تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال دهم، شماره ۲، پائیز ۱۳۹۳
Volume 10, No. 2, Fall 2014 (IR-WRR)
۴۴-۵۵

برآورد احتمالات بارش روزانه با استفاده از مدل زنجیره مارکف در اقلیم‌های مختلف ایران

بهرام بختیاری [۱*]، نادیا شهرکی [۲] و محمدمهدی احمدی [۱]

چکیده

برای تجزیه و تحلیل آماری پیشامدهایی که مستقل نبوده و به پیشامدهای قبلی خود وابسته می‌باشند، از زنجیره مارکف استفاده می‌شود. در این مطالعه، احتمالات پیشامدهای متوالی روزهای خشک و تر ۱۵ ایستگاه سینوپتیک کشور با اقالیم مختلف از اقلیم خشک سرد تا مرطوب معتدل با استفاده از روش زنجیره مارکف مورد تحلیل قرار گرفت. برای دستیابی به احتمالات پیشامدهای متوالی روزهای خشک و تر از آمار بارش روزانه ایستگاه‌های کرمان، مشهد، شیراز و بندرعباس طی سال‌های مطالعاتی ۲۰۰۹-۱۹۷۸، ایستگاه‌های تبریز، خرم‌آباد، اصفهان، تهران، زاهدان، اهواز، اردبیل و گرگان طی سال‌های مطالعاتی ۲۰۰۸-۱۹۷۸، ایستگاه زنجان طی سال‌های مطالعاتی ۲۰۰۷-۱۹۷۸، ایستگاه یاسوج طی سال‌های مطالعاتی ۲۰۰۸-۱۹۸۷ و ایستگاه ساری طی سال‌های مطالعاتی ۲۰۰۸-۲۰۰۰ بهره گرفته شد. آمار مزبور بر اساس ماتریس شمارش تغییر حالت روزهای بارانی و فاقد بارش مرتب شده، سپس ماتریس احتمال تغییر وضعیت بر اساس روش درستنمایی بیشینه محاسبه گردید. همچنین نقشه‌های خطوط هم احتمال طول موسم خشک مورد نظر تهیه شدند. نتایج نشان داد که احتمال عدم بارش در ایستگاه‌ها مطالعاتی با اقلیم‌های خشک از ۰/۸۱۱ تا ۰/۹۰۹، با اقلیم‌های نیمه‌خشک از ۰/۶۸۵ تا ۰/۸۴ و با اقلیم‌های معتدل و مرطوب از ۰/۶۹۵ تا ۰/۷۲۸ متغیر می‌باشد.

کلمات کلیدی: زنجیره مارکف، بارش روزانه، مدل‌سازی، نقشه‌های خطوط هم احتمال

تاریخ دریافت مقاله: ۸ تیر ۱۳۹۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۲ خرداد ۱۳۹۳

۱- عضو هیأت علمی بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

*- نویسنده مسئول

Estimation Probability of Daily precipitation by using Markov Chain Models in Different Climates of Iran

B. Bakhtiari [1], N. Shahraki[2] and M. M. Ahmadi [1]

Abstract

The Markov chain used for statistical analysis events that are not independent and are related to their previous events. In this study, events possibility of serial dry and wet days were analyzed by Markov Chain method for 15 synoptic stations with different climates of coldest arid climates to its moderate humid in Iran. For this purpose was used daily precipitation data (1978-2009) for Kerman, Mashhad, Shiraz and Bandar Abbas stations, (1978-2008) for Tabriz, Khorramabad, Isfahan, Tehran, Zahedan, Ahwaz, Ardabil, Gorgan stations, (1978-2007) for Zanjan station, (1987-2008) for Yasouj stations and (2000-2008) for Sari station. These data are arranged according to frequency matrix of rainy days and without rainfall, then probability matrix was calculated by maximum likelihood method. The respectively produced the Probability contour maps during the dry monsoon. In the study stations, results showed that lack of precipitation probability has variable, 0.811- 0.909 in the arid climates, 0.685- 0.84 in the semi-arid climates and 0.695- 0.728 in the moderate and humid climates.

Keywords: Markov Chain, Daily precipitation, Modeling, Probability contour maps.

Received: June 29, 2013

Accepted: June 2, 2014

1- Faculty Member in Department of Water Engineering, College of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: Drbakhtiari@uk.ac.ir

2 - M. Sc. Graduated Student in Water Resources Engineering, Department of Water Engineering , College of Agriculture , Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran, E-mail: Shahraki_n@yahoo.com

*- Corresponding Author

۱- مقدمه

بارش به عنوان یکی از متغیرهای اساسی مؤثر بر منابع آب در ایران، از توزیع زمانی و مکانی بسیار ناموزونی برخوردار است. تغییرپذیری زمانی و مکانی بارش اهمیت ویژه‌ای در ارزیابی منابع آب آبخیزها و مطالعه نسبی منابع آب محلی و منطقه‌ای دارد (میرموسوی و زهره‌وندی، ۱۳۹۰). در زمینه استفاده از مدل زنجیره مارکف جهت تحلیل روزهای خشک متوالی مطالعات زیادی در جهان انجام گرفته است که در اینجا به طور مختصر مورد بررسی قرار می‌گیرند. Bekele (2002) مدل‌سازی زنجیره مارکف برای بررسی اثرات ENSO روی فصول بارندگی اتیوپی را انجام داد. تجزیه و تحلیل این مطالعه با استفاده از تکنیک‌های مدل‌سازی زنجیره مارکف انجام شده است. نتایج نشان داد که مدل‌های زنجیره مارکف دارای همپوشانی مناسبی بوده و همچنین، این روش برای برنامه ریزی کشاورزی نیز بسیار مفید می‌باشد همچنین مشخص شد که تکنیک‌های مدل‌سازی زنجیره مارکف در مطالعه اثرات ENSO بر ویژگی‌های بارش منطقه مورد مطالعه با موفقیت استفاده شده است. Chunale et al. (2003) از مدل زنجیره مارکف برای برنامه‌ریزی کشاورزی در کلهاپور استفاده کردند. آن‌ها احتمال وقوع هفته‌های تر و خشک را به منظور برنامه‌ریزی کشت دیم محصولاتی از قبیل گندم، سویا و سورگوم مورد بررسی قرار دادند. Lennartsson et al. (2008) مدل‌سازی بارش را با استفاده از زنجیره مارکف چندگانه برای ۲۰ ایستگاه در سوئد انجام دادند. این مطالعه روش جدیدی برای مدل‌سازی بارش در سوئد پیشنهاد کرده است. این مدل، زنجیره را وابسته به مدل تصادفی در نظر گرفته است که متشکل از مدل احتمال وقوع بارش در ایستگاه‌های هواشناسی و مدل مقدار بارش در ایستگاه‌ها، هنگام رخداد بارش می‌باشد. در بخش اول، نشان داده شده است که برای بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی در سوئد یک زنجیره مارکف بالاتر از مرتبه اول مورد نیاز است. در بخش دوم، از روش گوسین استفاده شده است. در این روش ترکیبی از توزیع تجربی برای مقادیر بارش کمتر از حد آستانه و توزیع پارتو به منظور تعمیم مقادیر بارندگی بیشتر از حد آستانه استفاده شده است. سپس این مدل برای محاسبه شاخص‌ها استفاده می‌شوند. نتایج توزیع شاخص‌های مدل شده و داده‌های تجربی همپوشانی خوبی نشان داده‌اند، که تأییدی بر صحت انتخاب مدل می‌باشد. Dastidar et al. (2010) از مدل زنجیره مارکف برای شبیه سازی باران‌های موسمی چهار ایستگاه هواشناسی در منطقه بنگال هند استفاده کردند. این محققان از تئوری بیزین برای تعیین مرتبه مدل زنجیره مارکف بهره گرفتند. نتایج نشان داد که مرتبه سوم مدل زنجیره مارکف بهترین توصیف الگوی بارش را برای تمام ایستگاه‌ها به جز یک ایستگاه دارا است. همچنین دقت زنجیره مارکف مرتبه سه یا چهار برای شبیه‌سازی داده‌های بارش از دقت سایر مرتبه‌های زنجیره مارکف بیشتر است. میرموسوی و زهره‌وندی (۱۳۹۰) برای مدل‌سازی احتمالات بارش هفته‌ای ایستگاه هواشناسی نهاوند جهت تحلیل روزهای خشک متوالی از زنجیره مارکف استفاده نمودند. این مطالعه بر مبنای داده‌های روزانه بارش در طول دوره آماری ۲۰۰۹-۱۹۹۳ و با استفاده از تکنیک زنجیره مارکف به انجام رسید. وقوع بارش، مقدار بارش، دوره‌های تر و خشک و دوره بازگشت خشکی‌های متوالی در این تحقیق ارائه شد. Moradi et al. (2011) ویژگی‌های خشکسالی هواشناسی در استان فارس را بررسی کردند. هدف آن‌ها از این پژوهش بررسی و پیش‌بینی شدت، مدت، فراوانی و وسعت خشکسالی در استان فارس بوده است. بدین منظور، از داده‌های بارش در طول دوره آماری ۱۹۹۹-۱۹۶۸ در پنج مقیاس زمانی ۳، ۶ ، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه از ۲۶ ایستگاه واقع در داخل و خارج از استان، استفاده گردید و تحلیل روند با استفاده از تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس پیش بینی تعداد و مدت خشکسالی برای ۱۰ سال بعد از آن انجام گردید و وسعت خشکسالی در سیستم اطلاعات جغرافیایی پهنه بندی گردید. نتایج حاصل نشان داد خشکسالی در جنوب استان از شدت بالاتر و مدت زمان طولانی‌تری برخوردار است . رحیمی و همکاران (۱۳۹۰) به تحلیل آماری دوره‌های تر و خشک بارندگی هفتگی دشت ورامین با استفاده از زنجیره مارکف پرداختند. مطالعه ویژگی‌های مهم مرتبط با دوره‌های تر و خشک کوتاه مدت همچون احتمالات ساده و شرطی، فراوانی روزها، طول دوره‌های تر و خشک و نیز سیکل هفته‌های تر و خشک به کمک زنجیره مارکف مرتبه اول از نتایج مهم این مطالعه است. Bigdeli and Eslami (2010) از داده‌های بارش روزانه‌ی رشت برای یک دوره ۱۱ ساله برای تجزیه و تحلیل دوره‌های تر و خشک فصول بهار و تابستان با استفاده از مدل زنجیره مارکف بهره جستند. نتایج نشان داد که در فصل تابستان تعداد روزهای خشک بیش از روزهای تر بود. همچنین احتمال وقوع دو روز پی در پی خشک بیش از تعداد روزهای مرطوب در فصل تابستان می‌باشد. عساکره (۱۳۷۸) تواتر و تداوم روزهای بارانی شهر تبریز را با استفاده از تکنیک زنجیره مارکف به صورت ماهانه تحلیل نمود. به این نتیجه رسید که بیشترین احتمال وقوع روزهای بارانی طی بهار بوده است. رجبی و همکاران (۱۳۸۶) شبیه‌سازی رفتار احتمالی سری زمانی شاخص بارش استاندارد با مدل زنجیره مارکف را برای هشدار خشکسالی‌های استان فارس انجام دادند. شاخص بارش استاندارد را به منظور بررسی خشکسالی‌های استان فارس، با استفاده از داده‌های بارش ۲۶ ایستگاه واقع در داخل و خارج استان با طول دوره آماری

مشترک ۳۲ سال در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه محاسبه کرده‌اند. در نهایت وضعیت دراز مدت منطقه از نظر دوام خشکسالی‌ها و نیز طول مدت خشکسالی‌ها در ۱۰ سال آینده پیش‌بینی گردید. طالشی (۱۳۸۴) با کمک زنجیره مارکف به مدل‌سازی بارش سالانه ایران پرداخت که نتیجه کار وی طبقه بندی ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس وضعیت اقلیمی به سه گروه بود. جعفری بهی (۱۳۷۸) به کمک زنجیره مارکف احتمالات پیشامدهای متوالی روزهای خشک و تر با آستانه ۰/۱ میلی‌متر در روز را برای ماه‌های نوامبر تا آوریل سال های ۱۹۹۵– ۱۹۶۵ را در ایستگاه‌های بوشهر، شیراز، اصفهان، کرج و بندر انزلی تحلیل نمود و نتیجه گرفت که داده‌های بارندگی روزانه ایستگاه‌های مورد مطالعه برازش خوبی بر زنجیره مارکف مرتبه اول دارد. در یک جمع‌بندی کلی از منابع موجود مشخص گردید که مدل‌سازی بارش‌ها در مقیاس زمانی روزانه، در ایستگاه‌های مطالعاتی انجام نپذیرفته است. لذا در این مطالعه با توجه به اهمیت منابع آب در اقالیم مختلف و وقوع خشکسالی‌های اخیر، به تعیین احتمال وقوع بارش‌های روزانه، استخراج دوره‌های تر و خشک و بدست آوردن خشکی‌های متوالی با استفاده از مدل زنجیره مارکف و اطلاعات این ایستگاه‌های سینوپتیک پرداخته شده است.

۲- مواد و روش‌ها

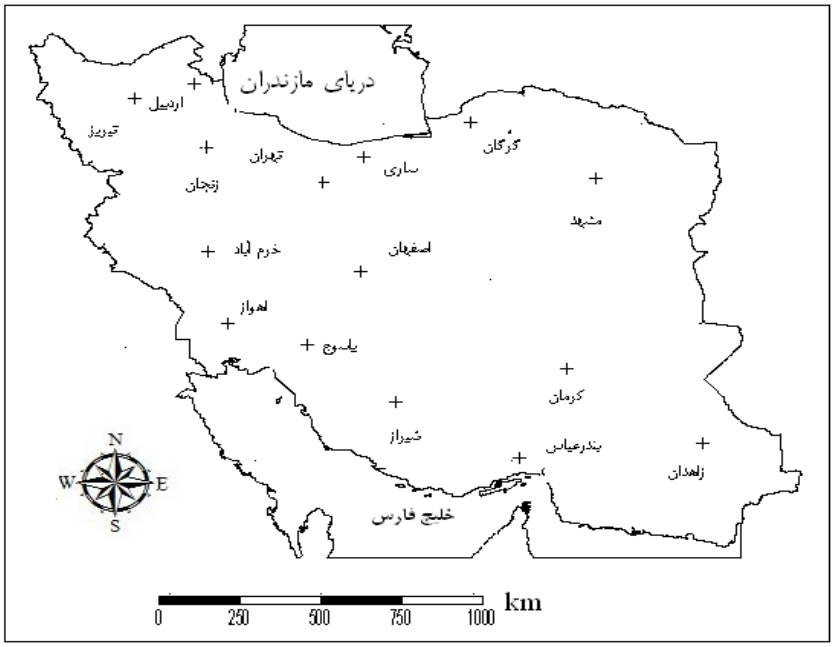
۲-۱- مناطق و داده‌های مورد استفاده

در بررسی حاضر، از آمار بارش روزانه ایستگاههای سینوپتیک کرمان، مشهد، تبریز، خرم آباد، شیراز، زنجان، اصفهان، تهران، زاهدان، بندرعباس، اهواز، اردبیل، گرگان، یاسوج و ساری استفاده شده است. دلایل انتخاب این ایستگاه‌ها، پراکنش آن‌ها در اقلیم‌های مختلف ایران بوده است. پراکنش ایستگاه‌های مطالعاتی در شکل ۱ نشان داده شده است. مشخصات ایـن ایستگاه‌ها در جدول ۱ آورده شـده است. پهنه‌بندی اقلیمی ایـن ایستگاه‌ها در سیستم دومـارتن (De Martonne) گسترش یافته مشخص شده است (Khalili, 1997).

۲-۲- زنجیره مارکف

زنجیره مارکف روشی است ریاضی برای مدل‌سازی فرآیندهای احتمالاتی. یک زنجیره مارکف با دو ویژگی فضای حالت و مرتبه شناخته می‌شود. اگر سیستم برای بارش روزانه تعریف شود، فضای حالت S در یک روز معین یکی از دو وضعیت $s=\{w,d\}$ خواهد بود.که در آن d، معرف روز خشک و w، معرف روز تر است. مرتبه زنجیره مارکف مشخص می‌کند که حالت فعلی یک سیستم به چند حالت قبلی آن وابستگی دارد (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۰). در این مطالعه فرض می‌شود که مقدار بارندگی در روز معین فقط بستگی به مقدار بارندگی روز قبل دارد، از این رو زنجیره مارکف از مرتبه نخست تعریف می‌گردد که بیان ریاضی آن به صورت رابطه (۱) است.

$$P_r\left\{X_{t+1}\middle|X_t,X_{t-1},\ldots,X_1\right\}=P_r\left\{X_{t+1}\middle|X_t\right\} \qquad (۱)$$



شکل ۱- پراکنش ایستگاه‌های مطالعاتی بر گستره ایران

جدول ۱- طبقه‌بندی اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه در سیستم دومارتن گسترش یافته

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی		طول جغرافیایی		نوع اقلیم	سال‌های مورد بررسی	ماه‌های مورد بررسی
	دقیقه	درجه	دقیقه	درجه			
کرمان	۱۵	۳۰	۵۸	۵۶	نیمه خشک سرد	۱۹۷۸-۲۰۰۹	*Nov-May*
مشهد	۱۶	۳۶	۵۹	۳۸	نیمه خشک سرد	۱۹۷۸-۲۰۰۹	*Oct-May*
تبریز	۰۵	۳۸	۴۶	۱۷	نیمه خشک سرد	۱۹۷۸-۲۰۰۸	*Oct May*
خرم‌آباد	۲۶	۳۳	۴۸	۱۷	نیمه خشک معتدل	۱۹۷۸-۲۰۰۸	*Oct-May*
شیراز	۳۲	۲۹	۵۲	۳۶	نیمه خشک معتدل	۱۹۷۸-۲۰۰۹	*Nov-Apr*
زنجان	۴۱	۳۶	۴۸	۲۹	نیمه خشک فراسرد	۱۹۷۸-۲۰۰۷	*Oct-May*
اصفهان	۳۷	۳۲	۵۱	۴۰	خشک سرد	۱۹۷۸-۲۰۰۹	*Nov-May*
تهران	۴۱	۳۵	۵۱	۱۹	خشک سرد	۱۹۷۸-۲۰۰۸	*Oct-May*
زاهدان	۲۸	۲۹	۶۰	۵۳	خشک معتدل	۱۹۷۸-۲۰۰۸	*Nov-May*
بندرعباس	۱۳	۲۷	۵۶	۲۲	خشک گرم	۱۹۷۸-۲۰۰۹	*Nov-Apr*
اهواز	۲۰	۳۱	۴۸	۴۰	خشک گرم	۱۹۷۸-۲۰۰۸	*Nov-Apr*
اردبیل	۱۵	۳۸	۴۸	۱۷	نیمه خشک فراسرد	۱۹۷۸-۲۰۰۸	*Oct-May*
گرگان	۵۱	۳۶	۵۴	۱۶	مدیترانه‌ای معتدل	۱۹۷۸-۲۰۰۸	*Jan-Dec*
یاسوج	۵۰	۳۰	۵۱	۴۱	مرطوب سرد	۱۹۸۷-۲۰۰۸	*Nov-Apr*
ساری	۳۳	۳۶	۰۰	۵۳	مرطوب معتدل	۲۰۰۰-۲۰۰۸	*Jan-Dec*

رابطه (۱) بیان می‌کند که حالت یک متغیر در زمان t صرفاً به حالت آن در زمان $t-1$ وابسته است نه به مسیری که سیستم از طریق آن به حالت فعلی رسیده است. بنابراین چهار حالت روز خشک بعد از یک روز خشک (P_{dd})، روز بارانی بعد از روز خشک (P_{dw})، روز بارانی بعد از یک روز بارانی (P_{ww}) و روز خشک بعد از یک روز بارانی (P_{wd}) وجود دارد. احتمالات انتقال شرطی برای زمان $t+1$ خواهد بود. (مثلاً فردا با چه احتمالی باران خواهد آمد به شرط این که امروز باران باشد و یا با چه احتمالی فردا خشک خواهد بود اگر امروز بارانی باشد). از این‌رو رابطه‌های (۲)، (۳)، (۴) و (۵) برقرار خواهند بود.

$$P_{dd} = P_r\left\{X_{t+1}=0 \middle| X_t=0\right\} \quad (۲)$$

$$P_{dw} = P_r\left\{X_{t+1}=1 \middle| X_t=0\right\} \quad (۳)$$

$$P_{wd} = P_r\left\{X_{t+1}=0 \middle| X_t=1\right\} \quad (۴)$$

$$P_{ww} = P_r\left\{X_{t+1}=1 \middle| X_t=1\right\} \quad (۵)$$

رابطه‌های (۲) و (۳) توزیع احتمال شرطی را برای مقدار سری زمانی در بازه $t+1$ به شرطی که در زمان t ، $X_t=0$ باشد را نشان می‌دهند. متقابلاً رابطه‌های (۴) و (۵) توزیع احتمال شرطی برای مقدار آتی سری زمانی به شرطی که در زمان حال $X_t=1$ باشد را نشان می‌دهند. بنابراین رابطه‌های (۶) و (۷) برقرار است.

$$P_{dd} + P_{dw} = 1 \quad (۶)$$

$$P_{wd} + P_{ww} = 1 \quad (۷)$$

که برای بدست آوردن ماتریس احتمال انتقال می‌بایست ماتریس فراوانی انتقال را از روی داده‌های گسسته با استفاده از رابطه (۸) تعیین نمود.

$$N = \begin{bmatrix} n_{00} & n_{01} \\ n_{10} & n_{11} \end{bmatrix} \quad (۸)$$

که در آن n_{dd} بیانگر تعداد روزهایی است که یک روز خشک به دنبال یک روز خشک، n_{dw} تعداد روزهایی که یک روز تر به دنبال یک روز خشک، n_{wd} تعداد روزهایی که یک روز خشک به دنبال یک روز تر و n_{ww} تعداد روزهایی است که یک روز تر به دنبال یک روز تر اتفاق افتاده است. با تشکیل این ماتریس مقادیر p_{dd} ، p_{dw}، p_{wd} و p_{ww} بر اساس روش درستنمایی بیشینه با استفاده از رابطه‌های (۹) تا (۱۲) بدست می‌آید.

$$P_{dd} = \frac{n_{dd}}{n_{dd} + n_{dw}} \quad (۹)$$

$$P_{dw} = \frac{n_{dw}}{n_{dd} + n_{dw}} \quad (۱۰)$$

$$P_{wd} = \frac{n_{wd}}{n_{wd} + n_{dww}} \quad (۱۱)$$

$$P_{ww} = \frac{n_{ww}}{n_{wd} + n_{ww}} \quad (۱۲)$$

با مشخص شدن عناصر ماتریس، احتمالات شرطی خشکی و بارانی روز مورد انتظار بدست می‌آید. همچنین احتمالات ساده خشکی و

بارانی، احتمالات ساکن خشکی و بارانی، احتمال تداوم پی‌درپی دو، سه، چهار و پنج روزه دوره‌های بارانی و خشک روزانه را می‌توان بدست آورد. احتمالات ساده وقوع روزهای بارانی و خشک از رابطه‌های (۱۳) و (۱۴) بدست می‌آید.

$$P_d = \frac{n_d}{n} \quad (۱۳)$$

$$P_w = \frac{n_w}{n} \quad (۱۴)$$

که در آن p_d (یا p_w) احتمال ساده وقوع روز خشک یا تر، n_d (یا n_w) تعداد دفعات خشک یا تر بودن روز مورد نظر و n تعداد سال‌های مورد بررسی است.

۲-۳- آزمون‌های آماری

۲-۳-۱- آزمون کای دو *Chi-Square Test*

پس از تعیین ماتریس احتمال انتقال لازم است برازش مدل زنجیره مارکف را بر سری داده‌ها را با استفاده از رابطه (۱۵) بررسی نمود. برای این منظور از آزمون χ^2 (Chi-Square Test) استفاده می‌شود. فرضیه صفر (H_0) این آزمون بر این ایده استوار است که سری‌ها مستقل هستند (یعنی داده‌ها از زنجیره مارکف مرتبه مورد نظر که در اینجا ۲ است پیروی نمی‌کنند) (Hoaglin et al., 2011).

$$\chi_0^2 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{(n_{ij}-e_{ij})^2}{e_{ij}} \quad (۱۵)$$

که در آن n_{ij} و e_{ij} به ترتیب فراوانی‌های انتقال مشاهده شده و مورد انتظار در گذر از حالت i به j است. χ^2 محاسبه شده از رابطه (۱۵) با χ^2 جدول مربوطه مقایسه می‌شود. اگر χ^2 جدول مربوطه بزرگتر باشد فرضیه صفر رد می‌شود (زارعی، ۱۳۸۳).

۲-۳-۲- آزمون گردش *Run Test*

ایستا بودن زنجیره مارکف به این مفهوم است که وقوع بارندگی در طی دوره مورد بررسی، روند قابل ملاحظه‌ای ندارد. یعنی احتمال وقوع بارندگی در سرتاسر دوره به یک میزان است. در تحقیق حاضر بررسی ایستا بودن زنجیره، با استفاده از آزمون گردش توسط نرم افزار Minitab انجام شد و مشخص شد داده‌های بارش روزانه همگن و تصادفی هستند. از طرفی با تعیین ماتریس احتمال انتقال زنجیره مارکف می‌توان تحلیل‌های مختلفی انجام داده که مهم‌ترین آن‌ها احتمال تداوم پی‌درپی روزهای خشک یا تر است. برای این منظور احتمال تداوم دو روز خشک پی‌درپی یا دو روز تر پی‌درپی از رابطه‌های (۱۶) و (۱۷) بدست می‌آید.

$$D_{(2)} = P_{d_{w1}} \times P_{dd_{w2}} \quad (۱۶)$$

$$W_{(2)} = P_{w_{w1}} \times P_{ww_{w2}} \quad (۱۷)$$

همچنین تداوم سه روز خشک پی‌درپی یا سه روز تر پی‌درپی از رابطه‌های (۱۸) و (۱۹) بدست می‌آید.

$$D_{(3)} = P_{d_{w1}} \times P_{dd_{w2}} \times P_{dd_{w3}} \quad (۱۸)$$

$$W_{(3)} = P_{w_{w1}} \times P_{ww_{w2}} \times P_{ww_{w3}} \quad (۱۹)$$

که در آن $P_{w_{w1}}$ احتمال ساده وقوع روزهای تر در روز اول و $P_{ww_{w2}}$ و $P_{ww_{w3}}$ احتمالات شرطی وقوع روزهای تر در روزهای ما بعد است.

۲-۴- تهیه نقشه‌های احتمال وقوع و تداوم روزهای خشک

از کاربردهای روش زنجیره مارکف، برآورد احتمال وقوع یک رویداد با تداوم m روزه است. منظور از تداوم روز خشک، تعداد روزهایی متوالی است که بارش در آن رخ نداده باشد. احتمال m روزه خشک (P_m) براساس احتمال پایای روز خشک (p) و عدم آن (q) با استفاده از رابطه (۲۰) به دست می‌آید.

$$P_m = P^{m-1} \times q \quad (۲۰)$$

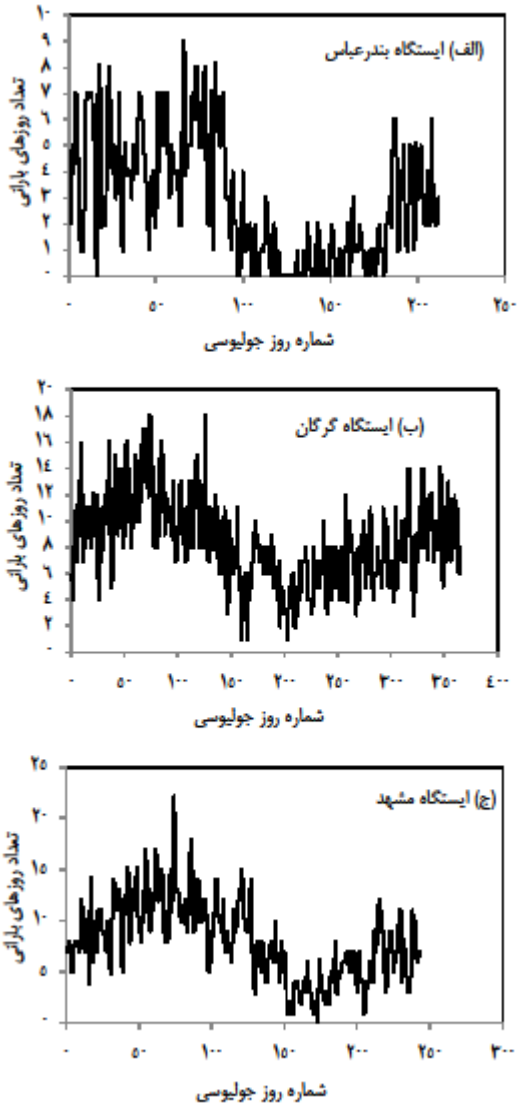
در این پژوهش از تکنیک میان‌یابی کریجینگ جهت ترسیم نقشه‌های احتمال وقوع و تداوم روزهای خشک بهره گرفته شد. تحلیل‌های ارئه شده با استفاده از نرم‌افزار Surfer/Win ver 8.05 انجام گرفته است. با استفاده از روش اعتبارسنجی تقاطعی مشخص گردید که خطای بایاس میانگین (MBE)[1] برای ارزیابی میزان اعتبار روش کریجینگ ۰/۳۶ به دست آمده است، لذا این روش درونیابی برای ترسیم خطوط هم احتمال مورد استفاده قرار گرفته است.

۳- نتایج و تحلیل نتایج

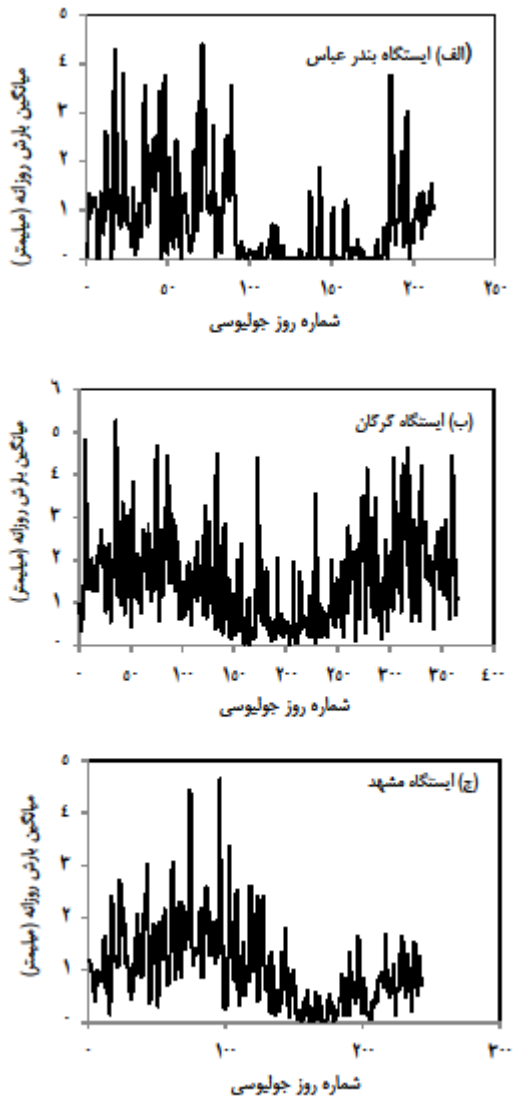
مشخصات سری زمانی داده‌ها بارندگی روزانه، به‌عنوان نمونه برای ایستگاه‌های سینوپتیک بندرعباس، گرگان و مشهد برای دوره آماری مورد نظر در شکل‌های ۲ تا ۵ نشان داده شده است. مطابق این اشکال در تمام ایستگاه‌های مورد بررسی روزهایی که میانگین بارش بیشتری دریافت داشته‌اند، حداکثر بارندگی روزانه بیشتری را نیز تجربه کرده‌اند. می‌توان دید که ضریب تغییرات بارش با افزایش مقدار بارندگی کم شده و با کاهش آن فزونی می‌یابد. از این رو بیشترین ضریب تغییرات در دوره کم بارش بوده است. از طرف دیگر

در میان ایستگاه‌های مطالعاتی (به‌جز ساری و یاسوج) حداکثر روز بارانی و میانگین بارش، مربوط به ایستگاه گرگان بوده است. همچنین نتایج فراوانی شرطی n_{ww} در روزهای مختلف و ایستگاه‌های مورد بررسی نشان داد که ماکزیمم فراوانی شرطی n_{ww} متعلق به ایستگاه زنجان و مینیمم آن متعلق به ایستگاه بندرعباس می‌باشد. لذا می‌توان نتیجه گرفت فراوانی شرطی n_{ww} در روزهای مختلف رابطه مستقیمی با میزان بارندگی در آن روزها ندارد. چنانکه اشاره شد از آزمون‌های معتبر جهت ارزیابی ماتریس تغییر حالت مارکفی استفاده شد. بر اساس آزمون χ^2 (Chi-Square Test) مشخص گردید که در هر سطح دلخواه، شواهد کافی برای پذیرش فرض صفر (استقلال داده‌ها و عدم پیروی از زنجیره مارکف دو حالته) وجود ندارد. از این‌رو فراوانی حالات انتقال از زنجیره مارکف دو حالتی پیروی می‌کند. همچنین نتایج آزمون گردش توسط نرم‌افزار Minitab ایستایی بودن زنجیره را نشان می‌دهد.

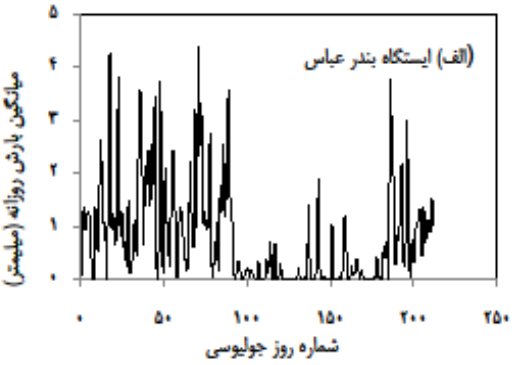
مطالعه ویژگی‌های مهم مرتبط با دوره‌های تر و خشک کوتاه مدت همچون احتمالات ساده و شرطی و احتمال تداوم پی در پی روزهای تر و خشک به کمک زنجیره مارکف مرتبه اول از نتایج مهم این تحقیق می‌باشد. در جداول ۲ و ۳ نتایج مقادیر برآوردی احتمالات ساکن و مقادیر واقعی محاسبه شده (احتمالات ساده وقوع روزهای خشک و تر) آورده شده است (بدلیل بالا بودن حجم جداول از ارائه تمام جداول خودداری شده و فقط جداول مربوط به ایستگاه سینوپتیک گرگان بعنوان نمونه آورده شده است).

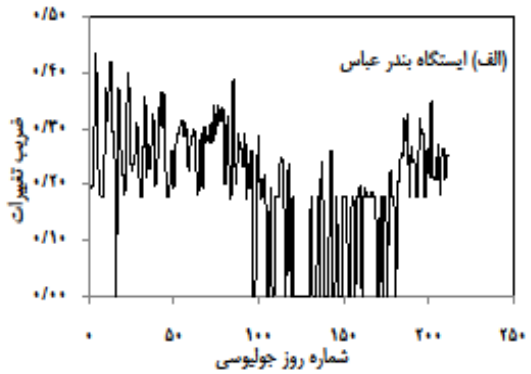


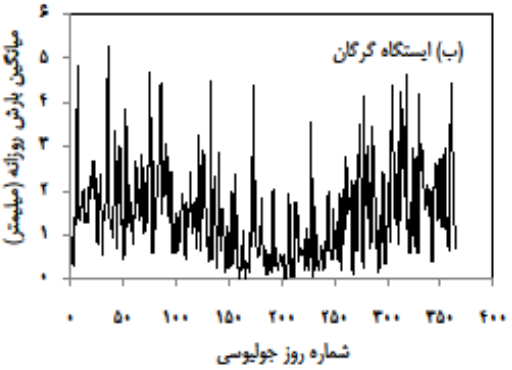
شکل ۲- رژیم تعداد روزهای بارانی در روزهای مختلف سال

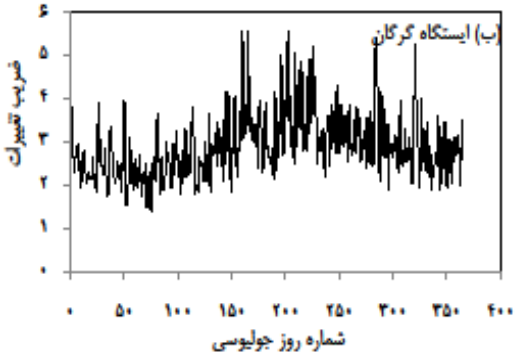


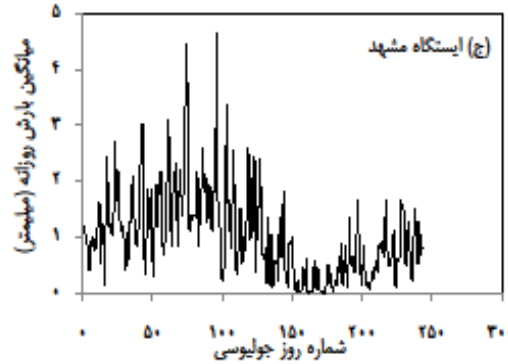
شکل۳- رژیم میانگین بارش روزانه در روزهای مختلف سال

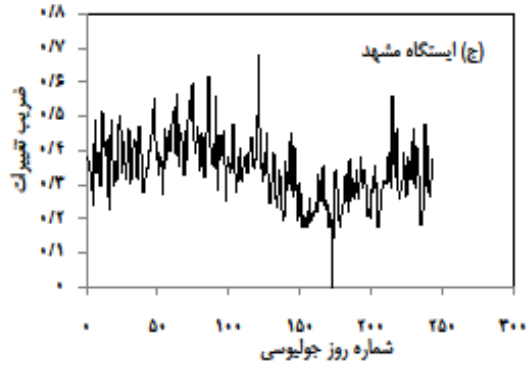












شکل۴- رژیم ضریب تغییرات بارش روزانه در روزهای مختلف سال شکل۵- رژیم حداکثر بارش روزانه در روزهای مختلف سال

مشاهده می‌شود که بین احتمالات ساده وقوع روزهای خشک و تر در هر روز و احتمالات ساکن همان روز اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (به‌جز ایستگاه ساری که کمی اختلاف وجود دارد آن هم بدلیل کم بودن تعداد سال‌های آماری این ایستگاه می‌باشد). نتیجه کلی اینکه مدل زنجیره مارکف برای تعیین احتمالات ساده وقوع روزهای خشک و تر، از دقت کافی برخوردار است و می‌توان از آن با اطمینان در بررسی‌های مربوطه سود جست.

حداکثر مقدار متوسط P_{ww} در ایستگاه‌های مطالعاتی متعلق به ایستگاه یاسوج با میزان ۰/۵۵ و حداقل آن متعلق به ایستگاه زاهدان با میزان ۰/۳۴ می‌باشد. نکته حائز اهمیت این است که احتمال شرطی وقوع روز تر، مشروط بر اینکه روز قبلش نیز تر باشد رابطه مستقیمی با میزان بارش روزانه ندارد. یعنی به صرف زیاد بودن میزان بارش در ایستگاه نمی‌توان گفت احتمال شرطی P_{ww} نیز در آن ایستگاه نسبت به سایر ایستگاه‌ها بیشتر است. بعبارت دیگر با افزایش میزان بارندگی در نقاط مختلف، احتمال شرطی P_{ww} نیز افزایش نمی‌یابد. همچنین مقایسه احتمال تداوم خشکی‌های۲ تا ۵ روزه نشان داد که حداکثر مقدار متوسط این تداوم در ایستگاه بندرعباس به ترتیب با میزان ۰/۸۵۶، ۰/۸۰۹، ۰/۷۶۳ و ۰/۷۲ و کم‌ترین آن در ایستگاه زنجان به ترتیب با میزان ۰/۵۴۴، ۰/۴۲۴، ۰/۳۳۳ و ۰/۲۶۲ رخ داده است. از نتایج دیگر این تحقیق به‌دست آوردن احتمال روزهای خشک متوالی ونیز احتمال اقلیمی روز خشک در هریک از ایستگاه‌ها است. بیشترین آن مربوط به ایستگاه بندرعباس بوده که احتمال روزهای خشک متوالی آن از ۷۵ تا ۱۰۰

درصد نوسان داشته است. احتمال اقلیمی وقوع روزهای خشک در این ایستگاه از ۷۲ تا ۱۰۰ درصد با متوسط احتمال آن به مقدار ۹۱ درصد در تغییر است. کم‌ترین آن هم مربوط به ایستگاه ساری می‌باشد، که احتمال روزهای خشک متوالی آن از ۳۳/۳۳ تا ۱۰۰ درصد نوسان داشته است.

جدول۲- احتمالات ساده و شرطی وقوع روزهای تر وخشک ایستگاه گرگان

شماره روز جولیوسی	احتمالات ساده	احتمالات ساکن		احتمالات شرطی			
	P_d^*	π_1	π_0	P_{ww}	P_{wd}	P_{dw}	P_{dd}
۱	۰/۸۰۶	۰/۱۹۹	۰/۸	۰/۱۲۵	۰/۸۷۵	۰/۲۱۷	۰/۷۸۳
۱۰	۰/۴۸۳	۰/۵۷۷	۰/۴۲۳	۰/۶۶۷	۰/۳۳۳	۰/۴۵۵	۰/۵۴۵
۲۰	۰/۶۱۲	۰/۴۴۸	۰/۵۵۲	۰/۶۲۵	۰/۳۷۵	۰/۳۰۴	۰/۶۹۶
۳۰	۰/۷۴۲	۰/۲۱۶	۰/۷۸۴	۰/۴۵۴	۰/۵۴۶	۰/۱۵	۰/۸۵
۴۰	۰/۶۱۳	۰/۴۱۸	۰/۵۸۲	۰/۵	۰/۵	۰/۳۶	۰/۶۴
۵۰	۰/۷۰۹	۰/۲۹۵	۰/۷۰۵	۰/۳۷۵	۰/۶۲۵	۰/۲۶۱	۰/۷۳۹
۶۰	۰/۶۷۷	۰/۲۷۵	۰/۷۲۵	۰/۵۸۳	۰/۴۱۷	۰/۱۵۸	۰/۸۴۲
۷۰	۰/۵۸۱	۰/۳۸۴	۰/۶۱۵	۰/۶	۰/۴	۰/۲۵	۰/۷۵
۸۰	۰/۷۴۲	۰/۲۷۵	۰/۷۲۵	۰/۱۶۷	۰/۸۳۳	۰/۳۱۶	۰/۶۸۴
۹۰	۰/۶۴۵	۰/۳۵۶	۰/۶۴۴	۰/۳۳۳	۰/۶۶۷	۰/۳۶۸	۰/۶۳۲
۱۰۰	۰/۷۱	۰/۳۰۴	۰/۶۹۶	۰/۴۲۸	۰/۵۷۲	۰/۲۵	۰/۷۵
۱۱۰	۰/۶۴۵	۰/۳۶۸	۰/۶۳۲	۰/۴۲۸	۰/۵۷۲	۰/۳۳۳	۰/۶۶۷
۱۲۰	۰/۷۴۲	۰/۱۷۱	۰/۸۲۹	۰/۴۲۹	۰/۵۷۱	۰/۱۱۸	۰/۸۸۲
۱۳۰	۰/۶۴۵	۰/۴۰۵	۰/۵۹۵	۰/۵۷۱	۰/۴۲۹	۰/۲۹۲	۰/۷۰۸
۱۴۰	۰/۷۴۲	۰/۲۶۵	۰/۷۳۵	۰/۳۳۳	۰/۶۶۷	۰/۲۴	۰/۷۶
۱۵۰	۰/۷۷۴	۰/۱۶	۰/۸۴	۰/۵	۰/۵	۰/۰۹۵	۰/۹۰۵
۱۶۰	۰/۹۶۸	۰/۰۳۲	۰/۹۶۳	۰	۱	۰/۰۳۸	۰/۹۶۲
۱۷۰	۰/۸۰۶	۰/۱۹۳	۰/۸۰۷	۰/۱۶۷	۰/۸۳۳	۰/۲	۰/۸
۱۸۰	۰/۷۷۴	۰/۱۴۸	۰/۸۵۲	۰/۷۵	۰/۲۵	۰/۰۴۳	۰/۹۵۷
۱۹۰	۰/۸۳۹	۰/۱۲	۰/۸۸	۰/۳۳۳	۰/۶۶۷	۰/۰۹۱	۰/۹۰۹
۲۰۰	۰/۹۰۳	۰/۰۶۹	۰/۹۳۱	۰/۵	۰/۵	۰/۰۳۷	۰/۹۶۳
۲۱۰	۰/۸۳۹	۰/۲۱۶	۰/۷۸۴	۰/۵	۰/۵	۰/۱۳۸	۰/۸۶۲
۲۲۰	۰/۷۴۲	۰/۲۶۷	۰/۷۳۳	۰/۴۲۸	۰/۵۷۲	۰/۲۰۸	۰/۷۹۲
۲۳۰	۰/۸۰۶	۰/۲۰۴	۰/۷۹۶	۰/۴	۰/۶	۰/۱۵۴	۰/۸۴۶
۲۴۰	۰/۹۰۳	۰/۰۵۵	۰/۹۴۵	۰/۲۵	۰/۷۵	۰/۰۴۳	۰/۹۵۷
۲۵۰	۰/۸۳۹	۰/۰۸	۰/۹۲	۰/۵	۰/۵	۰/۰۴۳	۰/۹۵۷
۲۶۰	۰/۷۴۲	۰/۳۰۸	۰/۶۹۲	۰/۵	۰/۵	۰/۲۲۲	۰/۷۷۸
۲۷۰	۰/۷۴۲	۰/۳۰۴	۰/۶۹۶	۰/۷۱۴	۰/۲۸۶	۰/۱۲۵	۰/۸۷۵
۲۸۰	۰/۷۷۴	۰/۲۴۲	۰/۷۵۸	۰/۵	۰/۵	۰/۱۶	۰/۸۴
۲۹۰	۰/۷۷۴	۰/۲۶۵	۰/۷۳۵	۰/۶۶۷	۰/۳۳۳	۰/۱۲	۰/۸۸
۳۰۰	۰/۸۳۹	۰/۱۶۱	۰/۸۳۹	۰/۶	۰/۴	۰/۰۷۷	۰/۹۲۳
۳۱۰	۰/۶۷۷	۰/۳۶۷	۰/۶۳۳	۰/۶۲۵	۰/۳۷۵	۰/۲۱۷	۰/۷۸۳
۳۲۰	۰/۸۰۶	۰/۱۷۲	۰/۸۲۸	۰/۳۷۵	۰/۶۲۵	۰/۱۳۰	۰/۸۷
۳۳۰	۰/۵۴۸	۰/۷۰۸	۰/۲۹۲	۰/۸۷۵	۰/۱۲۵	۰/۳۰۴	۰/۶۹۶
۳۴۰	۰/۷۷۴	۰/۰۹۵	۰/۹۰۵	۰/۵	۰/۵	۰/۰۵۳	۰/۹۴۷
۳۵۰	۰/۶۴۵	۰/۳۶۶	۰/۶۳۴	۰/۴	۰/۶	۰/۳۴۶	۰/۶۵۴
۳۶۰	۰/۶۱۳	۰/۴۱	۰/۵۹	۰/۵	۰/۵	۰/۳۴۸	۰/۶۵۲

$P_d = 1 - P_w$

جدول۳- احتمال تداوم پی‌در پی دوره‌های بارانی و خشک ایستگاه گرگان

شماره روز جولیوسی	احتمال تداوم پی درپی روزهای تر				احتمال تداوم پی در پی روزهای خشک			
	W2	*W3*	*W4*	*W5*	*D2*	*D3*	*D4*	*D5*
۱	۰/۰۶۴	۰/۰۳۲	۰/۰۱۲۱	۰/۰۰۴۵	۰/۷۴۱	۰/۵۷۷	۰/۴۵۱	۰/۲۹۴
۱۰	۰/۱۲۹	۰/۰۳۸	۰/۰۱۱	۰/۰۰۷	۰/۲۹	۰/۲۳۵	۰/۱۶۶	۰/۱۵۱
۲۰	۰/۲۲۵	۰/۱۴۳	۰/۰۳۹	۰/۰۲۱	۰/۴۸۳	۰/۳۸۷	۰/۲۷	۰/۱۸۴
۳۰	۰/۰۹۶	۰/۰۴۱	۰/۰۱۸	۰/۰۰۹	۰/۵۴۸	۰/۳۶۵	۰/۲۳۷	۰/۱۷۵
۴۰	۰/۲۵۸	۰/۱۳۸	۰/۰۷۴	۰/۰۳۴	۰/۴۵۱	۰/۲۵۱	۰/۱۷۲	۰/۱۴۳
۵۰	۰/۱۹۳	۰/۱۳۴	۰/۰۵۸	۰/۰۴۱	۰/۴۸۳	۰/۲۹۵	۰/۲۳۶	۰/۱۵۷
۶۰	۰/۱۹۳	۰/۱۰۳	۰/۰۶۵	۰/۰۱۶	۰/۳۸۷	۰/۳۱۴	۰/۲۳۵	۰/۱۴۸
۷۰	۰/۲۵۸	۰/۱۳۶	۰/۰۵۸	۰/۰۳۴	۰/۲۹	۰/۱۸۶	۰/۱۲۱	۰/۰۵۱
۸۰	۰/۰۹۶	۰/۰۵۸	۰/۰۲۹	۰/۰۲۲	۰/۵۱۶	۰/۴۱۷	۰/۳۳۸	۰/۱۹۹
۹۰	۰/۱۹۳	۰/۰۷۷	۰/۰۴۶	۰/۰۲۵	۰/۵۱۶	۰/۳۶۸	۰/۲۸۱	۰/۲۳۸
۱۰۰	۰/۱۹۳	۰/۱۵۴	۰/۰۹۸	۰/۰۳۷	۰/۵۸	۰/۴۹۷	۰/۳۴۸	۰/۲۷۱
۱۱۰	۰/۲۹	۰/۱۳۴	۰/۱۰۴	۰/۰۴۳	۰/۵۱۶	۰/۴۳	۰/۳۳۲	۰/۲۷۹
۱۲۰	۰/۱۶۱	۰/۰۸۶	۰/۰۳۴	۰/۰۲۱	۰/۴۸۴	۰/۴۰۳	۰/۳۲۶	۰/۲۵۵
۱۳۰	۰/۱۶۱	۰/۰۴۴	۰/۰۱۵	۰/۰۰۶	۰/۴۵۱	۰/۳۱۶	۰/۲۲۹	۰/۱۸۸
۱۴۰	۰/۱۲۹	۰/۰۵۱	۰/۰۱۵	۰/۰۱۰	۰/۵۴۸	۰/۳۹۱	۰/۳۳۵	۰/۲۴۱
۱۵۰	۰/۰۳۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۳	۰/۶۱۲	۰/۴۹	۰/۳۹۲	۰/۲۹۸
۱۶۰	۰/۰۳۲	۰/۰۰۸۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۸۷۱	۰/۷۴۲	۰/۶۲۷	۰/۵۵۲
۱۷۰	۰/۰۹۶	۰/۰۴۳	۰/۰۳۲	۰/۰۱۶	۰/۶۱۳	۰/۵۰۱	۰/۴۱۴	۰/۳۵۵
۱۸۰	۰/۰۶۴	۰/۰۳۲	۰/۰۱۶	۰/۰۰۵	۰/۶۴۵	۰/۵۱۶	۰/۴۷۱	۰/۳۹۵
۱۹۰	۰/۰۹۶	۰/۰۳۲	۰/۰۱۹	۰/۰۰۶	۰/۷۴۲	۰/۶۵۳	۰/۵۷۷	۰/۵۳۱
۲۰۰	۰/۰۳۲	۰/۰۲۱	۰	۰	۰/۸۳۸	۰/۸۰۸	۰/۷۷۹	۰/۷۰۲
۲۱۰	۰/۰۶۴	۰/۰۳۲	۰/۰۱۱	۰/۰۰۷	۰/۸۳۸	۰/۷۸۱	۰/۷۲۵	۰/۵۹۶
۲۲۰	۰/۰۹۶	۰/۰۲۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	۰/۶۱۳	۰/۵۶۱	۰/۴۹۹	۰/۴۶۲
۲۳۰	۰/۰۹۷	۰/۰۵۵	۰/۰۲۴	۰/۰۱۴	۰/۶۷۷	۰/۵۹۳	۰/۵۴۳	۰/۴۵۹
۲۴۰	۰/۰۳۲	۰/۰۱۸	۰/۰۰۹	۰/۰۰۱۵	۰/۷۰۹	۰/۵۹۱	۰/۵۴	۰/۴۷۵
۲۵۰	۰/۰۹۷	۰/۰۳۲	۰/۰۲۴	۰/۰۰۹	۰/۷۴۲	۰/۶۸۲	۰/۵۵۶	۰/۵۰۸
۲۶۰	۰/۰۹۶	۰/۰۴۸	۰/۰۳۲	۰/۰۱۱	۰/۵۱۶	۰/۴۱۸	۰/۳۶۱	۰/۲۷۹
۲۷۰	۰/۰۶۴	۰/۰۳۲	۰/۰۱۶	۰/۰۰۵	۰/۶۷۷	۰/۵۲۷	۰/۴۱۲	۰/۳۳۷
۲۸۰	۰/۰۶۴	۰/۰۳۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۴۸۳	۰/۴۳۵	۰/۳۵۹	۰/۳۳۲
۲۹۰	۰/۱۲۹	۰/۰۱۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۶۷۷	۰/۵۶۴	۰/۳۴۷	۰/۳۱۲
۳۰۰	۰/۰۶۴	۰/۰۰۹	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۰۶	۰/۶۷۷	۰/۵۰۸	۰/۴۴۴	۰/۲۹۶
۳۱۰	۰/۰۹۶	۰/۰۴۱	۰/۰۲۳	۰/۰۱۲	۰/۵۴۸	۰/۴۱۱	۰/۳۱۸	۰/۲۸۷
۳۲۰	۰/۰۶۴	۰/۰۱۶	۰/۰۱۱	۰/۰۰۴	۰/۷۴۲	۰/۶۸۷	۰/۵۳۹	۰/۳۹۹
۳۳۰	۰/۲۵۸	۰/۱۴۳	۰/۰۹۶	۰/۰۴۳	۰/۵۱۶	۰/۴۲۲	۰/۳۲۶	۰/۲۹۴
۳۴۰	۰/۱۶۱	۰/۰۴۸	۰/۰۲۴	۰/۰۱۱	۰/۶۱۳	۰/۴۶۷	۰/۳۶۵	۰/۲۶۶
۳۵۰	۰/۰۶۴	۰/۰۳۷	۰/۰۲	۰/۰۰۴	۰/۴۸۳	۰/۳۸۳	۰/۳۱۳	۰/۱۵۷
۳۶۰	۰/۱۹۳	۰/۱۰۷	۰/۰۴۹	۰/۰۱۸	۰/۵۱۶	۰/۳۷۵	۰/۳۱۹	۰/۲۷۷

احتمال اقلیمی وقوع روزهای خشک در این ایستگاه از ۲۵ تا ۱۰۰ درصد با متوسط احتمال آن به مقدار ۷۹ درصد در تغییر است. احتمال تداوم سه و ده روزه خشک بر اساس احتمال پایا روز خشک (p) و عدم آن (q) با استفاده از رابطه (۲۰) به دست آمده است. نقشه‌های خطوط هم‌احتمال وقوع و تداوم سه و ده روزه روزهای بدون بارش (خشک) در شکل‌های ۶ تا ۸ نشان داده شده است. در شکل۶ از نقشه احتمال وقوع روز خشک می‌توان ، رابطه بین احتمال وقوع روز خشک با میزان بارندگی را استنباط نمود. با توجه به شکل ۶ می‌توان مشاهده نمود که با افزایش بارندگی احتمال وقوع روز خشک کاهش می‌یابد. این امر با محاسبه ضریب همبستگی بین میزان بارش و احتمال رخداد روز خشک بهتر نمایش داده می‌شود. همچنین مدل رگرسیون خطی، بارش- احتمال وقوع روز خشک توسط رابطه (۲۱) محاسبه شده است. ضریب همبستگی بین میزان بارش و احتمال وقوع روز بدون بارش ۰/۶۹۶- است.

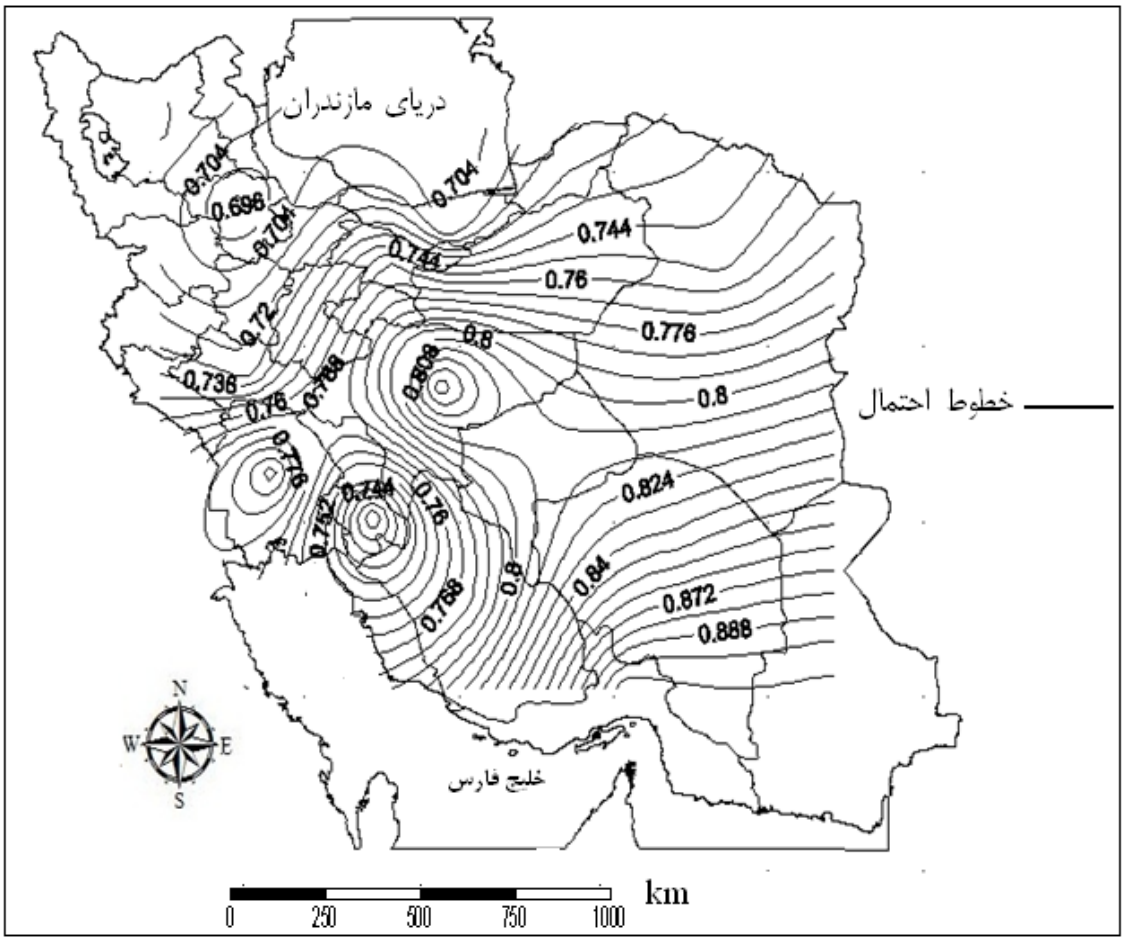
$$P=0.849-0.00022R \quad (۲۱)$$

که در آن p، احتمال پایای وقوع روز خشک در هر ایستگاه و R، میانگین بارش سالانه هر ایستگاه (میلیمتر) می‌باشد. مشاهده می‌شود که به ازای جابه‌جایی از محلی به محل دیگر با افزایش یک میلی‌متر بارش، ۰/۰۰۰۲۲ از احتمال وقوع روز خشک کاهش می‌یابد. همچنین دیده می‌شود با افزایش تداوم خشکی، احتمال آن کمتر می‌شود. به طوری که احتمال تداوم سه روزه بدون بارش در دامنه ۰/۰۷۵ تا ۰/۱۴۸ ولی احتمال تداوم ده روزه بدون بارش در دامنه ۰/۰۱۲ تا ۰/۰۳۸ است. برنامه‌ریزی آبیاری در کشاورزی استفاده دیگری است که می‌توان از این نتایج داشت. در بعضی از ایستگاه‌های سینوپتیک مانند مشهد و شیراز، کشاورزی به صورت دیم انجام می‌شود. از طرفی با توجه به اینکه عدم دسترسی زراعت‌های کشاورزی دیمی در طول دوره رشد بیشتر از ۱۰ روز می‌تواند پیامدهای ناگواری را داشته باشد لذا با استفاده از احتمال تداوم خشکی ۱۰ روزه می‌توان برنامه‌ریزی‌هایی برای آبیاری انجام داد.

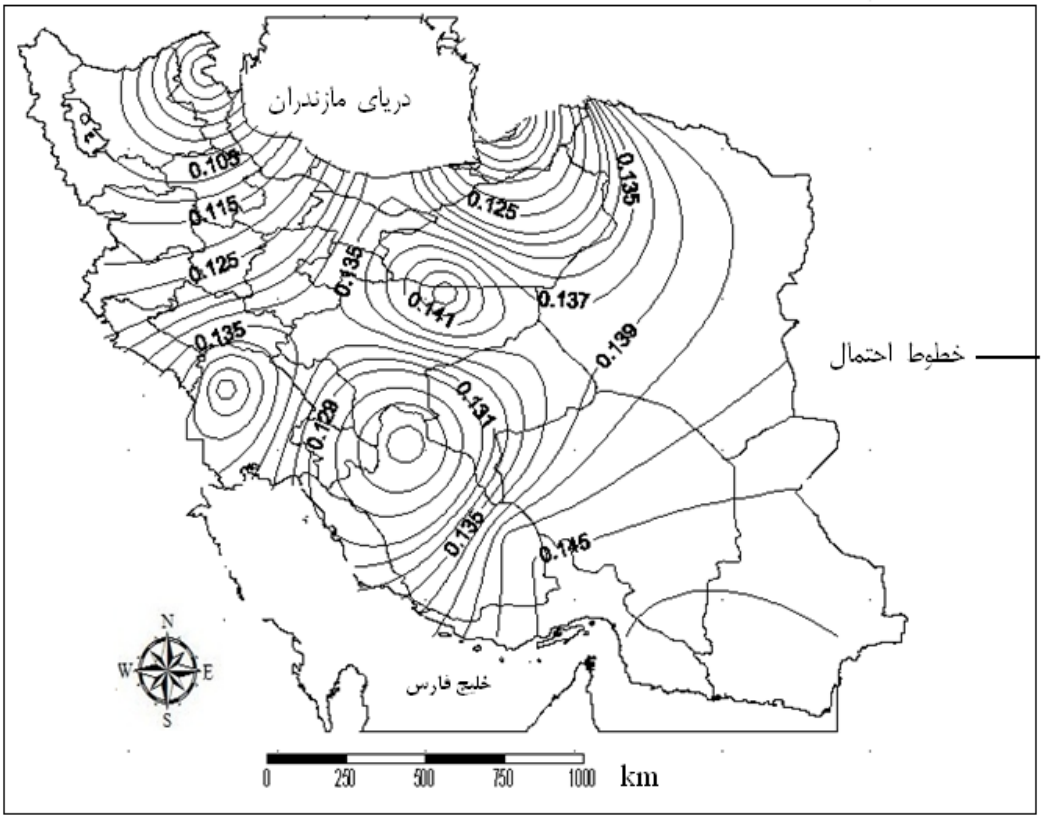
۴-خلاصه و جمع‌بندی

مدیریت مناسب استفاده از آب باران و پیش‌بینی وقوع و یا عدم وقوع بارش در دوره‌های روزانه نقش بارزی در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی و بهینه‌سازی مدل‌های آبیاری و مدیریت منابع آب دارد. جهت پیش بینی توزیع احتمالات دوره خشک و تر در بازه زمانی روزانه می‌توان از روش زنجیره مارکف مرتبه اول استفاده نمود. به این منظور ویژگی‌های دوره‌های تر و خشک بارش روزانه ۱۵ ایستگاه سینوپتیک کشور با اقلیم‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. برای تعیین ماتریس‌های انتقال جداگانه برای هر روز از سال مقادیر بارشی حد آستانه ۰/۱ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود، به عبارت دیگر روزهای با بارش کمتر از ۰/۱ میلی‌متر به عنوان روز خشک در نظر گرفته شد.

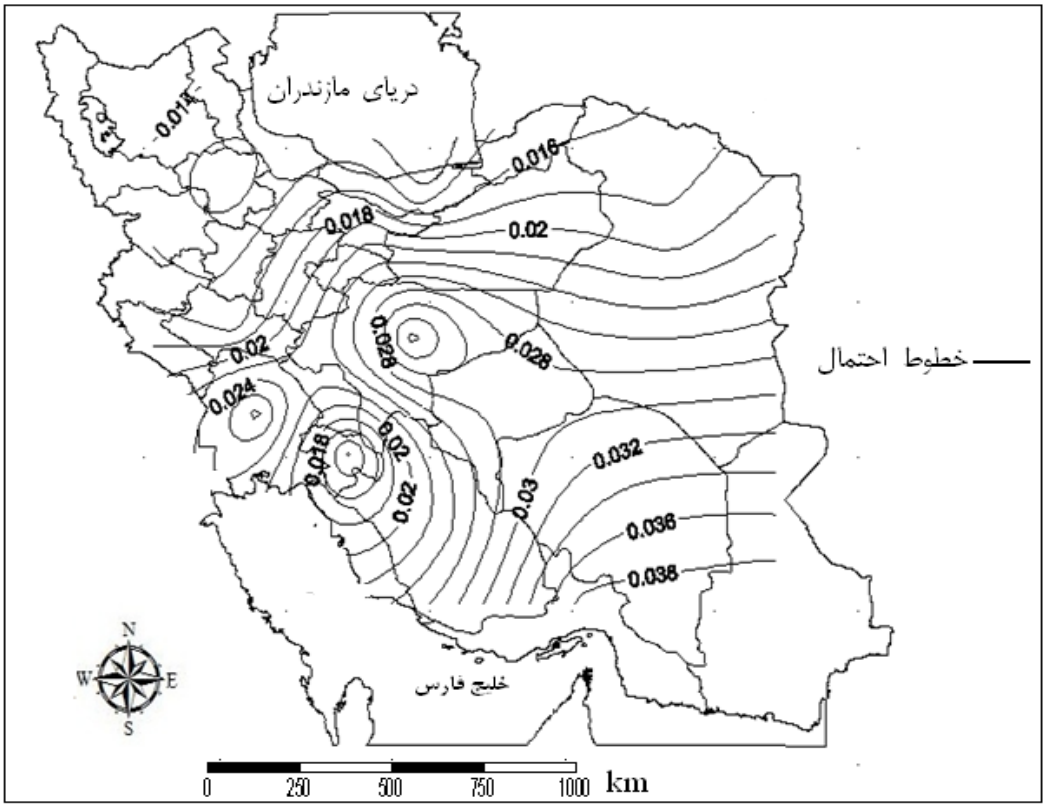
مطالعه ویژگی‌های مهم مرتبط با دوره‌های تر و خشک کوتاه مدت همچون احتمالات ساده و شرطی، احتمال ساکن روزهای تر و



شکل ۶- خطوط احتمال وقوع روز بدون بارش در ایستگاه‌های مطالعاتی



شکل ۷- خطوط احتمال تداوم سه روزه بدون بارش در ایستگاه‌های مطالعاتی



شکل ۸- خطوط احتمال تداوم ده روزه بدون بارش در ایستگاه‌های مطالعاتی

خشک و تداوم روزهای تر و خشک ۲ تا ۵ روزه، به کمک زنجیره مارکف مرتبه اول از نتایج مهم این تحقیق می‌باشد. نتایج نشان داد که داده‌های بارندگی روزانه ایستگاه‌های مورد مطالعه برازش خوبی بر زنجیره مارکف مرتبه اول دارد. در کلیه روزهای مورد بررسی (به‌جز ایستگاه‌های ساری و یاسوج به علت کم بودن سال‌های آماری مورد بررسی) حداکثر n_{ww} در ایستگاه زنجان اتفاق افتاده است. همچنین فراوانی‌های شرطی n_{ww} در روزهای مختلف رابطه خاصی با میزان بارندگی آن روزها ندارد. احتمالات ساکن وقوع روزهای خشک و تر، برآورده شده با مدل مارکف در ماه‌های مختلف با میزان واقعی تفاوت معنی‌داری ندارند بجز ایستگاه ساری که بین این دو مقدار اختلاف مشاهده می‌شود. با افزایش بارندگی احتمال وقوع روز خشک کاهش می‌یابد. ضریب همبستگی بین میزان بارش و احتمال وقوع روز بدون بارش ۰/۶۹۶- است. با توجه به نقشه‌های هم‌احتمال تولید شده مشخص گردید که احتمال وقوع روز خشک در نواحی خلیج فارس بیشتر از نواحی دریای مازندران می‌باشد. مقدار تداوم سه روزه این احتمال از نواحی جنوبی با اقلیم خشک گرم به سمت نواحی شمالی با اقلیم‌های نیمه‌خشک سرد مربوط به ایستگاه تبریز و نیمه-خشک فراسرد مربوط به ایستگاه اردبیل کاهش یافته فقط در نواحی مرکزی مانند ایستگاه اصفهان با اقلیم خشک سرد این مقدار افزایش یافته است. همچنین احتمال تداوم ده روزه از ۰/۰۳۸ در اقلیم خشک گرم تا ۰/۰۱۲ در اقلیم مرطوب معتدل متغیر است.

پی نوشت‌ها

1- Mean Bias Error

۵- مراجع

جعفری‌بهی خ (۱۳۷۸) تحلیل آماری دوره‌های تر و خشک بارندگی در چند نمونه اقلیمی ایران با استفاده از زنجیره مارکف، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

رجبی م، فرج زاده م، بذرافشان ج (۱۳۸۶) شبیه‌سازی رفتار احتمالی سری زمانی شاخص بارش استاندارد با مدل زنجیره مارکف برای هشدار خشکسالی‌های استان فارس. نشریه دانشکده منابع طبیعی،۶۰ (۴): ۱۱۷۰- ۱۱۵۷.

رحیمی ج، قهرمان ن، رحیمی ع (۱۳۹۰) تحلیل آماری دوره‌های تر و خشک بارندگی هفتگی با استفاده از زنجیره مارکف به منظور برنامه‌ریزی کشاورزی دشت ورامین. نخستین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی، ۲-۱ آذر، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

زارعی ا (۱۳۸۳) آمار مهندسی،چاپ اول. نشر دانش‌پرور.

طالشی ع (۱۳۸۴) مدل سازی بارش‌های سالانه ایران با استفاده از روش زنجیره مارکف. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.

عساکره ح (۱۳۸۷) بررسی احتمال تواتر و تداوم روزهای بارانی در شهر تبریز با استفاده از مدل زنجیره مارکف. تحقیقات منابع آب ایران، ۴ (۲): ۵۶- ۴۶.

میر موسوی ح، زهره وندی ح (۱۳۹۰) مدلسازی احتمالات بارش هفته ای جهت تحلیل روزهای خشک متوالی، نمونه موردی: ایستگاه هواشناسی نهاوند استان همدان، دومین کنفرانس ملی پژوهشهای کابردی منابع آب ایران، ۲۹-۲۸ اردیبهشت، شرکت آب منطقه ای زنجان، زنجان.

Bekele E (2002) Markov chain modeling and ENSO influences on the rainfall seasons of Ethiopia. National Meteorological Servises of Ethiopia, 25: 1-13

Bigdeli A, Eslami A (2010) Analysis of wet and dry periods by Markov Chain Model in southern of Caspian sea.. Enviromental Engineering and Applications, 96-99

Chunale GL, Kulkarni SR, Patil AK, Patil BR (2003) Dry spell probability by Markov chain model and its application to crop planning in Kolhapur. Journal of Maharashtra Agricultural Universities, 28(3): 291-294.

Dastidar AG, Gosh D, Dasgupta S (2010) Higher order Markov chain models for monsoon rainfall over west Bengal, India. Indian Journal of Radio & Space Physics, 39: 39-44.

Hoaglin DC, Mosteller F, Tukey JW (2011) Exploring Data Table, Trends, and Shapes, John Wily & Sons.Inc, U.S.A. 538 P.

Khalili A (1997) Integrated water plan of Iran. Meteorological studies, Ministry of power. Iran.

Lennartsson Y, Baxevani A, Chen D (2008) Modeling percipitation in Sweden using multiple step markov chains and a composite model. Journal of Hydrology, 363: 42-59.

Moradi HR, Rajabi M, Farajzade M (2011) Invesstigation of meteorological drought characteristics in Fars province, Iran. CATENA, 84: 35-46.