شود. مقادیر نزدیک به ۱ نمایانگر ارتباط شدید خطی مستقیم بین دو متغیر و مقدار نزدیک به -۱ حاکی از ارتباط شدید خطی غیر مستقیم بین دو متغیر است. مقادیر حول ۰ نشان می‌دهد که بین دو متغیر ارتباط خطی وجود ندارد. در این ضریب همبستگی بین میزان بارندگی دو ایستگاه برای سال‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. ضریب همبستگی بالا بین میزان بارش دو ایستگاه بر این موضوع دلالت دارد که دو ایستگاه اساساً از یک الگوی خشکسالی و ترسالی پیروی می‌کنند. برای داشتن ایده‌ای از شدت ارتباط خطی از  $p$ -مقدار استفاده می‌شود.

برای محاسبه احتمال برای متغیر عددی مربوط به خشکسالی ابتدا لازم است تا الگوی احتمالاتی که خشکسالی یک منطقه از آن پیروی می‌کنند مشخص شود. برای این منظور برای داده‌های بارش و شاخص SPI مک‌کالو توزیع‌های شناخته شده‌ی نرمال وایبل، لوگ‌نرمال، نمایی مورد بررسی قرار گرفتند. تشخیص مناسب بودن توزیع‌های مذکور از نرم‌افزار SAS و روش آزمون فرض کولموگروف-اسمیرنوف صورت گرفته است. از آنجا که این آزمون‌ها برای بررسی مناسب بودن (نیکویی) مدل احتمالاتی مورد استفاده قرار می‌گیرند با نام آزمون نیکویی برازش شناخته می‌شوند. مقدار  $p$ -مقدار کوچک در این آزمون‌ها نشان‌گر نامناسب بودن توزیع احتمالاتی تحت آزمون است. در جدول شماره (۱) برای برخی از ایستگاه‌ها نتایج برازش مدل‌های مختلف نمایش داده شده است. اما بررسی ۲۶ ایستگاه مورد بررسی نشان می‌دهد که توزیع لوگ‌نرمال برای تمامی ایستگاه‌ها برازش مناسبی را ایجاد می‌کند. از این‌رو در ادامه مقاله برای محاسبه احتمالات انتقال از این توزیع استفاده شده است.

### تابع توزیع لوگ‌نرمال و پارامترهای آن

پس از بررسی‌های انجام شده دیده شد که در بین توزیع‌های مرسوم در مجموعه توزیع‌های شناخته شده توزیع لوگ‌نرمال بهتر می‌تواند رفتار ساختار احتمالاتی خشکسالی ایستگاه‌های مختلف ایران را پوشش دهد. یک متغیر تصادفی  $X$  دارای توزیع لوگ‌نرمال است هرگاه تابع چگالی احتمال آن به شکل زیر باشد:

$$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2}(\ln x - \mu)^2\right\}, \quad x > 0$$

به طوری که  $\mu \in R$  و  $\sigma > 0$  پارامترهای توزیع لوگ نرمال هستند. پارامتر  $\mu$  با عنوان پارامتر مکانی و  $\sigma$  پارامتر پراکندگی شناخته می‌شوند. روش‌های مختلفی برای برآورد پارامترهای  $\mu$  و  $\sigma$  توزیع لوگ نرمال وجود دارد. روش‌های ماکزیمم درست‌نمایی، گشتاوری و کمترین توان‌های دوم خطا از روش‌های متداول برآورد محسوب می‌شوند (هیگینز و مک‌نالتی، ۲۰۰۰). در این مقاله از روش حداکثر درست‌نمایی برای برآورد استفاده شده است. بدین ترتیب بر اساس مقادیر نمونه‌ای  $x_1, x_2, \dots, x_n$  برآورد حداکثر درست‌نمایی برای  $\mu$  و  $\sigma^2$  عبارتند از:

$$\hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\ln x_i - \hat{\mu})^2$$

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود برآورد حداکثر درست‌نمایی پارامترهای مکانی و پراکندگی با  $\hat{\mu}$  و  $\hat{\sigma}^2$  نمایش داده می‌شود.

### ماتریس احتمال تغییر وضعیت تجربی

اغلب پیشامدهای تصادفی نشان از تغییراتی دارند که طی زمان رخ خواهد داد. خشکسالی از جمله پدیده‌هایی است که ضمن نقش مؤثر آن در زندگی بشر رفتارهای متفاوتی طی زمان از خود نشان می‌دهد. شناسایی الگویی که این پدیده از آن پیروی می‌کند می‌تواند نقشی مؤثر برای تصمیم‌های بشری داشته باشد. در این راستا شناسایی الگوی احتمالاتی که خشکسالی از آن پیروی می‌کند حاوی اطلاعات مفید برای شناسایی این پدیده خواهد بود. در بسیاری از پدیده‌ها اطلاع از وضعیت فعلی می‌تواند اطلاعاتی را در ارتباط با وضعیت پدیده در واحدهای



زمانی بعد باشد. برای مثال، اگر امسال وضعیت خشکسالی شدیدی را پشت سر گذاشته باشیم در سال آینده چه وضعیتی را محتمل‌تر می‌دانیم. یک مدل احتمالاتی شناخته شده الگوی مارکوف است. این مدل برای پدیده‌هایی به کار برده می‌شود که وضعیت فعلی آن‌ها به وضعیت همان پدیده در مرحله‌ی قبل بستگی دارد. این رابطه به صورت یک زنجیر ارتباط وضعیت فعلی را با برآمدهای دو، سه و ... واحد زمانی قبل را نیز مشخص می‌کند. برای ایجاد مدل احتمالاتی مذکور ابتدا نیاز است تا احتمال تغییر وضعیت یک پدیده محاسبه شود. برای احتمال تغییر وضعیت یک مرحله‌ای برابر احتمال شرطی است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$P_n(i \rightarrow j) = P(X_{n+1} = j | X_n = i)$$

این احتمال در حقیقت احتمال رفتن از حالت  $i$  به  $j$  در یک دوره زمانی با آغار از  $n$  است. احتمال تغییر وضعیت یک مرحله‌ای، در نظریه و کاربرد زنجیره‌های مارکوف نقش کلیدی ایفا می‌کند. اگر در پدیده‌ای احتمال تغییر وضعیت به زمان  $n$  بستگی نداشته باشد آن را با  $P(i \rightarrow j)$  نمایش داده و فرایند متناظر را یک فرایند همگن می‌نامند. مشابه احتمال تغییر وضعیت یک مرحله‌ای می‌توان احتمال تغییر وضعیت  $k$  مرحله‌ای را نیز به صورت زیر تعریف کرد:

$$P^{(k)}(i \rightarrow j) = P(X_{n+k} = j | X_n = i)$$

این احتمال تغییر وضعیت، برابر احتمال بودن در حالت  $j$ ،  $k$  دوره‌ی زمانی پس از بودن در حالت  $i$  است. به دلیل همگن بودن پدیده‌ی خشکسالی احتمال تغییر وضعیت  $k$  مرحله‌ای به زمان بستگی ندارد.

روش سودمندی برای ارائه‌ی احتمال‌های تغییر وضعیت یک زنجیر مارکوف همگن، به کمک ماتریس تغییر وضعیت یک مرحله‌ای است. ماتریس تغییر

وضعیت یک مرحله‌ای ماتریسی است که درایه‌های آن با احتمال‌های تغییر وضعیت یک مرحله‌ای متناظرند. در این ماتریس برچسب سطر نمایانگر وضعیت در زمان  $n$  (یا وضعیت فعلی) و برچسب ستون نمایانگر وضعیت در مرحله‌ی  $n+1$  (یا وضعیت بعدی) است. به همین ترتیب، 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  $n$  (یا وضعیت فعلی) و برچسب ستون نمایانگر وضعیت در مرحله‌ی  $n+k$  (یا وضعیت در  $k$  مرحله‌ی بعد) است. برای محاسبه‌ی ماتریس تغییر وضعیت  $k$  مرحله‌ای می‌توان ماتریس یک مرحله‌ای متناظر را به صورت ماتریسی به توان  $k$  ام رساند.

برای تهیه‌ی ماتریس انتقال داده‌های خشکسالی ایستگاه‌های کشور ابتدا توزیع لگ‌نرمال برای داده‌ها در گروه‌های مختلف برازش می‌شوند. گروه‌ها بر اساس وضعیت خشکسالی سال قبل برای هر ایستگاه ایجاد می‌شوند. برای مثال، سال‌هایی وضعیت خشکسالی (طبق شاخص MCSPI) در سال گذشته در همان ایستگاه بسیار خشک بوده است یک گروه را تشکیل می‌دهند. به همین ترتیب گروه‌های دیگر متناظر با وضعیت‌های خشک، نرمال، مرطوب و بسیار مرطوب تشکیل می‌شوند. سپس با محاسبه‌ی برآوردهای حداکثر درست‌نمایی پارامترهای  $\mu$  و  $\sigma$  از توزیع لوگ‌نرمال به داده‌های خشکسالی این توزیع برازش داده می‌شود. براساس این توزیع‌ها احتمال تغییر وضعیت  $P(i \rightarrow j) = P(X_{n+1} = j | X_n = i)$  محاسبه می‌شوند. پس از قرار دادن این احتمالات در درایه‌های متناظر ماتریس تغییر وضعیت یک مرحله‌ای، این ماتریس برای هر ایستگاه تهیه می‌شود. ماتریس‌های تغییر وضعیت دو مرحله‌ای تا پنج مرحله‌ای از به توان ماتریسی رساندن ماتریس تغییر وضعیت یک مرحله‌ای به دست می‌آیند.

زنجیر مارکوفی با حالت‌های متناهی منظم گفته می‌شود هرگاه ماتریس تغییر وضعیت  $k$  مرحله‌ای برای  $k > 0$  معینی دارای درایه‌های مخالف صفر باشد. مطالعات انجام شده بر روی داده‌های خشکسالی مناطق ایران نشان داد که این پدیده یک زنجیر مارکوف منظم است. در این حالت ماتریس تغییر وضعیت  $k$  مرحله‌ای  $P^k$  هنگامی که  $k$  به قدر کافی بزرگ شود، به سمت ماتریس  $\Pi$  که دارای سطرهای یکسان و درایه‌های مخالف صفر است، میل می‌کند. یعنی:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} P^k = \Pi$$

یک سطر این ماتریس را به صورت  $\pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_s)$  نمایش داده و بردار احتمال حالت پایا نامیده می‌شود. احتمال  $\pi_j$  بدین معنا است که در دراز مدت این پدیده با چه احتمالی به وضعیت متناظر  $j$  انتقال خواهد یافت. یک کاربرد بردار احتمال حالت پایا محاسبه‌ی زمان بازگشت است. بدین ترتیب که اگر  $T_j$  زمان لازم برای بازگشت به حالت  $j$  را نشان دهد در صورتی که در حال حاضر در وضعیت  $j$  باشیم به‌طور متوسط انتظار می‌رود که  $1/\pi_j$  واحد زمانی طول بکشد تا دوباره به همین وضعیت بازگردیم. برای مثال زمان بازگشت برای وضعیت خشکسالی بسیار شدید ۸/۲ محاسبه شود، بدین معناست که به‌طور متوسط انتظار می‌رود که حدود هشت سال بعد مجدداً وضعیت خشکسالی شدید اتفاق بیفتد.

### یافته‌های تحقیق

بر اساس داده‌های بارندگی ۵۰ ساله ۲۶ ایستگاه سینوپتیک ایران ابتدا آزمون نیکویی برازش بارندگی کولموگروف-اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱) که نتایج ۴ ایستگاه انزلی، اراک، ارومیه و کرمان به صورت نمونه ارایه گردیده

است. که با توجه به جداول مربوطه بارندگی تمام ایستگاه های ایران از توزیع لوگ نرمال تبعیت می کند.

سپس ماتریس احتمال انتقال خشکسالی در ایستگاه های مطالعه شده محاسبه گردید که نتایج در جدول ۲ ارائه گردیده است. سپس با استفاده از ماتریس احتمال انتقال خشکسالی، احتمال وقوع خشکسالی تا ۵ سال برای هر ایستگاه بر مبنای بارندگی سال پایه محاسبه و نتایج آن در جدول ۳ ارائه گردیده است. به عنوان مثال در ایستگاه بوشهر اگر امسال (۱۳۸۵) یک سال نرمال از نظر بارندگی باشد با احتمال ۴۰/۹ درصد سال ۱۳۸۶ دارای بارندگی نرمال، ۳۱/۸ درصد مرطوب، ۱۳/۶ درصد نسبتاً خشک و مرطوب خواهد بود. و در سال ۱۳۹۰ به احتمال ۴۰ درصد بارندگی نرمال یا نسبتاً مرطوب و ۵ درصد مرطوب و ۱۵ درصد نسبتاً خشک خواهد بود.

نام ایستگاه	جدول شماره ۱ (مبنای توزیع کولموگوروف-اسمیرنوف خشکسالی)						نام ایستگاه	جدول شماره ۲ (مبنای توزیع کولموگوروف-اسمیرنوف خشکسالی)					
	توزیع	میانگین - استانده	پارامتر مقیاس	پارامتر شکل	آماره آزمون	مقدار P		توزیع	میانگین - استانده	پارامتر مقیاس	پارامتر شکل	آماره آزمون	مقدار P
اراک	نرمال	۵۰	۱۰		۰.۵۶۳	>۰.۱۵	نرمال	۵۰	۱۰		۰.۱۱۲	۰.۱۱	
	لگنرمال	۰	۰.۰۴۴	۳.۸۸۲	۰.۰۶۹۸	>۰.۱۵	لگنرمال	۰	۰.۱۹۵	۳.۸۸۲	۰.۰۷۷۳	>۰.۱۵	
	نمایی	۰	۵۰		۰.۴۵۲	<۰.۱	نمایی	۰	۵۰		۰.۴۹۲	<۰.۱	
	وایبل	۰	۵۴.۰۷۶	۵.۴۰۴	۰.۰۷۳۳	>۰.۱۰	وایبل	۰	۵۴.۱۳۹	۵.۴۰۴	۰.۱۲	۰.۰۵	
کرمان	نرمال	۵۰	۱۰		۰.۱۲۲	۰.۰۶۶۷	نرمال	۵۰	۱۰		۰.۱۲۴۴	۰.۰۳	
	لگنرمال	۰	۰.۱۹	۳.۸۸۲۷	۰.۰۶	>۰.۱۵	لگنرمال	۰	۰.۱۹۱	۳.۸۸۲۷	۰.۰۹۶۴	>۰.۱۵	
	نمایی	۰	۵۰		۰.۴۹۳	<۰.۱	نمایی	۰	۵۰		۰.۴۹۴۶	<۰.۱	
	وایبل	۰	۵۴.۱۶	۵.۰۱۷۹	۰.۱۶۱	<۰.۱	وایبل	۰	۵۴.۱۶۲۵	۵.۰۱۷۹	۰.۱۶۰۷	<۰.۱	

پیش‌بینی خشکسالی بر اساس مدل‌های ماتریس احتمال انتقال تجربی در مناطق مختلف ایران ۹۹

جدول شماره (۴) ماتریس احتمال انتقال خشکسالی در ایستگاه های مطالعه شده

ایستگاه	اراک		زندان		شاهورد		بندر عباس		کرمانشاه		آبدان		بابلگر		یزد		اصفهان		لریمه		زاهدان		بیرجند		انزلی		
	خشک	نسبتاً خشک	نسبتاً مرطوب	مرطوب	خشک	نسبتاً خشک	نسبتاً مرطوب	مرطوب	خشک	نسبتاً خشک	نسبتاً مرطوب	مرطوب	خشک	نسبتاً خشک	نسبتاً مرطوب	مرطوب	خشک	نسبتاً خشک	نسبتاً مرطوب	مرطوب	خشک	نسبتاً خشک	نسبتاً مرطوب	مرطوب	خشک	نسبتاً خشک	نسبتاً مرطوب
اراک	0.003	0.037	0.051	0.002	0.002	0.042	0.008	0.003	0.003	0.003	0.001	0.003	0.003	0.004	0.004	0.001	0.004	0.001	0.000	0.000	0.003	0.003	0.005	0.005	0.003	0.003	0.003
زندان	0.037	0.037	0.051	0.002	0.002	0.042	0.008	0.003	0.003	0.003	0.001	0.003	0.003	0.004	0.004	0.001	0.004	0.001	0.000	0.000	0.003	0.003	0.005	0.005	0.003	0.003	0.003
شاهورد	0.037	0.037	0.051	0.002	0.002	0.042	0.008	0.003	0.003	0.003	0.001	0.003	0.003	0.004	0.004	0.001	0.004	0.001	0.000	0.000	0.003	0.003	0.005	0.005	0.003	0.003	0.003
بندر عباس	0.037	0.037	0.051	0.002	0.002	0.042	0.008	0.003	0.003	0.003	0.001	0.003	0.003	0.004	0.004	0.001	0.004	0.001	0.000	0.000	0.003	0.003	0.005	0.005	0.003	0.003	0.003
کرمانشاه	0.037	0.037	0.051	0.002	0.002	0.042	0.008	0.003	0.003	0.003	0.001	0.003	0.003	0.004	0.004	0.001	0.004	0.001	0.000	0.000	0.003	0.003	0.005	0.005	0.003	0.003	0.003
آبدان	0.037	0.037	0.051	0.002	0.002	0.042	0.008	0.003	0.003	0.003	0.001	0.003	0.003	0.004	0.004	0.001	0.004	0.001	0.000	0.000	0.003	0.003	0.005	0.005	0.003	0.003	0.003
بابلگر	0.037	0.037	0.051	0.002	0.002	0.042	0.008	0.003	0.003	0.003	0.001	0.003	0.003	0.004	0.004	0.001	0.004	0.001	0.000	0.000	0.003	0.003	0.005	0.005	0.003	0.003	0.003
یزد	0.037	0.037	0.051	0.002	0.002	0.042	0.008	0.003	0.003	0.003	0.001	0.003	0.003	0.004	0.004	0.001	0.004	0.001	0.000	0.000	0.003	0.003	0.005	0.005	0.003	0.003	0.003
اصفهان	0.037	0.037	0.051	0.002	0.002	0.042	0.008	0.003	0.003	0.003	0.001	0.003	0.003	0.004	0.004	0.001	0.004	0.001	0.000	0.000	0.003	0.003	0.005	0.005	0.003	0.003	0.003
لریمه	0.037	0.037	0.051	0.002	0.002	0.042	0.008	0.003	0.003	0.003	0.001	0.003	0.003	0.004	0.004	0.001	0.004	0.001	0.000	0.000	0.003	0.003	0.005	0.005	0.003	0.003	0.003
زاهدان	0.037	0.037	0.051	0.002	0.002	0.042	0.008	0.003	0.003	0.003	0.001	0.003	0.003	0.004	0.004	0.001	0.004	0.001	0.000	0.000	0.003	0.003	0.005	0.005	0.003	0.003	0.003
بیرجند	0.037	0.037	0.051	0.002	0.002	0.042	0.008	0.003	0.003	0.003	0.001	0.003	0.003	0.004	0.004	0.001	0.004	0.001	0.000	0.000	0.003	0.003	0.005	0.005	0.003	0.003	0.003
انزلی	0.037	0.037	0.051	0.002	0.002	0.042	0.008	0.003	0.003	0.003	0.001	0.003	0.003	0.004	0.004	0.001	0.004	0.001	0.000	0.000	0.003	0.003	0.005	0.005	0.003	0.003	0.003

نام ایستگاه	یک سال بعد				دو سال بعد				سه سال بعد				چهار سال بعد				پنج سال بعد			
	خشک	نسبتاً خشک	نسبتاً مرطوب	مرطوب	خشک	نسبتاً خشک	نسبتاً مرطوب	مرطوب	خشک	نسبتاً خشک	نسبتاً مرطوب	مرطوب	خشک	نسبتاً خشک	نسبتاً مرطوب	مرطوب	خشک	نسبتاً خشک	نسبتاً مرطوب	مرطوب
آبدان	خشک	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	نسبتاً خشک	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	نسبتاً مرطوب	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	مرطوب	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
بندر عباس	خشک	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	نسبتاً خشک	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	نسبتاً مرطوب	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	مرطوب	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
زاهدان	خشک	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	نسبتاً خشک	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	نسبتاً مرطوب	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	مرطوب	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
بابلگر	خشک	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	نسبتاً خشک	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	نسبتاً مرطوب	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	مرطوب	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
یزد	خشک	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	نسبتاً خشک	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	نسبتاً مرطوب	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	مرطوب	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



۱۰۱ پیش‌بینی خشکسالی بر اساس مدل‌های ماتریس احتمال انتقال تجربی در مناطق مختلف ایران

نام ایستگاه	یک سال بعد					دو سال بعد					سه سال بعد					چهار سال بعد					پنج سال بعد					
	خشک	نسبتاً خشک	نرمال	نسبتاً مرطوب	مرطوب	خشک	نسبتاً خشک	نرمال	نسبتاً مرطوب	مرطوب	خشک	نسبتاً خشک	نرمال	نسبتاً مرطوب	مرطوب	خشک	نسبتاً خشک	نرمال	نسبتاً مرطوب	مرطوب	خشک	نسبتاً خشک	نرمال	نسبتاً مرطوب	مرطوب	
کسیراز	خشک	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	نسبتاً خشک	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	نرمال	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	نسبتاً مرطوب	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	مرطوب	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
کرمان	خشک	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	نسبتاً خشک	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	نرمال	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	نسبتاً مرطوب	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	مرطوب	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
همدان	خشک	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	نسبتاً خشک	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	نرمال	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	نسبتاً مرطوب	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	مرطوب	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مشهد	خشک	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	نسبتاً خشک	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	نرمال	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	نسبتاً مرطوب	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	مرطوب	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
گرگان	خشک	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	نسبتاً خشک	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	نرمال	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	نسبتاً مرطوب	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	مرطوب	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
رشت	خشک	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	نسبتاً خشک	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	نرمال	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	نسبتاً مرطوب	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	مرطوب	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰





## منابع و مأخذ:

- ۱- امین، سیف‌اله. ۱۳۷۹، بررسی نمایه‌های خشکسالی، مطالعه موردی باجگاه شیراز، مجموعه مقالات اولین کارگاه آموزشی و تخصصی بررسی مسائل خشکسالی استان فارس، ۲۷-۲۸ مهر، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، صفحات ۱۳-۱.
- ۲- زارعی، علیرضا، ۱۳۷۸، ارزیابی روش‌های تحلیل منطقه‌ای فراوانی جریان کم در حوضه آبریز مازندران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۳- شاه‌محمدی، زمان، پرویز حقیقت‌جو و پیمان افراسیاب، ۱۳۸۰، تعیین خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها براساس آمار بلندمدت بارندگی‌های سالیانه در ایران، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راه‌کارهای مقابله با بحران آب، ۱۹-۱۸ اسفند، دانشگاه زابل، صفحات ۶۳-۶۹.
- ۴- پارسیان، .۱، ۱۳۸۰، مبانی آمار ریاضی، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، چاپ سوم.
- ۵- مشکانی، ع.، ۱۳۷۹، مفاهیم احتمال و مدل‌بندی تصادفی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۶- کاویانی محمدرضا، بررسی اقلیمی شاخص‌های خشکی و خشکسالی بهار ۱۳۸۰- فصلنامه تحقیقات جغرافیایی شماره ۶۰ ص ۷۹.
- ۷- کردوانی پرویز، منابع مسائل آب در ایران، جلد اول، ۱۳۶۳، انتشارات آگاه چاپ اول، ص ۳، لشتی زند، مهران (۱۳۸۰)، پهنه‌بندی خشکسالی‌های اقلیمی در استان کردستان با بکارگیری شاخص‌های آماری، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل.
- ۸- فرج‌زاده، منوچهر، خشکسالی از مفهوم تا راهکار، (۱۳۸۴) چاپ اول، انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.
- ۹- لشنی مهران، تلوری عبدالرسول، بررسی خشکسالی اقلیمی و امکان پیش‌بینی آن در شش حوضه واقع در غرب و شمال‌غرب ایران، (۱۳۸۲) فصلنامه تحقیقات جغرافیایی شماره ۷۲، بهار ۸۳، سال نوزدهم.
- ۱۰- نیشابوری اصغر (۱۳۶۵) روش جدید برای تشخیص تعیین حدود فصل خشک، مجموعه مقالات سمینار بین‌المللی جغرافیایی، دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.

- ۱۱- زاهدی مجیدو یوسف قویدل رحیمی. (۱۳۸۱) شناخت، طبقه‌بندی و پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از روش سریهای زمانی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. فضای جغرافیایی، شماره ۶- ص ۱۹ تا ۴۸.
- ۱۲- فرج‌زاده، منوچهر، اصغر موحد دانش وهوشنگ قائمی، ۱۳۷۴ خشکسالی ایران. دانش کشاورزی، نشریه دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، جلد ۵، ص ۵۲-۳۱.
- 13- Alley, W. M. 1984. The Palmer drought severity index: limitations and assumptions. *Climate and Appl. Meteorology* 23: 1100 – 1109.
- 14- Bowerman, B. L. and R. T. O'connell. 1993. *Forecasting and Time Series: an Approach*. Duxbury Press, U. K.
- 15- Box, G. E. P. and G. M. Jenkins. 1976. *Time Series Analysis: Forecasting and Cotrol*. 2nd ed., San Francisco, Holden Day.
- 16- Brockwell, P. J. and R. A. Davis. 1996. *Introduction to Time Series and Forecasting*. Springer – Verlag, N. Y.
- 17- Brockwell, P. J. and R. A. Davis. 1991. *Time Series: Theory and Methods*. 2nd ed., Springer – Verlag, N. Y.
- 18- Sharma, T.C (2000): Drought parameters in relation levels, *Hydrological processes*, No.14.