



علوم محیطی

علوم محیطی سال هفتم، شماره چهارم، تابستان ۱۳۸۹
ENVIRONMENTAL SCIENCES Vol.7, No.4, Summer 2010

۳۱-۴۴

بررسی خشکسالی و تحلیل روند دوره‌های خشک کوتاه مدت ایران‌شهر با استفاده از مدل زنجیره مارکف در دوره آماری ۱۳۸۵ - ۱۳۵۹

تقی طاوسی*، محمود خسروی، خالد قادری‌زه

گروه جغرافیای طبیعی و آب و هوا شناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

Assessment of Drought and Trends Analysis of Short-Duration Dry Periods in Iranshahr Region, Using a Markov Chain (1980-2006)

Taghi Tavousi*, Mahmood Khosravi, Khaled Ghaderi Zeh

Department of Physical Geography and Climatology,
Faculty of Geography and Environmental Planning,
University of Sistan and Baluchestan.

Abstract

The purpose of this study is to identify the occurrence of drought events and short-term dry periods in Iranshahr region. The standardized precipitation values are applied for detecting drought in Iranshahr region for the period of 1980-2006. For recognition of short duration dry periods, a Markov chain model was used. The daily data were classified into two groups; wet days (precipitation equal or more than 0.1mm) and dry days (precipitation less than 0.1mm). The frequency of wet and dry periods and the probabilities of the duration of each wet and dry period and its return periods were calculated. The analysis of droughts has shown that the frequency of drought periods in the initial years of statistical period is fewer and that they have less regularity. After 1998, not only the drought frequency but also its intensity and duration is increased. The probability of two successive wet or dry days, the differences of simple and climatic probabilities of wet and dry days was determined. The results showing that significant differences do not exist between simple and climatic probabilities of wet and dry short duration periods. The frequency of dry days is observed in all months. The monthly average of dry duration is 25 or more days.

Keywords: Standardized precipitation values, Dry days, Climatic probabilities, Markov model.

چکیده

هدف این پژوهش شناسایی رخداد خشکسالی و بررسی کوتاه مدت وقوع دوره‌های خشک ایران‌شهر می‌باشد. برای بررسی خشکسالی، نمره استاندارد بارش سالانه (Z) ایران‌شهر طی سال‌های (۱۳۸۵ - ۱۳۵۹)، به کار گرفته شد. برای شناخت دوره‌های خشک کوتاه مدت، مدل زنجیره مارکف مرتبه اول دو حالت استفاده گردید. روزهای سال به دو گروه، «روزهای تر» (بارش ≥ 0.1 میلی‌متر و بیشتر) و «روزهای خشک» (بارش کمتر از 0.1 میلی‌متر) تقسیم شد. پس از تعیین فراوانی روزهای «تر» و «خشک»، احتمالات ساده و اقلیمی طول هر یک از دوره‌های تر و خشک و چرخه هوایی آن‌ها محاسبه و دوره بازگشت آن‌ها مشخص گردید. تحلیل خشکسالی‌ها نشان داد که تکرار دوره‌های خشکسالی در سال‌های اول دوره آماری کمتر و از نظم بیشتری برخوردار بوده است. از سال ۱۳۷۷ به بعد نه تنها فراوانی خشکسالی‌ها بلکه طی سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۵ شدت و تداوم آن‌ها افزایش یافته است. سپس مقدار احتمال دو روز پیاپی خشک یا تر، اختلاف بین احتمالات ساده و اقلیمی وقوع روزهای تر و خشک تعیین گردید. ولی بین احتمالات ساده و احتمالات اقلیمی دوره‌های خشک و تر کوتاه مدت برای ایستگاه مورد مطالعه اختلاف قابل توجهی مشاهده نشد. در مجموع فراوانی روزهای خشک در تمامی ماه‌ها مشاهده شد و متوسط روزهای خشک بیست و پنج روز و بالاتر بدست آمد.

کلید واژه‌ها: نمره استاندارد بارش، روزهای خشک، احتمال اقلیمی، مدل مارکف.

* Corresponding author. E-mail Address: t_tavousi@yahoo.com

مقدمه

موقعیت جغرافیایی ایران شهر در جنوب شرق کشور، در استان سیستان و بلوچستان که از مناطق کم بارش کشور به شمار می‌رود، خشکی را از ویژگی‌های آب و هوایی آن ساخته است. پیش بینی پدیده‌های جوی به ویژه بارندگی به صورت مدل‌های آماری امکان پذیر است. بررسی‌های آماری به روش‌های مختلف تحلیل سری‌های زمانی، همبستگی خطی و غیرخطی، مدل‌های ARIMA و استفاده از توزیع‌های آماری شناخته شده نظیر توزیع نرمال، گمبل، پیرسون و... انجام می‌گیرد (Yosefi, 2007). مطالعات زیادی از روش تحلیل داده‌های بارندگی با استفاده از روش شاخص استاندارد بارندگی (Standard Precipitation Index) یا شاخص (SPI) و نیز الگوی زنجیره مارکف صورت گرفته است. شاخص (SPI) به وسیله (Mckee et al., 1993) معرفی شد. آنها برای اینکه بتوانند کمبود بارندگی را در دوره‌های زمانی چندگانه مورد بررسی قرار دهند، این شاخص را تعریف کردند. در میان روش‌های آماری، زنجیره مارکف در علوم جوی در سال‌های اخیر مورد توجه جدی قرار گرفته است. زنجیره مارکف، روش‌های ساده ریاضی حل احتمالات مربوط به فرآیندهای وابسته را بسیار آسان نموده است. مدل مارکف در علوم گوناگونی مانند هواشناسی، اقلیم‌شناسی، اقتصاد، صنعت و پزشکی کاربرد وسیعی دارد. متداول‌ترین روش برای بررسی فراوانی دوره‌های خشک و مرطوب زنجیره مارکف است. در این مدل احتمال وقوع یک حالت اقلیمی در زمان t بر اساس وضعیت آن در زمان قبل ($t-1$) پیش بینی می‌شود (Alizadeh, 2001). پژوهندگان بسیاری در داخل و خارج از کشور از این مدل استفاده کرده‌اند.

برای مثال: مدل مارکف درجه ۱ با تبدیل Wilson -

Hilferty جهت تولید داده‌های رودخانه به کار گرفته شده است (Thomas et al., 1962). هم‌چنین برای محاسبه احتمالات دوره‌های خشک زمان رشد محصول (در دهلی نو) از این مدل استفاده شده است (victor et al., 1979). از احتمالات مارکف، برای پهنه بندی طول دوره‌های خشک و تر اسپانیا بهره برده اند (Martin-Vide et al, 1999) و گروهی از پژوهشگران نیز به کمک مدل زنجیره مارکف و بر اساس فراوانی دوره‌های خشک و مرطوب، اقلیم اسپانیا را طبقه‌بندی کرده‌اند (Alijani, 2005). در استرالیا بارش روزانه در مقیاس زمانی مختلف با مدل مارکف مورد بررسی قرار گرفته توانایی این مدل در بر آورد، دوره‌های خشک و تر کوتاه مدت با توجه به ویژگی‌های بارش در مکان خاص اثبات گردید (Mehrota et al., 2007). در کشور بلغارستان، تداوم دوره‌های خشک و تر ایستگاهی (Berger et al., 1983) و در ایتالیایی، ارزیابی دوره‌های خشک (Selesh et al., 2006) بر پایه زنجیره مارکف تحلیل شده است. جهت پایش خشکسالی در جنوب پرتقال، شاخص SPI با این الگو بررسی شده است (Paulo et al., 2007).

در کشور ایران نیز از مدل زنجیره مارکف برای تحلیل رفتارهای اقلیمی استفاده شده است. نمونه‌های آن را می‌توان در بررسی دوره‌های کوتاه خشک و تر بابل (Meshkati, 1984)، نوسانات اقلیمی استان کردستان (Ghademarzi, 2001)، تبیین خشکسالی استان خراسان (Ashgar Toosi et al., 2003)، دوره‌های خشک کوتاه مدت خراسان (Hejazizadeh et al., 2005)، احتمال وقوع خشکسالی منطقه شرق و جنوب شرق ایران (Daneshvar et al., 2006)، تعیین دوره‌های تر و خشک تهران (مهرآباد) (Kardavani, 2006) و دوره‌های بارش استان اردبیل ذکر کرد (Delara, 2008).

مواد و روش‌ها

جهت بررسی شرایط خشکسالی منطقه مورد مطالعه، مجموع بارش ۲۷ ساله ایستگاه سینوپتیک ایرانشهر طی دوره آماری (۱۳۸۵-۱۳۵۹) به نمره استاندارد بارش (Z) تبدیل شد و بر پایه شاخص استاندارد بارندگی (SPI) خشکسالی‌ها تحلیل گردید. این شاخص از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Z = \frac{Xi - \bar{X}}{S} \quad \text{رابطه (۱)}$$

Z = نمره استاندارد بارندگی

Xi = بارش در زمان مشخص

\bar{X} = میانگین بارش

S = انحراف معیار

مطالعه این ویژگی‌ها به روش مارکف اختصاص یافت. در این روش نیز داده‌های بارش روزانه ۲۷ ساله ایستگاه سینوپتیک ایرانشهر در تمام ماه‌ها و فصول سال با استفاده از مدل زنجیره مارکف مرتبه اول (دو حالت) مورد بررسی قرار گرفتند. استفاده از این مدل به شرح زیر بیان می‌شود:

رابطه (۲)

$$Pr\{x_{t+1}|x_t, x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_1\} = Pr\{x_{t+1}|x_t\}$$

وجود رابطه فوق و یا انطباق زنجیره مارکف به سری داده‌ها با آزمون کای ۲ بررسی شد (Ghaderi zeh, 2008).

برازش داده‌ها بر زنجیره مارکف

برآورد ماتریس احتمال، مشخص کردن مقدار احتمال یک حالت به کلیه حالت‌های ممکن است. در زنجیره مارکف (P) مرتبه اول (دو حالت) می‌تواند به این صورت می‌باشد: در این ماتریس روز خشک با (o) و روز مرطوب با (۱) نشان داده شده است. جمله P_{11} یعنی احتمال روز مرطوب پس از روز مرطوب و جمله P_{00} یعنی احتمال روز خشک پس از روز خشک دیگر می‌باشد. جهت برازش داده‌ها بر زنجیره مارکف مرتبه اول دو حالت ابتدا ماتریس یا جدول توافقی شمارش فراوانی انتقال‌ها را بصورت رابطه ۳ تشکیل شد (Ghaderi zeh, 2008).

رابطه (۳)

$$\begin{matrix} n_{10} & n_{11} \\ n_{01} & n_{00} \\ \downarrow \\ p = \begin{bmatrix} 1-p & p \\ q & 1-q \end{bmatrix} \longrightarrow q = P_{10} \quad P_{01} = p \end{matrix}$$

با مشخص شدن عناصر ماتریس، احتمال انتقال برخی از خصوصیات مهم هم‌چون احتمالات اقلیمی و... بدست

جدول ۱- توصیف کیفی خشکسالی و ترسالی بر اساس شاخص نمره استاندارد بارندگی

نمره استاندارد بارش (z)	توصیف کیفی خشکسالی و ترسالی
$Z < -1.75$	ترسالی بسیار شدید
$-1.25 < Z < -0.75$	ترسالی شدید
$-0.75 < Z < -0.25$	ترسالی متوسط
$0.25 < Z < 0.75$	ترسالی ضعیف
$-0.25 < Z < 0.25$	نرمال
$0.75 < Z < 1.25$	خشکسالی ضعیف
$1.25 < Z < 1.75$	خشکسالی متوسط
$1.75 < Z < 2.25$	خشکسالی شدید
$Z > 2.25$	خشکسالی بسیار شدید

از آن‌جا که در تحقیقات اقلیمی بویژه اقلیم کشاورزی علاوه بر شناخت خشکسالی‌ها، پی بردن به رفتار دوره‌های تر و خشک کوتاه مدت چند روزه تا چند هفته‌ای، احتمالات وقوع این دوره‌ها و محاسبه دوره برگشت موسم‌های تر و خشک از اهمیت بالایی برخوردار است، لذا بخش مهمی از تحقیق حاضر به

آمد که نتایج آن‌ها در جدول (۵) آورده شده است. روابط زیر برای محاسبه برخی از ویژگی‌ها به شرح زیر می‌باشد:

- احتمالات ساده وقوع روزهای خشک و تر در هر ماه (از تقسیم روزهای تر یا خشک هر ماه بر تعداد روزهای همان ماه)

- احتمالات اقلیمی که نشان دهنده درصد دوره خشک و تر است از روابط زیر بدست می‌آید:

رابطه (۴) - Π_1 - احتمال ساکن وقوع روز تر

$$\Pi_1 = \frac{P}{P+Q}$$

رابطه (۵) - Π_0 - احتمال ساکن وقوع روز خشک

$$-\Pi \Pi_0 = \frac{Q}{p+Q} = 1$$

- امید ریاضی یا طول دوره‌های تر و خشک از روابط زیر بدست می‌آید:

رابطه (۶) - برآورد طول دوره خشک

$$E_0 = \frac{1}{1-p_{00}}$$

رابطه (۷) - برآورد طول دوره تر

$$E_1 = \frac{1}{1-p_{11}}$$

چرخه هوایی نشان‌دهنده یک موسم تر و یک موسم خشک متوالی است که از جمع طول دوره‌های خشک و تر بدست می‌آید:

رابطه (۸) - چرخه هوایی

$$E_c = E_0 + E_1$$

- تعیین میانگین روزهای تر و خشک در هر ماه با استفاده از روابط زیر بدست می‌آید:

رابطه (۹) - تعیین میانگین روزهای خشک

$$r_0 = n * \Pi_0$$

رابطه (۱۰) - تعیین میانگین روزهای تر

$$r_1 = n * \Pi_1 = n - r_0$$

برآورد دوره‌های خشک n روزه در طول دوره مورد مطالعه از روابط زیر به دست می‌آید:

$$D_n = 1 + \frac{(n-m)}{n}$$

رابطه (۱۱) - تعیین دوره‌های خشک (Wilks, 1995)

- نتایج دوره‌های برگشت هریک از این دوره‌ها از رابطه زیر بدست آمده است:

رابطه (۱۲) - تعیین برگشت موسمی‌های خشک

$$P(D^n) = p_{00}n - 1 * P_{01}$$

رابطه (۱۳) - احتمال برگشت موسمی‌های خشک

$$T = \frac{1}{P}$$

نتایج

در این پژوهش با تبدیل بارش سالانه ایران‌شهر به نمره استاندارد بارش (Z)، خشکسالی‌های دوره آماری مورد مطالعه بررسی و تحلیل شد. بارش روزانه نیز روی مدل زنجیره مارکوف اعمال و نتایج زیر بدست آمد:

- در شهرستان ایران‌شهر در ماه‌های مختلف و تمام فصول سال احتمال وقوع دو روز متوالی خشک بیشتر از احتمال وقوع دو روز تر متوالی است. بطوری که احتمال وقوع دو روز خشک متوالی هیچ‌گاه کمتر از ۸۵٪ درصد کمتر نیست.

- مقایسه احتمالات ساده وقوع روزهای خشک و تر در ماه‌ها و فصول مختلف سال با احتمالات اقلیمی نشان داد که اختلافات بسیار جزئی بین آن‌ها وجود دارد که در اکثر موارد از ۱٪ بیشتر نیست.

- بیشترین تعداد فراوانی روزهای خشک در دوره زمانی مورد مطالعه ماهانه بیست و پنج روز و بالاتر از آن است.

- بررسی چرخه هوایی در ماه‌ها و فصول مختلف در طی سال‌های مورد مطالعه نشان داد که کمینه و بیشینه ماهانه چرخه هوایی مربوط به مهر ماه با ۲۵۱ روز و اسفند با ۱۴ روز می‌باشد.

- با توجه به جداول مربوط به فراوانی دوره‌های خشک و تر برآورد شده توسط مدل، صحت و دقت بالای مدل زنجیره مارکوف در بررسی این دوره‌ها در منطقه مورد

مطالعه اثبات می‌گردد.

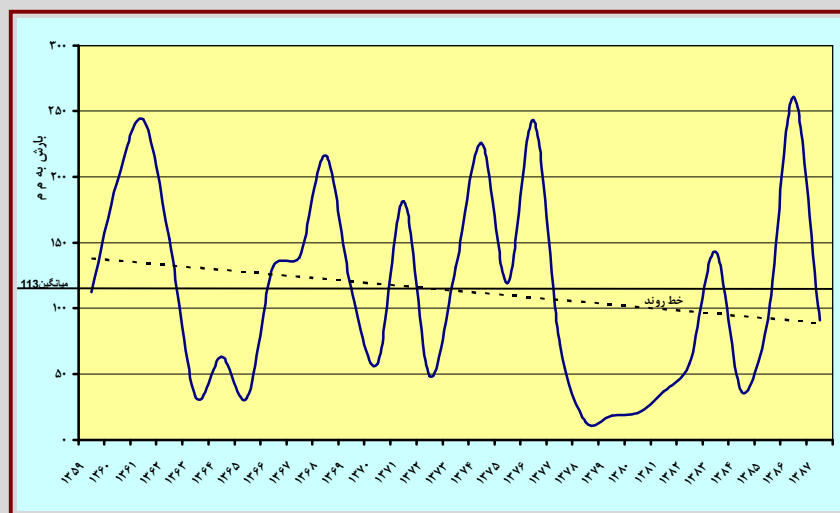
- نتایج این پژوهش نشان داد که دوره‌های خشک کوتاه مدت در ایستگاه انتخابی در همه ماه‌های سال به جز شهریور و مهرماه از بیشترین فراوانی برخوردار است و به تدریج با طولانی‌تر شدن دوره‌ها، از تعداد فراوانی‌های مربوطه کاسته شده، این کاهش فراوانی‌ها از دوره‌های خشک یک روزه تا دوره خشک ۸ روزه روند نزولی و کاهشی را نشان می‌دهد.

بحث

تحلیل خشکسالی‌های منطقه

با توجه به نتیجه بدست آمده از پردازش داده‌های بارش سالانه ایستگاه سینوپتیک مورد نظر و با توجه به توصیف کیفی تعیین شده در جدول شماره ۱ شرایط اقلیمی منطقه طی دوره مورد مطالعه مشخص شد که نتایج آن در جدول شماره ۲ خلاصه شده است. نتایج این جدول بیانگر آن است که در این منطقه در دوره مورد مطالعه، میانگین بارش شهرستان ایرانشهر در حدود ۱۰۸ میلی‌متر

است که بیشترین آن به ترتیب در فصل زمستان، بهار، تابستان و پاییز می‌بارد. از لحاظ شدت خشکسالی، بیشترین فراوانی خشکسالی از نوع خشکسالی ضعیف با ۵ بار تکرار و بعد از آن خشکسالی متوسط با ۴ بار تکرار و خشکسالی شدید با ۳ بار تکرار می‌باشند. تداوم دوره‌های خشکسالی در منطقه متفاوت بوده است به طوری که تداوم چهار سال و بیشتر را که مربوط به سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۲ بوده را تجربه کرده است ولی بیشترین تداوم مربوط به تداوم‌های یک و دو ساله بوده است. نتایج حاصل از بررسی دامنه خشکسالی و ترسالی منطقه که بیانگر شدت و ضعف میزان دریافت بارش می‌باشد، نشان داد که سال‌های ۱۳۵۹ تا ۱۳۷۶ سال‌هایی بودند که میانگین بارندگی در اکثر سال‌ها بالاتر از حد نرمال سالانه (۱۰۸ میلی‌متر) بوده است. بطوری که بیشترین ترسالی‌های با شدت بالا در بین این سال‌ها اتفاق افتاده است. روند خشکسالی خصوصاً در ده ساله اخیر روند رو به افزایش چه از نظر فراوانی و چه از نظر شدت خشکسالی نشان می‌دهد (شکل شماره ۲).



شکل ۲- نمودار تغییرات بارش سالانه نسبت به میانگین درازمدت و روند آن در

ایستگاه سینوپتیک ایرانشهر طی دوره آماری ۱۳۵۹ - ۱۳۸۷

جدول ۲- بررسی وضعیت خشکسالی و ترسالی ایستگاه سینوپتیک اراش شهر (۱۳۸۵ - ۱۳۵۹)

شاخص بارندگی						
شاخص توزیع استاندارد						
ردیف	سال	مقدار بارندگی	نمره توزیع استاندارد	ترسالی	خشکسالی	توصیف کیفی
۱	۱۳۵۹	۱۱۲/۲	۰/۵	-	-	نرمال
۲	۱۳۶۰	۲۰۰	۱/۲۶	۱	-	ترسالی شدید
۳	۱۳۶۱	۲۴۳/۷	۱/۸۵	۱	-	ترسالی بسیار شدید
۴	۱۳۶۲	۱۵۲/۲	۰/۶۰	۱	-	ترسالی ضعیف
۵	۱۳۶۳	۳۳/۵	-۱/۰۱	-	۱	خشکسالی متوسط
۶	۱۳۶۴	۶۳/۳	-۰/۶۱	-	۱	خشکسالی ضعیف
۷	۱۳۶۵	۳۲/۲	-۱/۰۳	-	۱	خشکسالی متوسط
۸	۱۳۶۶	۱۳۱/۹	۰/۳۲	۱	-	ترسالی ضعیف
۹	۱۳۶۷	۱۳۹/۱	۰/۴۲	۱	-	ترسالی ضعیف
۱۰	۱۳۶۸	۲۱۶/۲	۱/۴۸	۱	-	ترسالی شدید
۱۱	۱۳۶۹	۱۱۵/۵	۰/۱	-	-	نرمال
۱۲	۱۳۷۰	۵۷/۷	-۰/۶۸	-	۱	خشکسالی ضعیف
۱۳	۱۳۷۱	۱۸۱/۶	۱	۱	-	ترسالی متوسط
۱۴	۱۳۷۲	۴۸/۷	-۰/۸۱	-	۱	خشکسالی متوسط
۱۵	۱۳۷۳	۱۳۱/۲	۰/۳۱	۱	-	ترسالی ضعیف
۱۶	۱۳۷۴	۲۲۵/۶	۱/۶	۱	-	ترسالی شدید
۱۷	۱۳۷۵	۱۱۹/۲	۰/۱۵	-	-	نرمال
۱۸	۱۳۷۶	۲۴۲/۸	۱/۸۴	۱	-	ترسالی شدید
۱۹	۱۳۷۷	۷۳/۸	-۰/۴۶	-	۱	خشکسالی ضعیف
۲۰	۱۳۷۸	۱۳/۵	-۱/۳۰	-	۱	خشکسالی شدید
۲۱	۱۳۷۹	۱۶/۴	-۱/۲۵	-	۱	خشکسالی شدید
۲۲	۱۳۸۰	۱۸/۵	-۱/۲۵	-	۱	خشکسالی شدید
۲۳	۱۳۸۱	۳۶/۹	-۰/۹۷	-	۱	خشکسالی متوسط
۲۴	۱۳۸۲	۵۷/۸	-۰/۶۸	-	۱	خشکسالی ضعیف
۲۵	۱۳۸۳	۱۴۳	۰/۴۷	۱	-	ترسالی ضعیف
۲۶	۱۳۸۴	۳۶/۳	-۰/۹۷	-	۱	خشکسالی متوسط
۲۷	۱۳۸۵	۹۱/۵	-۰/۲۲	-	-	نرمال

خصوصیات دوره‌های خشک

درصد ممکنه یعنی صفر برای آن‌ها بدست آمده است سایر ماه‌های سال در دوره مورد مطالعه یک نوسان عمده در به احتمال وقوع پیوستن دو روز تر متوالی مشاهده می‌شود. نتایج ارائه شده تا این قسمت وضعیت ماهانه ایستگاه را از نظر دوره خشک و تر نشان داد.

جهت شناسایی احتمال‌های شرطی مرتبه اول برای فصول مختلف سال احتمال وقوع P_{00} و P_{11} بصورت میانگین سه ماهه برای هر فصل جداگانه در جدول ۴ آمده است. طبق جدول احتمال وقوع P_{00} برای تمام فصل‌های سال کمتر از ۹۰٪ درصد نیست چنان‌که کمینه آن به میزان ۹۱٪ درصد در فصل زمستان و بیشینه آن ۹۸٪ درصد در فصل تابستان روی داده است. با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه در فصل سرد سال از بادهای غربی و در فصل گرم سال از موسمی‌های جنوب شرقی بارش دریافت می‌کند، ولی به علت نایک‌نواخت بودن بارندگی در بیشتر سال‌ها، ایرانشهر دستخوش اقلیم خشکی است. در واقع با این شرایط نمی‌توان انتظار وقوع دوره‌های مرطوب زیادی را در منطقه داشت. بطور کلی هیچ یک از ماه‌ها و فصل‌های این ایستگاه در کل دوره آماری احتمال بالای ۴۰٪ درصدی برای وقوع P_{11} را تجربه نکرده‌اند. بیشینه احتمال وقوع این وضعیت ۴۰٪ مربوط به ماه اسفند است.

احتمال‌های شرطی زنجیره مارکف مرتبه اول هر دوره خشک و تر در جدول شماره ۳ آمده است. اعداد هر سلول این جدول همانند مدل زنجیره مارکف مرتبه اول دو حالت نوشته شده، بیانگر وقوع حالات مختلف در دوره مورد بررسی است. برای نمونه در ایستگاه ایرانشهر در ماه فروردین احتمال وقوع یک روز خشک بعد از روز خشک (P_{00})، ۹۵٪ است، در حالی که همین حالت برای وقوع (P_{11}) احتمال وقوع روز مرطوب بعد از یک روز مرطوب تنها ۳۴٪ است. در این ایستگاه (P_{10}) چنانچه روز اول مرطوب باشد با احتمال ۶۶٪ در روز بعد از آن شرایط خشکی پدیدار می‌گردد. کمترین میزان احتمال (P_{01}) وقوع حالت مرطوب بعد از یک روز خشک است که در این شرایط در ماه فروردین برای ایستگاه ایرانشهر با احتمال ۴۸٪ / وقوع می‌پیوندد. نتایج ماتریس‌ها نشان می‌دهد که مقادیر P_{00} که بیانگر دو روز خشک متوالی می‌باشد، بین ۹۱ تا ۹۹ درصد در نوسان است. کمینه احتمال وقوع P_{00} به میزان ۹۱ درصد در ماه اسفند و بیشینه احتمال وقوع این حالت در مهر ماه با ۹۹ درصد در طی دوره آماری رخ داده است. در خصوص احتمال وقوع P_{11} که بیانگر دو روز تر متوالی می‌باشد بجز از دو ماه شهریور و مهر که کم‌ترین

جدول ۳ - ماتریس احتمال‌های شرطی مرتبه اول ماهانه ایستگاه سینوپتیک ایرانشهر در طی دوره آماری

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
P_{00}	۰/۹۵۲	۰/۹۷۷	۰/۹۷۸	۰/۹۸۲	۰/۹۶۷	۰/۹۹۱	۰/۹۹۶	۰/۹۸۳	۰/۹۵۴	۰/۹۲۳	۰/۹۲	۰/۹۱
P_{01}	۰/۰۴۸	۰/۰۲۳	۰/۰۲۲	۰/۰۱۸	۰/۰۳۳	۰/۰۰۹	۰/۰۰۴	۰/۰۱۷	۰/۰۴۶	۰/۰۷۷	۰/۰۸۰	۰/۰۹۰
P_{10}	۰/۶۶۲	۰/۷۵	۰/۸۴۳	۰/۷	۰/۸۲۹	۱	۱	۰/۸۱۳	۰/۶۱۲	۰/۶۶۳	۰/۶۵	۰/۶۰۳
P_{11}	۰/۳۳۸	۰/۲۵۰	۰/۱۵۷	۰/۳	۰/۱۷۱	۰	۰	۰/۱۸۷	۰/۳۳۸	۰/۳۳۷	۰/۳۵	۰/۳۹۷

جدول ۴ - ماتریس احتمال‌های شرطی مرتبه اول فصلی ایستگاه سینوپتیک ایرانشهر در طی دوره آماری

فصل	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
p_{00}	۰/۹۶۹	۰/۹۸	۰/۹۷۸	۰/۹۱۸
p_{01}	۰/۰۳۱	۰/۰۲	۰/۰۲۲	۰/۰۸۲
p_{10}	۰/۷۵۲	۰/۸۴۳	۰/۸۲۵	۰/۶۳۹
p_{11}	۰/۲۴۸	۰/۱۵۷	۰/۱۷۵	۰/۳۶۱

احتمالات ساده شرطی و احتمالات اقلیمی

از مقایسه مقادیر احتمالات ساده وقوع روزهای خشک و تر و احتمالات ساکن وقوع روزهای خشک و تر که بیانگر ایام تر و خشک به صورت درصدی است (ستون اول جدول ۵)، مشخص شد اختلافات بسیار جزئی بین آنها وجود دارد. به طوری که بندرت این میزان اختلاف از چند صدم درصد تجاوز می‌کند. بیشینه اختلاف مشاهده شده ماهانه در ایستگاه مورد نظر در ماه تیر به میزان ۰/۰۵ درصد می‌باشد و در ماه‌های خشک دیگر مانند شهریور و مهر هم به همین صورت می‌باشد. بیشینه اختلاف فصلی مشاهده شده در فصل‌های سال و دو دوره گرم و سرد نیز از چند صدم درصد متجاوز نیست. با توجه به اینکه این اختلافات بسیار جزئی بوده لذا می‌توان نتیجه گرفت که روابط مورد استفاده در زنجیره مارکف برای تعیین احتمالات ساده و وقوع روزهای خشک و تر از دقت کافی برخوردار است.

فراوانی وقوع روزهای خشک و تر

فراوانی روزهای خشک و تر بدست آمده در دوره زمانی مورد نظر (ستون سوم جدول ۵) بصورت ماهانه، مشخص می‌سازد که در تمام ماه‌های سال تعداد روزهای خشک کمتر از بیست و پنج روز نیست. بیشترین فراوانی وقوع

روزهای خشک ماهانه به ترتیب مربوط به ماه‌های مهر با ۲۹/۴، شهریور با ۳۰/۷، و خرداد و تیر هر دو با ۳۰/۲۲ روز است. بیشترین فراوانی وقوع روزهای تر به ترتیب مربوط به اسفند با ۴ روز، بهمن با ۳/۳ روز و دی با ۳ روز در ماه می‌باشد. بیشترین فراوانی وقوع روزهای خشک به ترتیب فصول سال تابستان با ۹۱ روز، پاییز ۸۷/۶ روز، بهار با ۸۹/۳ روز و زمستان با ۷۹/۵ روز می‌باشد. بیشترین فراوانی وقوع روزهای تر در فصل‌های سال درست بر عکس وقوع روزهای خشک می‌باشد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که فصل زمستان ۲ تا ۳ برابر سایر فصول سال از بیشترین فراوانی روزهای تر، برخوردار است.

امید ریاضی یا طول میانگین دوره‌های خشک و تر

امید ریاضی دوره‌های خشک یا طول دوره مورد انتظار برای ایستگاه مورد نظر طی دوره آماری در ماه‌های مختلف، به مراتب بیشتر از امید ریاضی دوره‌تر است (جدول شماره ۵). طولانی‌ترین دوره‌های خشک مورد انتظار در ماه‌های مختلف سال مربوط به ماه مهر و بعد از آن شهریور و طولانی‌ترین دوره‌های تر مورد انتظار هم به اسفند تعلق دارد. طولانی‌ترین دوره‌های خشک مورد

انتظار فصلی به فصل تابستان و پس از آن پاییز و طولانی‌ترین دوره‌های تر مورد انتظار به فصل زمستان و پس از آن به بهار تعلق دارد.

مورد بررسی ماکزیمم چرخه هوایی متعلق به فصل تابستان (۵۱/۱۹) و پس از آن فصل‌های پاییز (۴۶/۶۶) و بهار (۳۳/۵۷) قرار دارند. کمینه چرخه هوایی مربوط به فصل زمستان می‌باشد.

چرخه هوایی

از حاصل جمع امید ریاضی دوره‌ها و یا حاصل جمع طول دوره خشک با طول دوره تر چرخه هوایی به دست می‌آید (جدول شماره ۵). بیشینه چرخه هوایی دوره‌های خشک و تر ماهانه در طی دوره آماری مورد مطالعه مربوط به مهرماه با (۲۵۱) و شهریورماه با (۱۱۲/۱۱) می‌باشد. کمینه چرخه هوایی ماهانه به ماه‌های اسفند (۱۲/۷۷) و بهمن (۱۴/۰۴) مربوط می‌شود. در طی فصول

دوره‌های خشک n روزه

در این پژوهش دوره‌های خشک و تر با آستانه تری (۰/۱) مشخص می‌شود و فراوانی آن‌ها از یک تا هشت روز مورد محاسبه قرار گرفته است. موسم‌های خشک و تر کوتاه مدت در طی دوره آماری مورد مطالعه در شهرستان ایرانشهر از بیشترین فراوانی برخوردار هستند، در بررسی جدول مربوط به برآورد موسم‌های خشک و

جدول ۵- ویژگی‌های دوره‌های خشک شهرستان ایرانشهر در طی دوره آماری (۱۳۸۵-۱۳۵۹)

چرخه هوایی	امید ریاضی		فراوانی روزها		احتمالات اقلیمی		احتمالات شرطی		خصوصیات مارکوفی
	E_1	E_0	R_1	R_0	Π_1	Π_0	W/D	W/W	ماه و فصل
۲۲/۳۴	۲۰/۸۲	۱/۵۱	۲/۲	۲۸/۸	۰/۰۷	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۰۷	فروردین
۴۴/۸۱	۴۳/۴۸	۱/۳۳	۰/۹	۳۰/۱	۰/۰۳	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۰۳	اردیبهشت
۴۶/۴۴	۴۵/۴۵	۱/۱۹	۰/۸	۳۰/۲	۰/۰۲۵	۰/۹۷۵	۰/۹۸	۰/۰۲	خرداد
۵۶/۹۹	۵۵/۵۶	۱/۴۳	۰/۸	۳۰/۲	۰/۰۲۵	۰/۹۷۵	۰/۹۸	۰/۰۲	تیر
۳۱/۵۱	۳۰/۳	۱/۲۱	۱/۲	۲۹/۸	۰/۰۴	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۰۴	مرداد
۱۱۲/۱۱	۱۱۱/۱۱	۱	۰/۳	۳۰/۷	۰/۰۰۹	۰/۹۹۱	۰/۹۹	۰/۰۱	شهریور
۲۵۱	۲۵۰	۱	۰/۱	۲۹/۹	۰/۰۰۴	۰/۹۹۶	۰/۹۹۶	۰/۰۰۴	مهر
۶۰/۰۵	۵۸/۸۲	۱/۲۳	۰/۶	۲۹/۴	۰/۰۲	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۰۲	آبان
۲۳/۳۷	۲۱/۷۴	۱/۶۳	۲	۲۸	۰/۰۷	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۰۷	آذر
۱۴/۵	۱۲/۹۹	۱/۵۱	۳	۲۷	۰/۱۰	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۱۰	دی
۱۴/۰۴	۱۲/۱۵	۱/۵۴	۳/۵	۲۶/۵	۰/۱۱	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۱۲	بهمن
۱۲/۷۷	۱۱/۱۱	۱/۶۶	۳/۸	۲۵/۵	۰/۱۳	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۱۳	اسفند
۳۳/۵۷	۱/۳۲	۳۲/۲۵	۳/۷۲	۸۹/۲۸	۰/۰۴	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۰۴	بهار
۵۱/۱۹	۱/۱۹	۵۰	۱/۸۶	۹۱/۱۴	۰/۰۲	۰/۹۸	۰/۹۷۷	۰/۰۲۳	تابستان
۴۶/۶۶	۱/۲۱	۴۵/۴۵	۲/۴	۸۷/۶	۰/۰۲۶	۰/۹۷۴	۰/۹۶۹	۰/۰۰۳۱	پاییز
۱۴/۰۱	۱/۵۶	۱۲/۴۵	۹/۸۲	۷۹/۴۸	۰/۱۱	۰/۸۹	۰/۸۸۶	۰/۱۱۴	زمستان

تر، مشخص است که فراوانی‌های یک روزه و دو روزه در ایستگاه مورد نظر در ماه‌های مختلف سال، فصل‌ها سال از بیشترین فراوانی برخوردارند و به تدریج تا دوره‌های طولانی‌تر از تعداد فراوانی‌های مربوطه کاسته می‌شود. این کاهش در تعداد فراوانی‌های موسمی‌های تر به مراتب از شدت بیشتری برخوردار است. به این ترتیب که از تعداد دوره‌های تر مثلاً ۵، ۶ و ۷ روزه در همه ماه‌های سال و اکثر فصول به شدت کاسته شده و حتی فراوانی این دوره‌ها در اکثر ماه‌ها و فصل‌های سال به صفر می‌رسد. در ایستگاه مورد مطالعه در همه ماه‌ها و فصول سال طول دوره‌ها به صورت عددی افزایش می‌یابد ولی تعداد فراوانی دوره‌ها از دوره یک روزه تا دوره هشت روزه به صورت تصاعدی کاهش می‌یابد.

به طور کلی از ماه‌های خشک و کم بارش به طرف ماه‌های مرطوب بر میزان فراوانی دوره‌های تر و خشک کوتاه مدت افزوده می‌شود. به جز از دو ماه شهریور و مهر به علت شرایط خاصی که دارند در بقیه ماه‌ها تعداد دوره‌های خشک یک و دو روزه بیشتر از تعداد دوره‌های خشک هشت روزه است. در ماه‌های مختلف هر قدر طول دوره خشک طولانی‌تر شود از تعداد فراوانی روزهای خشک کوتاه مدت کاسته می‌شود.

با توجه به بارش در ماه‌های مختلف سال ماه‌هایی که از بیشترین بارندگی طی سال برخوردارند، بیشترین فراوانی دوره‌های خشک در آنها اتفاق می‌افتد. برای مثال در ماه‌های مهر و شهریور که کمترین فراوانی روزهای خشک کوتاه مدت برخوردارند در آنها دوره خشک طولانی‌تر است و بارندگی در این ماه‌ها در بیشتر سال‌های مورد مطالعه صفر می‌باشد. شکل شماره ۳ نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی دوره‌های خشک کوتاه مدت در طی دوره آماری در ماه اسفند و پس از آن ماه‌های بهمن، دی و فروردین قرار دارند که بیشترین بارندگی شهرستان ایرانشهر در این ماه‌ها اتفاق می‌افتد. بیشترین فراوانی یک

روزه دوره‌های خشک کوتاه‌مدت مربوط به اسفندماه با فراوانی ۶۲ روز و کم‌ترین آن مربوط به مهرماه با فراوانی ۴ روز می‌باشد.

ارزیابی دوره برگشت موسمی‌های خشک

دوره برگشت موسمی‌های خشک با استفاده از رابطه ۱۲ و ۱۳ برای ماه‌ها و فصول مختلف محاسبه شد که نتایج آن در شکل‌های شماره ۳ و ۴ آورده شده است. برآوردهای بدست آمده از بازگشت دوره‌های کوتاه‌مدت بیانگر این مطلب است که دوره برگشت موسمی‌های خشک از اصول خاصی پیروی نمی‌کند. همان‌طور که در این دو شکل آمده است برگشت موسمی‌های خشک کوتاه‌مدت ۱ تا ۸ روزه در ماه مهر و شهریور به علت ناچیز بودن بارش در طی سال‌های مورد مطالعه دیرتر از سایر ماه‌های سال و در ماه‌های دی بهمن و اسفند که بارش به بیشترین مقدار خود در شهرستان می‌رسد زودتر اتفاق می‌افتد.

مرداد ماه گرچه در خشک‌ترین و کم‌بارش‌ترین فصل شهرستان ایرانشهر یعنی در فصل تابستان قرار دارد ولی به علت نفوذ توده هوای موسمی از طرف شرق و جنوب شرق بارش‌های رگباری را در شهرستان به دنبال دارد. این خود دلیل برگشت موسمی‌های خشک کوتاه مدت این ماه زودتر از سایر ماه‌های فصل تابستان و بعضی از ماه‌های فصل بهار و پاییز می‌باشد. دوره برگشت موسمی‌های خشک کوتاه مدت ۱ روزه در مهر ماه ۲۵۰ و در اسفند ماه ۱۱ روز برآورد شده است و در ماه‌های فروردین ۲۰، اردیبهشت ۴۳، خرداد ۴۵، تیر ۵۵، مرداد ۳۰، شهریور ۱۱۱، آبان ۵۸، دی ۱۳، و بهمن ۱۲ روز برآورد شده است.

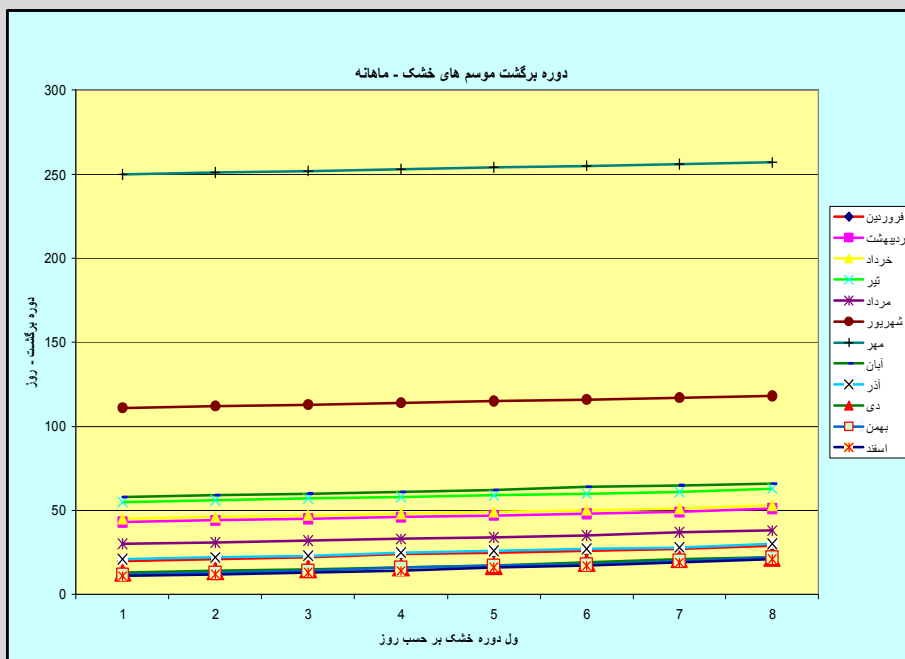
دوره برگشت موسمی‌های خشک کوتاه مدت فصلی در شکل (شماره ۵ - ۳۷) نشان داده شده است. با برآورد و بررسی‌های انجام شده احتمال برگشت دوره‌های خشک کوتاه مدت فصل تابستان که به عنوان

جدول ۶ - فراوانی دوره‌های خشک n روزه ماهانه، فصلی شمارش و برآورد شهرستان ابرانشهر

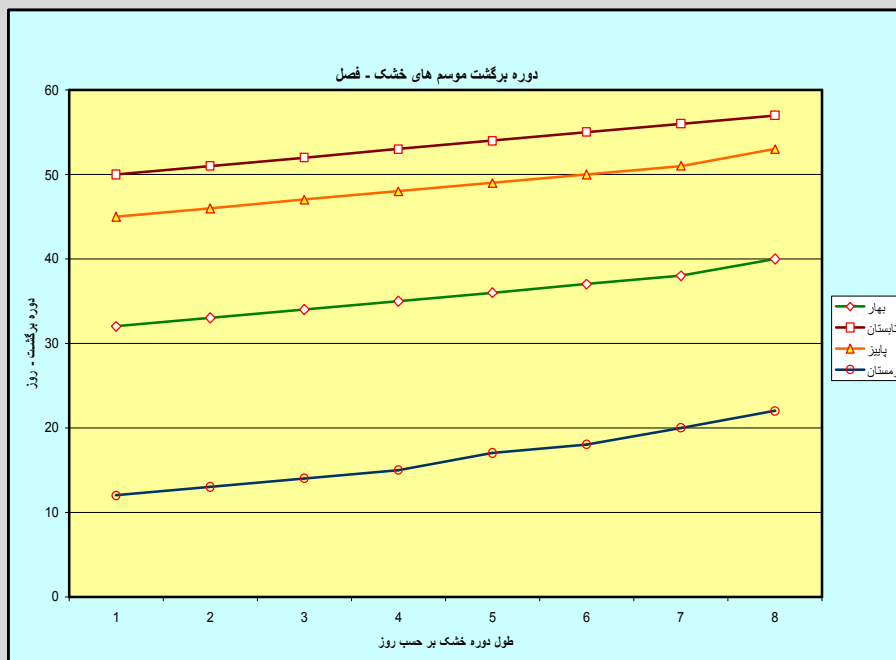
ماه	روزه ۱		روزه ۲		روزه ۳		روزه ۴		روزه ۵		روزه ۶		روزه ۷		روزه ۸	
	شمارش برآورد	شمارش برآورد	شمارش برآورد	شمارش برآورد	شمارش برآورد	شمارش برآورد	شمارش برآورد	شمارش برآورد	شمارش برآورد	شمارش برآورد	شمارش برآورد	شمارش برآورد	شمارش برآورد	شمارش برآورد	شمارش برآورد	شمارش برآورد
فروردین	۳۸	۳۸	۳۳	۳۵	۲۶	۳۴	۲۴	۳۲	۲۲	۳۰	۲۱	۲۹	۱۸	۲۷	۱۲	۲۶
اردیبهشت	۲۱	۲۰	۱۹	۱۹	۱۸	۱۹	۱۷	۱۸	۱۶	۱۸	۱۶	۱۸	۱۵	۱۷	۱۴	۱۷
خرداد	۱۸	۱۸	۱۶	۱۸	۱۶	۱۷	۱۶	۱۷	۱۶	۱۶	۱۶	۱۶	۱۴	۱۶	۱۴	۱۵
تیر	۱۵	۱۵	۱۳	۱۵	۱۳	۱۴	۱۳	۱۴	۱۳	۱۴	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳
مرداد	۲۸	۲۵	۲۱	۲۳	۲۰	۲۳	۱۸	۲۲	۱۷	۲۱	۱۶	۲۱	۱۶	۲۰	۱۶	۱۹
شهریور	۹	۸	۹	۸	۹	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸
مهر	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۳	۳	۳	۳
آبان	۱۵	۱۴	۱۳	۱۴	۱۳	۱۴	۱۱	۱۴	۱۰	۱۴	۱۰	۱۳	۷	۱۳	۷	۱۳
آذر	۳۳	۳۵	۲۸	۳۳	۲۲	۳۲	۱۹	۳۰	۱۹	۲۹	۱۹	۲۸	۱۸	۲۶	۱۶	۲۵
دی	۵۶	۵۷	۵۱	۵۲	۴۵	۴۷	۴۲	۴۴	۳۸	۴۱	۳۴	۳۷	۳۳	۳۴	۳۰	۳۲
بهمن	۵۸	۵۷	۵۳	۵۲	۴۱	۴۷	۳۸	۴۴	۳۴	۴۰	۲۸	۳۷	۲۴	۳۴	۲۰	۳۰
اسفند	۵۹	۶۳	۴۶	۵۷	۴۱	۵۲	۳۸	۴۷	۳۴	۴۳	۲۸	۳۹	۲۴	۳۶	۲۳	۳۳
بهار	۷۷	۷۲	۷۰	۷۰	۶۶	۶۷	۶۴	۶۵	۶۲	۶۳	۶۰	۶۱	۵۶	۵۹	۵۰	۵۷
تابستان	۵۲	۴۷	۴۳	۴۶	۴۲	۴۵	۳۹	۴۴	۳۸	۴۴	۳۷	۴۳	۳۷	۴۲	۳۷	۴۱
پاییز	۵۵	۵۲	۴۹	۵۱	۴۳	۵۰	۳۷	۴۹	۳۶	۴۸	۳۶	۴۷	۳۲	۴۶	۳۰	۴۵
زمستان	۱۷۳	۱۷۲	۱۵۲	۱۵۷	۱۳۶	۱۴۵	۱۲۸	۱۳۳	۱۱۸	۱۲۳	۱۰۷	۱۱۳	۹۷	۱۰۳	۸۹	۹۸

کوتاه‌مدت آن زودتر از سایر فصول سال اتفاق می‌افتد. دوره برگشت موسمی‌های خشک کوتاه مدت ۱ روزه فصل زمستان ۱۲، فصل بهار ۳۲، فصل پاییز ۴۵ و فصل تابستان ۵۰ روز برآورد شده است.

خشک‌ترین و کم بارش‌ترین فصل سال می‌باشد دیرتر از سایر فصول می‌باشد و فصل‌های پاییز و بهار به ترتیب پس از آن قرار می‌گیرند و فصل زمستان که به عنوان پر بارش‌ترین فصل سال می‌باشد دوره‌های خشک و



شکل ۳ - نمودار برگشت موسم های خشک کوتاه مدت - ماهانه ایران شهر



شکل ۴ - نمودار دوره برگشت موسم های خشک کوتاه مدت - فصلی ایران شهر

- Hejazi zadeh, Z. and A.R. Shirkhani (2005). Analyses and statistical prediction and dry spells in Khorasan province. *Geographical research*, 52: 13-31.
- Jafari, K.H. (1998). An analyses of wet and dry spells in some of Iranian climate zones, using markov chain model, MSc thesis in agrometeorology, University of Teheran.
- Jernigan, w. and H. Robert (2003). testing lump ability in markov chain .www. elsevir. com, statistics and probability letters, 6:17-23 .
- Kardavani, P. (2006). A survey on dry and wet spells in Teheran using Markov chain model and synoptic analysis. *Sarzamin Quarterly Journal*, 17: 11-34
- Martin-Vide, J. and L. Gomez (1999). Regionalization of Peninsular Spain Based on the Length of Dry Spells. *International Journal of Climatology*, Int.j.Climatol,19: 537-555.
- Mashkati, M.R. (1984). A survey on dry days occurrence in Babolsar from Bias experimental prespective. *Journal of Water Science*, 3: 31-51.
- McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, January 17–22, Anaheim, California, PP: 179–184
- Paulo, A.A. and L.S. Pereira (2007). Prediction of SPI Drought Class Transitions Using Markov Chains. *Water Resource Management* , 21:1813–1827.
- Seleshi, Y. and P. Camberlin (2006). Recent Changes Alijani, B. (2005). Analyses and Prediction of precipitation in Iarestan region using Markov chain models. *The Iranian Journal of Research in Geography (Quarterly)*, 7 (2):11-34.
- Alizadeh, A. (2001). *Applied Hydrology*. Mashhad: Astan Ghods Razvi press.
- Ashgar Toosi, S.H. and A. Alizadeh (2003). Prediction of drought occurrence probability in Khorasan Province. *The Iranian Journal of Research in Geography (Quarterly)* 70:119-128.
- Berger, A. and C.H.R. Goossens (1983). Persistence of wet and dry spells at Uccle (Belgium). *J. Climatol*, 3:21-24.
- Daneshvar, M.R., A.R. Telvari, M. Tvakoli and M.R. Danaiean (2006). Droughts return periods analyses in South and southeast of Iran. *Pajouhesh Va Sazandegy*,76: 158-166
- Delara, G.H. (2008). Spetial analyses of wet period of year based on Markov chain model: case study Ardabil Province, M.Sc Thesis in climatology, University of Sistan and Baluchestan ,Geography Department.
- Ghaderi zeh, K.H. (2008). A survey on dry and wet spells trends in Iranshahr region (1980-2006) using Markov chain Model, M.Sc thesis in Climatology, University of Sistan nad Baluchestan, Geography Department.
- Ghadermarzi, H. (2001). Analyses and Prediction of Climate fluctuations in Kurdistan using Markov chain model, M.Sc thesis Teaching and training University, Geography Department.

in Dry Spell and Extreme Rainfall Events in Ethiopia. *Theor. Appl. Climatol*, 83:181-191.

Shirkhani, A. (2002). Analyses and statistical prediction and dry spells in Khorasan province, M.Sc thesis Teaching and training University, Geography Department.

Sistan and Baluchestan Meteorological Office (2007). Climatic data of Iranshahr synoptic station, IRIMO.

Wilks, D.S. (1995). *Statistical Methods in the atmospheric sciences, An introduction*. New York: Academic press.

Yousefi, N. (2007). An evaluation of drought probability using Markov chain model and normal distribution (Case study; Ghazvin). *Geographical research*, 60: 121-128

