

پیش بینی احتمال وقوع خشکسالی در استان خراسان

چکیده

با توجه به قرار گرفتن استان خراسان در ناحیه آب و هوایی خشک و نیمه خشک ایران و وقوع خشکسالیهای مکرر در سالهای اخیر، اهمیت پرداختن به مقوله پیش‌بینی خشکسالی بیش از پیش آشکار می‌شود. به منظور بررسی این امر، از آمار بارندگی سالانه یازده ایستگاه سینوپتیک استان طی سالهای ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۲ استفاده شد که پس از تکمیل داده‌های ناقص، با استفاده از مدل زنجیره مارکف مرتبه اول، ماتریسهای احتمال انتقال و ماتریس معادل برای تمام ایستگاهها محاسبه شدند. با توجه به اینکه ماتریس احتمال انتقال در مدل مارکف مرتبه اول تنها وضعیت یک سال آینده را مشخص می‌سازد، با یک بار ضرب این ماتریس در خود ماتریس، احتمال انتقال دومرحله‌ای برای تعیین وضعیتهای مختلف در سال ۲۰۰۴ محاسبه و نقشه‌های پهنه‌بندی احتمال وقوع برای سه وضعیت خشکسالی، نرمال و حالت مرطوب رسم گردید.

کلید واژه‌ها: خشکسالی، زنجیره مارکف، ماتریس احتمال انتقال، ماتریس معادل.

مقدمه

آمادگی در برابر خشکسالی، به حمایت دولتها در سطوح مختلف نیاز دارد. برای کاهش اثرهای شدید حوادث غیر مترقبه و بلایای طبیعی، باید برنامه‌هایی مدون و مستدل وجود داشته باشد. به عنوان مثال، بین سالهای ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۴ دولت استرالیا حدود ۹۲۵ میلیون دلار صرف جبران خسارتهای ناشی از خشکسالی کرد (Wilhite, 1986)، و یا آنکه دولت آفریقای جنوبی برای جبران خسارتهای ناشی از خشکسالی، در اواسط دهه ۱۹۷۰ تا نیمه دهه ۱۹۸۰، ۲/۵ میلیارد دلار صرف نمود (Wilhite, 1989).

در استان خراسان نیز به دلیل خشکسالیهای اخیر، خسارتهای زیادی بر بخشهای مختلف استان و بویژه بخش کشاورزی که عمده‌ترین مصرف‌کننده آب به‌شمار می‌رود، وارد شده است.

به عنوان مثال، در سال زراعی ۷۹-۷۸، به علت کاهش بارندگی و نباریدن برف و نبود یخبندان کافی، ذخایر آبهای سطحی به شدت کاهش یافت و تولید مزارع را که از منابع فوق آبیاری می‌شوند، تحت تأثیر قرار داد؛ به طوری که خسارتهای ناشی از عوامل نامساعد جوی در بخش زراعت، معادل ۶۸۲/۴ میلیارد ریال برآورد گردید. در بخش قناتهای کشاورزی نیز با توجه به کاهش ۵۳ درصدی میزان بارندگی به منظور جبران خسارتهای خشکسالی و اثرهای نامطلوب آن بر تعداد ۶۷۹۲ رشته قنات در بخشهای مرکزی و جنوبی استان به طول ۷۹۴۸ کیلومتر، حداقل معادل ۶۸ میلیارد ریال اعتبار اختصاص یافت. با توجه به عوامل ذکر شده، زمان آن فرا رسیده است که مدیریت ریسک به عنوان مدیریت مناسب در هنگام وقوع خشکسالی به طور گسترده و در سطح ملی مورد استفاده قرار گیرد.

تهیه مقدمات احتمال وقوع خشکسالی، به سیاستها و همچنین ارائه طرحهایی مربوط می‌شود که برای آماده‌سازی در مقابل خشکسالی مفید است. نتایج حاصل از این طرحها به کاهش خسارتهای ناشی از خشکسالی به عنوان یک بلای طبیعی منجر می‌شود که در نهایت سبب می‌گردد تا مدیریت ریسک جایگزین مدیریت بحران شود. بدین منظور، در این مقاله سعی شده است تا از روش آماری زنجیره مارکف برای پیش‌بینی احتمال وقوع خشکسالیها استفاده شود.

بررسی منابع

اکثر زنجیره‌های مارکف که در زمینه پیش‌بینی خشکسالی مورد استفاده قرار گرفتند، مرتبه اول هستند. به عبارتی، احتمال وقوع خشکسالی در هر زمان تنها به شرایط یک مرحله قبل از آن بستگی دارد. فایرینگ و توماس^۱ (۱۹۶۲) نخستین کسانی بودند که مدل زنجیره مارکف مرتبه اول را همراه با انتقال ویلسون-هایفرتی^۲ جهت تولید داده‌های جریان رودخانه مورد استفاده قرار دادند. *Srikantan and McMohan (1986)* از یک مدل مارکف مرتبه اول همراه با انتقال ویلسون-هایفرتی جهت تولید بارندگیهای سالانه استفاده کردند. *Thompson (1990)* نیز از ترکیب تئوری ران، شاخص پالمر و زنجیره مارکف جهت پیش‌بینی خشکسالی در ایالت متحده مرکزی با توجه به آمار ماهانه بارندگی در طی سالهای ۱۹۸۸-۱۸۹۵، استفاده نمود. وی نتیجه گرفت که پایداری خشکسالیهای شدید در منطقه، از دیگر وضعیتها بیشتر است. بدین منظور، نقشه‌های پایداری خشکسالی خیلی شدید و همچنین نقشه پهنه‌بندی احتمال معادل برای خشکسالیهای خیلی شدید را در این منطقه رسم نمود. *Jimoh and Webster (1996)* نیز

1. Fiering and Thomas

2. Wilson-Hiferty

مرتبه بهینه مدل زنجیره مارکف را برای وقوع بارندگیهای روزانه در پنج منطقه در نیجریه به دست آوردند. آنها به این نتیجه رسیدند که مدل مرتبه اول نسبت به مدل مرتبه صفر، مناسب‌تر است و تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین رفتار مدل مرتبه اول و دوم مشاهده نکردند. (1999) Jimoh and Webster نوسانهای بارندگی درون‌سالی را با استفاده از زنجیره مارکف در ۷ منطقه در نیجریه مورد بررسی قرار دادند و با حرکت از مناطق جنوبی به سمت شمال نیجریه متوجه شدند که یک اختلاف منظم و با قاعده در p_{01} (احتمال اینکه پس از یک روز مرطوب یک روز خشک باشد) وجود دارد. همچنین آنها دریافتند که اختلاف محلی خیلی محدودی در p_{11} نیز وجود دارد.

(1999) Thyer and Kuczca نیز از یک مدل HSM جهت تولید بارندگیهای سالانه در سیدنی استفاده کردند. مدل آنها فرض می‌کند که شرایط آب و هوایی، ترکیبی از دو حالت خشک و مرطوب است و هر حالت دارای توزیع نرمال جداگانه‌ای است. انتقال از یک وضعیت به وضعیت دیگر با استفاده از ماتریس احتمال انتقال بیان می‌شود. چنانچه احتمال انتقال به اندازه کافی کم باشد، ممکن است شرایط آب و هوایی برای چندین سال پایدار بماند. این شرایط یک ساز و کار روشن را برای مدل HSM جهت شبیه‌سازی اثرهای پدیده شبه‌دوره‌ای نظیر ELnino، فراهم می‌کند. در مدل HSM، شبیه‌سازی بارندگی سالانه، یک فرایند دو مرحله‌ای است. در مرحله اول، وضعیت در سال t با فرایند مارکف شبیه‌سازی می‌شود:

$$S_t | S_{t-1} \sim \text{Markov}(P, p_t)$$

که در آن P ماتریس احتمال انتقال با فاکتورهای p_{ij} است.

$$p_{ij} = \Pr(S_t = i | S_{t-1} = j) \quad i, j = \text{wet or dry}$$

و p_{11} بردار توزیع احتمال حالت‌های خشک و مرطوب در سال اول می‌باشد. از آنجا که وضعیت در سال t مشخص است، بارندگی سالانه به صورت زیر شبیه‌سازی می‌شود:

$$x_t = \begin{cases} N(\mu_{\text{wet}}, \sigma_{\text{wet}}^2) & \text{اگر } S_t = \text{مرطوب} \\ N(\mu_{\text{dry}}, \sigma_{\text{dry}}^2) & \text{اگر } S_t = \text{خشک} \end{cases}$$

که $N(\mu, \sigma^2)$ یک توزیع نرمال با میانگین μ و واریانس σ^2 می‌باشد. آنها نتایج مدل HSM را با مدل $AR(1)$ مقایسه نمودند و متوجه شدند که پایداری خشکسالی در مدل HSM بیشتر و ریسک خشکسالی واقع‌بینانه‌تر است. داده‌های بارندگی سیدنی فرض مدل آب و هوایی ۲ حالتی (HSM) با میانگین دوره زمانی مشابه با پدیده شبه دوره‌ای ENSO را تأیید نمود.

عدل (۱۳۶۹) نیز مدل مارکف مرتبه اول را جهت تعیین احتمالات تأمین آب از دریاچه سد امیرکبیر به کار برد و نتیجه گرفت که احتمال کمبود آب دریاچه سد در درازمدت به کمک آمار ۲۱ ساله، ۲ درصد می‌باشد.

حقیقت‌جو و شاه‌محمدی حیدری (۱۳۸۱) نیز از یک مدل زنجیره مارکف مرتبه اول جهت پیش‌بینی جریان رودخانه هیرمند در طی سالهای ۱۹۹۷ - ۱۹۵۲ به مدت ۴۶ سال استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که احتمال وقوع شرایط خشکسالی در درازمدت، از سایر حالتها بیشتر است.

روش مطالعه

در این مطالعه، از آمار بارندگی سالانه یازده ایستگاه سینوپتیک استان خراسان طی سالهای ۲۰۰۲ - ۱۹۷۰ استفاده شده است. با توجه به اینکه هرچه طول دوره آماری مورد مطالعه و صحت داده‌ها بیشتر باشد، دقت مدل نیز افزایش می‌یابد؛ در مرحله اول، آمار جمع‌آوری شده تصحیح و تکمیل گردید و در ایستگاههای تازه تأسیس از آنجا که ایستگاه اغلب به صورت کلیماتولوژی در همان نقطه قرار دارد، از مقادیر بارندگی ایستگاه کلیماتولوژی آن نقطه برای تکمیل دوره آماری بهره‌گیری شد. با استفاده از شاخص درصد از میانگین، وضعیت سالهای آماری به سه گروه خشک، نرمال و مرطوب تقسیم‌بندی شد و مطابق مدل زنجیره مارکف که شرح آن در ذیل آمده، احتمالهای مختلف بارندگی سال ۲۰۰۴ محاسبه گردید.

تعریف زنجیره مارکف

مدل زنجیره مارکف یک تکنیک ریاضی جهت مدل‌سازی پدیده‌های تصادفی است که توالی مشاهدات را در طول زمان نشان می‌دهد. وابستگی این زنجیره به زمان، یا از طریق ضرایب همبستگی سری و یا با استفاده از ماتریسهای احتمال انتقال بیان می‌شود. آنچه در این تحقیق مورد استفاده قرار می‌گیرد، ماتریسهای احتمال انتقال برای بیان وقوع پدیده‌های خشک و مرطوب می‌باشد. زنجیره‌های مارکف در هیدرولوژی، جهت مدل‌سازی فرایندهایی چون بارندگی، جریانهای رودخانه، رطوبت خاک و ذخیره آب در مخازن، کاربرد فراوان دارد.

اگر چنین فرض شود که $X(t)$ یک فرایند با مقدار گسسته است که در زمان صفر شروع شده و در طول زمان ادامه می‌یابد، آنگاه مقادیر $X(t)$ را به صورت X_1, X_2, \dots, X_t (ت می‌توان نشان داد.

$$P[X(t) = x_t | X(0) = x_0, X(1) = x_1, \dots, X(t-1) = x_{t-1}] \quad ۱$$

که در رابطه (1) P این احتمال وجود دارد که فرایند X در زمان t برابر با X_t باشد. چنانچه رابطه ۱ ساده شود، آنگاه:

$$P[X(t) = x_t | X(t-1) = x_{t-1}] \quad ۲$$

رابطه ۲ به مفهوم این است که نتیجه هر فرایند در زمان t ، تنها با استفاده از شرایط در زمان $t-1$ مشخص می‌شود. فرایندهایی که چنین خاصیتی دارند یک زنجیره مارکف مرتبه اول یا زنجیره مارکف ساده نامیده می‌شوند. اکثر زنجیره‌های مارکف که در پیش‌بینی خشکسالیها مورد استفاده قرار می‌گیرند، مرتبه اول هستند. نماد $X(t)=j$ که $j=1,2,\dots,r$ به جای X_t مورد استفاده قرار می‌گیرد که نشان می‌دهد $X(t)$ در وضعیت j قرار دارد و r تعداد وضعیتهاست.

ماتریس احتمال انتقال

یک زنجیره مارکف ساده با استفاده از ماتریس احتمال، انتقالش تعریف می‌شود. این ماتریس، یک ماتریس مربع با نماد $p_{ij}(t)$ می‌باشد و به صورت زیر بیان می‌شود:

$$p_{ij}(t) = P[X(t) = j | X(t-1) = i] = \frac{\text{تعداد حالت‌هایی که } X(t) = j \text{ و } X(t-1) = i}{\text{تعداد حالت‌هایی که } X(t-1) = i} \quad ۳$$

برای تمام جفتهای i و j ، زنجیره ممکن است از حالت i در زمان $t-1$ به حالت $j=1,2,\dots,r$ در زمان t تغییر یابد؛ لذا با معلوم بودن وضعیت در زمان $t-1$ احتمالهای انتقال متناظر در زمان t با $p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{ir}$ نمایش داده می‌شود:

$$\sum_{j=1}^r P_{ij}(t) = 1 \quad i = 1, 2, \dots, r \quad ۴$$

لذا؛ چنانچه ماتریس احتمال انتقال، وابسته به زمان نباشد، زنجیره مارکف را «ایستا» یا «همگن» گویند و در این حالت می‌توان از علامت p_{ij} و $p(t)$ به جای $p_{ij}(t)$ استفاده نمود. ماتریس احتمال انتقال به صورت زیر نوشته می‌شود. عناصر قطر اصلی ماتریس بیانگر پایداری هر وضعیت می‌باشد.

$$\begin{matrix}
 & ۱ & ۲ & \dots & r \\
 \begin{matrix} ۱ \\ ۲ \\ ۳ \\ \dots \\ r \end{matrix} & \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & \dots & P_{1r} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & \dots & P_{2r} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & \dots & P_{3r} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{r1} & P_{r2} & P_{r3} & \dots & P_{rr} \end{bmatrix} & ۵
 \end{matrix}$$

ماتریس احتمال انتقال n مرحله ای و ماتریس معادل

چنانچه فرض شود زنجیره در حال حاضر در وضعیت i قرار دارد و پس از n مرحله زمانی در حالت j واقع شده است، احتمال از حالت i به حالت j در n مرحله بعد را با $p_{ij}^{(n)}$ نشان داده و به صورت زیر بیان می‌شود:

$$i, j = ۱, \dots, r$$

$$n > ۱$$

$$P_{ij}^{(n)} = \sum_{k=1}^r P_{ik}^{(n-1)} P_{kj}$$

چنانچه $n = 1$ باشد، آنگاه $p_{ij}^{(n)} = p_{ij}$ همان احتمال انتقال می‌باشد. در رابطه ۵، $p_{ij}^{(n)}$ عناصر ماتریس احتمال انتقال n مرحله‌ای هستند که می‌تواند با ضرب کردن n با ماتریس احتمال انتقال در خودش به دست آید.

چنانچه ماتریس احتمال انتقال مرتباً در خودش ضرب شود، مقادیر احتمالات انتقال p_{ij} به یک مقدار ثابت می‌رسد، این احتمالات معادل که با p_i^* نمایش داده می‌شوند، ماتریس جدیدی با عنوان ماتریس معادل خواهند ساخت؛ به طوری که عناصر هر ستون در ماتریس معادل ثابت خواهند ماند.

هر فاکتور از ماتریس معادل، بیانگر احتمال معادل قرار گرفتن در آن وضعیت پس از مدت زمان طولانی است. به بیان دیگر، احتمالات معادل، بیانگر متوسط درصد زمانی است که وضعیت مورد نظر به وقوع پیوسته است. لذا با داشتن توزیع اولیه و ماتریس احتمال انتقال می‌توان احتمال در هر مرحله دلخواه را به دست آورد.

نتیجه‌گیری و بحث

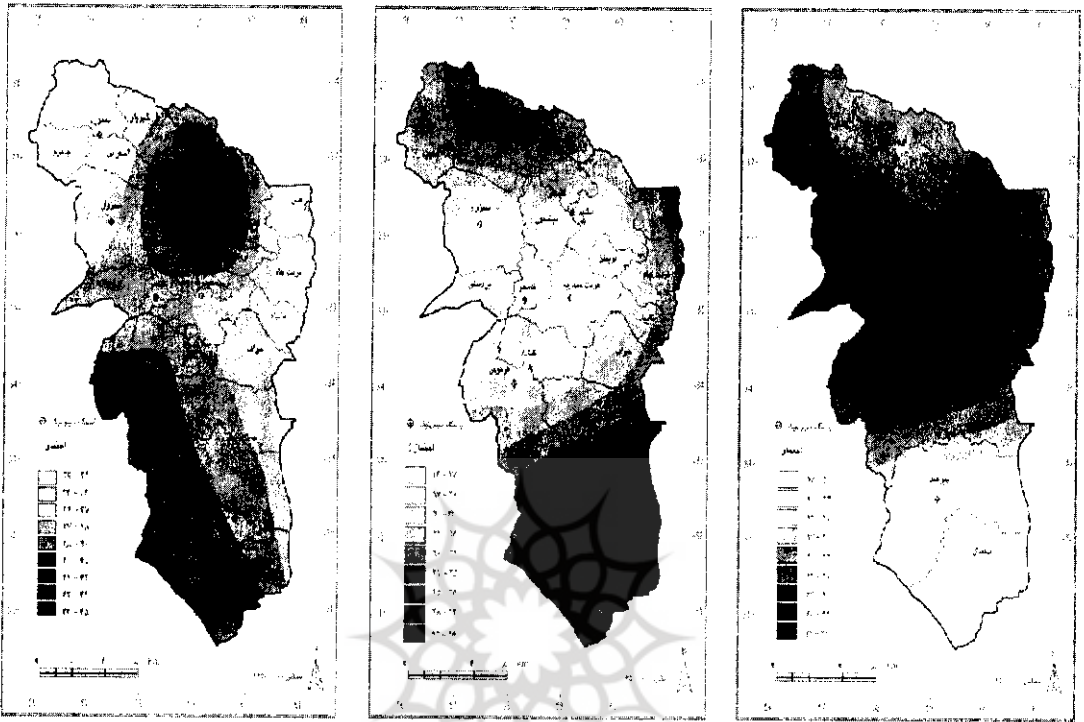
مطابق مدل شرح داده شده، عناصر ماتریس احتمال انتقال تعیین گردید که در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در ۶ ایستگاه از مجموع ۱۱ ایستگاه تحت مطالعه پایداری، خشکسالی بیشتر از سایر حالتها بوده است. این ۶ ایستگاه شامل سبزوار با پایداری خشکسالی معادل $53/8$ درصد، سرخس با پایداری $41/7$ درصد، فردوس $41/7$ درصد، کاشمر $38/5$ درصد، گل‌مکان $36/4$ درصد و مشهد $42/9$ درصد می‌باشد. همچنین با ضرب کردن متوالی این ماتریسها در خود، احتمالات معادل در درازمدت محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که عنوان شد، این احتمالات بیانگر درصد زمانی است که پدیده موردنظر به وقوع پیوسته است. مطابق این جدول، درصد زمان وقوع خشکسالیها در تربت‌حیدریه، فردوس، کاشمر، گل‌مکان و مشهد، از سایر حالتها بیشتر بوده است.

نظر به اینکه ماتریس احتمال انتقال در این مدل تنها وضعیت یک سال آینده را با توجه به شرایط فعلی مشخص می‌نماید، با یک بار ضرب کردن این ماتریس در خود، احتمالات مختلف برای سال ۲۰۰۴ محاسبه و نقشه‌های پهنه‌بندی احتمال برای این سه وضعیت رسم گردید که نتایج حاصل در جدول ۳ ارائه شده است.

مطابق نتایج به دست آمده از مدل، به نظر می‌رسد که احتمال وقوع خشکسالی در مناطق مرکزی استان بویژه شهرستانهای تربت‌حیدریه و سبزوار، به ترتیب با احتمالات $46/7$ درصد و 45 درصد، از سایر نواحی بیشتر است و احتمال وقوع سالی مرطوب در منطقه مشهد و گل‌مکان و نواحی شمالی استان (منطقه بجنورد و قوچان) و مناطق جنوبی و شهرهای بیرجند و نهبندان بیشتر است.

همان‌طور که در جدولهای احتمالات انتقال مشخص است، این احتمالات در مجموع، دارای محدوده کمی هستند و اختلاف آنها خیلی زیاد نیست. این ویژگی با ضرب کردن مکرر ماتریس در خودش بیشتر تقویت می‌شود، به نحوی که در بعضی از ایستگاهها احتمال خشکسالی و ترسالی بسیار به هم نزدیک شدند. لذا، به نظر می‌رسد برای استفاده از این مدل، به داده‌های طولانی مدت آماری نیاز است و کاربرد این مدل برای داده‌های بارندگی روزانه یا ماهانه، نتایج رضایت‌بخش تری را ارائه می‌نماید.

نقشه ۱ پهنه‌بندی احتمال وقوع وضعیتهای مختلف آب و هوایی استان خراسان در سال ۲۰۰۴



ج- وضعیت مرطوب

ب- وضعیت نرمال

الف- وضعیت خشکسالی

جدول ۱ ماتریس احتمال انتقال در ایستگاههای سینوپتیک استان خراسان

بیرجند

خشک	نرمال	مرطوب	
۰/۰۹۱	۰/۵۴۵	۰/۳۶۴	مرطوب
۰/۱۴۶	۰/۴۱۷	۰/۱۶۷	نرمال
۰/۳۳۳	۰/۱۱۱	۰/۵۵۶	خشک

بجنورد

خشک	نرمال	مرطوب	
۰/۱۸۲	۰/۴۵۴	۰/۲۶۴	مرطوب
۰/۵۴۵	۰/۱۸۲	۰/۲۷۳	نرمال
۰/۱	۰/۴	۰/۵	خشک

سبزوار

خشک	نرمال	مرطوب	
۰/۳۸۴	۰/۳۰۸	۰/۳۰۸	مرطوب
۰/۱۶۶	۰/۱۶۷	۰/۶۶۷	نرمال
۰/۵۳۸	۰/۰۷۷	۰/۳۸۵	خشک

تربت حیدریه

خشک	نرمال	مرطوب	
۰/۳۰۸	۰/۱۵۴	۰/۵۳۸	مرطوب
۰/۶	۰	۰/۴	نرمال
۰/۵	۰/۲۱۴	۰/۲۸۶	خشک

فردوس

خشک	نرمال	مرطوب	
۰/۳۸۴	۰/۳۰۸	۰/۳۰۸	مرطوب
۰/۲۸۶	۰/۱۴۳	۰/۵۷۱	نرمال
۰/۴۱۷	۰/۱۶۷	۰/۴۱۶	خشک

سرخس

خشک	نرمال	مرطوب	
۰/۲۲۲	۰/۴۴۴	۰/۳۳۴	مرطوب
۰/۳۶۴	۰/۲۷۲	۰/۳۶۴	نرمال
۰/۴۱۷	۰/۳۳۳	۰/۲۵	خشک

کاشمر

خشک	نرمال	مرطوب	
۰/۳۸۴	۰/۲۳۱	۰/۳۸۵	مرطوب
۰/۳۳۳	۰/۳۳۴	۰/۳۳۳	نرمال
۰/۳۸۵	۰/۱۵۴	۰/۴۶۱	خشک

قوچان

خشک	نرمال	مرطوب	
۰/۲۳۱	۰/۳۰۸	۰/۴۶۱	مرطوب
۰/۳۷۵	۰/۱۲۵	۰/۵	نرمال
۰/۳۶۴	۰/۳۶۳	۰/۲۷۳	خشک

گناباد

خشک	نرمال	مرطوب	
۰/۴۱۷	۰/۲۵	۰/۳۳۳	مرطوب
۰/۵	۰	۰/۵	نرمال
۰/۲۵	۰/۴۱۷	۰/۳۳۳	خشک

گلمکان

خشک	نرمال	مرطوب	
۰/۳۸۴	۰/۳۰۸	۰/۳۰۸	مرطوب
۰/۲۵	۰	۰/۷۵	نرمال
۰/۲۶۴	۰/۳۶۳	۰/۲۷۳	خشک

مشهد

خشک	نرمال	مرطوب	
۰/۵	۰/۰۷۱	۰/۴۲۹	مرطوب
۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۵	نرمال
۴۲۹/۰	۰/۱۴۳	۰/۴۲۸	خشک

جدول ۲ احتمالات وضعیتهای مختلف ایستگاههای

سینوپتیک در درازمدت

نام ایستگاه	خشک	نرمال	مرطوب
بجنورد	۲۸/۴	۳۴/۵	۳۷/۱
بیرجند	۲۸/۱	۳۷/۵	۳۴/۴
تربت حیدریه	۴۳/۸	۱۵/۶	۴۰/۶
سبزوار	۴۰/۵	۱۸/۸	۴۰/۷
سرخس	۳۳/۷	۳۴/۷	۳۱/۶
فردوس	۳۷/۵	۲۱/۹	۴۰/۶
قوچان	۳۱/۲	۲۷/۵	۴۱/۳
کاشمر	۳۷/۳	۲۲/۵	۴۰/۲
گلمکان	۳۴/۴	۲۵	۴۰/۶
گناباد	۳۷/۵	۲۵	۳۷/۵
مشهد	۴۳/۸	۱۲/۵	۴۳/۷

جدول ۳ احتمالات وضعیتهای مختلف ایستگاههای

سینوپتیک در سال ۲۰۰۴

نام ایستگاه	خشک	نرمال	مرطوب
بجنورد	۳۳/۲	۳۲/۱	۳۴/۷
بیرجند	۲۰/۸	۳۸/۶	۴۰/۶
تربت حیدریه	۴۶/۷	۱۵/۱	۳۸/۲
سبزوار	۴۵	۱۷/۳	۳۷/۷
سرخس	۳۲/۸	۳۴/۳	۳۲/۹
فردوس	۳۸/۱	۲۲/۲	۳۹/۷
قوچان	۲۹/۹	۳۰/۶	۳۹/۵
کاشمر	۳۶/۷	۲۴	۳۹/۳
گلمکان	۳۲/۸	۲۱/۶	۴۵/۶
گناباد	۴۱	۱۸/۷	۴۰/۳
مشهد	۴۳/۴	۱۲/۷	۴۳/۹

منابع و مآخذ:

۱. حقیقت‌جو، پرویز؛ شاه‌محمدی حیدری (۱۳۸۱): «کاربرد زنجیره مارکف در بررسی خشکسالی و ترمالی منطقه میستان با توجه به دبی رودخانه هیرمند»، کنفرانس بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، زابل.
۲. خزانه‌داری، لیلی، سهیلا جوانمرد، جواد بدایق جمالی و همکاران (۱۳۷۹): «بحران خشکسالی و مدیریت مقابله با آن»، کنفرانس خشکسالی کرمان.
۳. عدل، ایرج (۱۳۶۹): «کاربرد روش استوکاستیک در بررسی احتمالات تأمین آب از دریاچه سد امیرکبیر»، مجله آب، نشریه علمی و فنی آب کشور، شماره ۹، ص ۱ تا ۷.
۴. مقدم، حسین، سهیلا جوانمرد و همکاران (۱۳۷۹): «نوسه راهکارهای مدیریتی بیمه محصولات کشاورزی بر اساس درجه‌بندی مناطق جغرافیایی در شرایط خشکسالی»، کنفرانس خشکسالی کرمان.
- 5- Jimoh, O.D. and Webster, P. (1996): "Optimum order of Markov chain for daily rainfall in Nigeria". J.Hydrol.185,45-69.
- 6- Jimoh, O.D. and Webster, P. (1999): "Stochastic modeling daily rainfall in Nigeria, intra- annual variation of model parameters". J.Hydrol.222, 1-17.
- 7- Maidment, D.R. (1931): Handbook of Hydrology. Chapter 19 in: Analysis and state modeling of Hydrologic time series. Salas, J.D., Engineering research center, Colorado state university, Fort Collins, Colorado, 19.36-19.39.
- 8- Srikantan. R., McMohan. T.A. (2001): "Stochastic generation of annual, Monthly and daily climate data: A review". Hydrology and Earth system sciences 5(4), 653-670.
- 9- Thomas, H.A and Fiering, M. P. (1962): Mathematical synthesis of stream flow sequences for the analysis of river basins by simulation. Chapter 12 in Design of water resources systems. A. Mass, S. Marglin and G. Fair (Eds.), Harvard University press, Cambridge, Massachusetts, USA.
- 10- Thompson, S. A. (1999): "Hydrology for water management, Balkema, Rotterdam Netherlands".
- 11- Thyer, M. A. and Kuczera, G. (1999): "Modeling long-term persistence in rainfall time series, Sydney rainfall case study". Hydrology and water resources symposium, Institution of Engineers, Australia, 550-555.
- 12- Wilhite, D. A. (1986): Drought poling in U.S and Australia. A comparative analysis". Water resources Bulletin 22: 425-438.
- 13- Willhite, D.A. (1987): "The role of government in planning for drought: Wher do we go from here", in D.A. Willhite and W.E. Easterling (eds), Planing for Drought: Toward a Reduction of societal. Vulnerability, Boulder, Co: westview press.