Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 46, No. 2, Summer 2023, p. 15-29
Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

Research Paper

EXTENDED ABSTRACT

Development of Daily Rainfall Simulation Model by Using Markove Chain and Preserve Spatial Correlation (Case Study: Khozestan Province)

N. Shahraki[1], S. Marofi[2*], MS. Ghazanfari Moghadam[3]

1- Ph.D. Student of Water Sciences Engineering Department, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
2- Corresponding Author, Professor of Water Sciences Engineering Department, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. (marofi@basu.ac.ir)*
3- Assistant Professor on Graduate University of advanced technology, Kerman, Iran.

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 22 April 2018
Revised: 30 May 2019
Accepted: 1 June 2019

Keywords:
Wilks approach, Regional rainfall, Climate of arid moderate, Climate of semi-arid moderate.

TO CITE THIS ARTICLE:

Shahraki, N., Marofi, S., Ghazanfari Moghadam, M. S. (2023). 'Development of Daily Rainfall Simulation Model by Using Markove Chain and Preserve Spatial Correlation (Case Study: Khozestan Province)', Irrigation Sciences and Engineering, 46(2), pp. 15-29. doi: 10.22055/jise.2019.25534.1757.

Introduction

Water scarcity is a big problem in many areas, especially in arid and semi-arid regions. It is rising due to the demand growth driven by increased economic activity and population growth in developing countries. Since Iran is on the world's dry belt and it has rain equivalent to 1/3 of the rain world's average, it is considered a dry country. The rain trend indicates that Iran is going to drought, so plans and measures of water resources management should be developed accordingly (Samadi Broujeni and Ebrahimi, 2010). Also rainfall in Iran is one of the main variables for assessing of water resources, but its spatial and temporal distribution is very Non-uniform. For this reason, the water resources distribution of the country is not uniform, too. Preservation and water resources management are not only a function of rainfall but also depend on the variability of rainfall. If spatial change of rainfall be small, the water resources are more homogeneity and consistency (Mirmousavi and zohrehvandi, 2011) . Hence, the rainfall variations are important in assessing water resources of rivers and the relative study of local and regional water resources. Although various approaches have been proposed for modeling of rainfall, the use of single generators can not properly reproduce the spatial correlations between different meteorological variables. In this paper, was used the first-order Markov chain(MC1), the second-order Markov chain(MC2) and the third-order Markov chain(MC3) for the occurrence of daily precipitation. The Wilks method was used to simulate the occurrence of daily precipitation by preserving the spatial correlation between stations for four synoptic stations in Khozestan province of Iran, considering the importance of preserving the spatial correlation between adjacent stations in water and agricultural studies in daily scale, which has not been studied in Iran up to now.

Methodology

In this study 4 synoptic stations of Khozestan province of Iran which have daily 30 years rainfall dataset have been used in order to modeling occurrence of daily rainfall. The geographical and climatic characteristics of the stations are presented in Table (1). Based on extended de Martonne classification (Khalili, 1997), climates of the stations are arid moderate and semi-arid moderate. The model is made just for rainy periods. To this aim, a stochastic rainfall time series consisting of MC1, MC2 and MC3 have been used for reproducing rainfall occurrence. To detect the best order of MC models, the Akaike information criterion (AIC) has been used. After identification of the best order of MC model, due to the importance of the

 DOI: 10.22055/JISE.2019.25534.1757

spatial correlation among the study stations, the Wilks approach has also been used for the rainfall events modeling.

Table 1- Geographic information of the study stations

Station	UTM		Elevation from sea level (m)	Climate
	X	Y		
Ahwaz	277996	3468896	22.5	Arid moderate
Abadan	235699	3362624	6.6	Arid moderate
Omidiyeh	370802	3404521	34.9	Arid moderate
Dezful	253884	3587786	143	Semi-arid moderate

Results and Discussion

In this study, the important characteristics had been considered related to dry and wet short periods such as simple and conditional probabilities. Wet and dry day's probabilities had been calculated using MC1, MC2 and MC3. The model order is chosen as the order that minimizes the AIC for all the stations. Based on the AIC result, MC1 had performed as the best model order to wet and dry events modeling in all of stations. Also, based on MC1, the occurrence probability of a wet day was not directly related to its rainfall amount. In all stations, the P_{ww} didn't increase with any increasing in rainfall amount. Chi-Square test indicated that in each significant level, there weren't any evidences to accept the zero hypotheses, which confirm independent of data. Therefore, the frequency of transmission states followed the two-state MC method. The results from run tests calculated using the Minitab software also showed the stationary condition of the MC. As noted, the probability of consecutive wet days and the probability of wet day were obtained using MC1. The result show, the average consecutive wet days probabilities for Ahwaz, Abadan, Omidiyeh and Dezful were 38.91, 36.37, 43.32 and 44.88%, respectively. Furthermore in these stations, the average probabilities of wet days occurrence were 13.9, 10.7, 13.5 and 17.7%, respectively. Also, The performance of the Wilks approach has verified using coefficient of determination (R^2). The base of results from Fig. (1) and (2) indicate that this model is able to simulate the occurrence of precipitation with acceptable accuracy in the study stations.

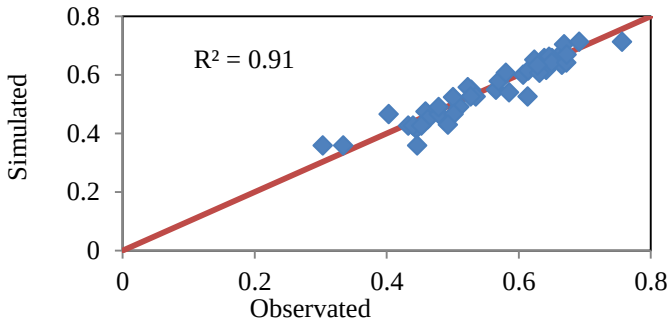

Fig. 1- Comparison of observation and simulation of correlation between occurrence rainfall, for all station pairs

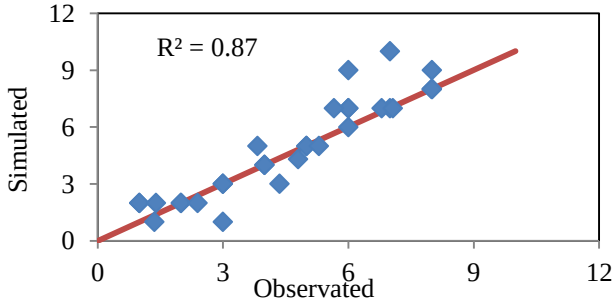

Fig. 2- Comparison of observation and simulation of number wet days for all stations

Conclusion

The MC1, MC2 and MC3 models have been fitted to predict daily precipitation data series to identify the dry and wet spells sequences. Based on the AIC criterion, the MC1 is selected as the best model for the all stations. Based on this criterion, the average of preference MC1 compared with second and third order was 61 and 74% for all study stations, respectively. The average probability of 2 consecutive wet days (P_{ww}) varies between 36.37 (Abadan) and 44.88% (Dezful). Also, the average probability of wet day occurrence (P_w) changes from 10.7 (Abadan) to 17.7% (Dezful). Also, based on the R^2, the result illustrate that Wilks approach can accurately simulate the occurrence of rainfall in a regional manner.

Acknowledgements

The authors express their special thanks and gratitude to Meteorological Organization (IRIMO) for their support in providing the daily rainfall data of the study stations for doing this research.

References.

1- Khalili, A., 1997. Integrated water plan of Iran. *Meteorological studies, Ministry of power, Iran.*

2- Mirmousavi, H. and Zohrehvandi, H., 2011. Modeling of weekly rainfall probabilities to analyze consecutive dry days (Case to study: Nahavand Meteorological Station of Hamedan Province. *In 2the National Conference on Applied Research in Water Resources of Iran, 18-19 May, Zanjan Regional Water Authority, Zanjan, Iran.* (In Persian).

3- Samadi Broujeni, H. and Ebrahimi, A.S., 2010. *Drought consequences and ways to deal with it in Chaharmahal va Bakhtiari province*. Shahrekord University, pp.460. (In Persian).

© 2023 Shahid Chamran Universiry of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

علوم و مهندسی آبیاری جلد ٤٦، شماره‌ی۲، تابستان ۱٤۰۲، مقاله پژوهشی، ص. ۲۹-۱۵

توسعه مدل شبیه‌سازی توالی بارش روزانه با استفاده از زنجیره مارکف و حفظ همبستگی مکانی (مطالعه موردی: استان خوزستان)

نادیا شهرکی[۱]، صفر معروفی[۲*] و محمدصادق غضنفری‌مقدم[۳]

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران.

۲*- نویسنده مسئول، استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران. marofi@basu.ac.ir

۳- استادیار دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.

دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۲ بازنگری: ۱۳۹۸/۰۳/۰۹ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۱۱

چکیده

یکی از راه‌حل‌های عملی در بخش کشاورزی پیش‌بینی بارندگی و پراکندگی زمانی آن است. مدیریت مناسب استفاده از آب باران و پیش‌بینی وقوع و یا عدم وقوع بارش در دوره‌های روزانه نقش بارزی در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی و مدیریت منابع آب دارد. در این مطالعه به‌منظور مدل‌سازی بارش ٢٤ ساعته و توالی‌های مربوطه، از داده‌های بارش روزانه چهار ایستگاه سینوپتیک استان خوزستان که دارای اقلیم‌های خشک معتدل، نیمه‌خشک معتدل و دوره آماری ۳۰ ساله بودند، استفاده گردید. شبیه‌سازی فقط برای ماه‌هایی صورت گرفت که در آن‌ها بارش ثبت‌شده، وجود داشت. بدین منظور از مدل زنجیره مارکف مرتبه‌های اول، دوم و سوم دو حالته برای محاسبات وقوع بارش استفاده گردید. برای تعیین مناسب‌ترین مرتبه مدل زنجیره مارکف از آزمون AIC استفاده شد. هم‌چنین با توجه به اهمیت حفظ همبستگی مکانی بین ایستگاه‌های مورد بررسی، از روش ویلکس در شبیه‌سازی وقوع بارش استفاه گردید. عملکرد روش ویلکس در شبیه‌سازی وقوع بارش روزانه توسط مدل زنجیره مارکف مرتبه اول و همبستگی مکانی بین ایستگاه‌های مورد بررسی با استفاده از شاخص آماری ضریب تعیین (R^2) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بررسی معیار AIC نشان می‌دهد که مدل زنجیره مارکف مرتبه اول برای برآورد وقوع بارش روزانه مناسب‌ترین مدل می‌باشد. بر اساس این معیار، به‌طور متوسط برتری مدل زنجیره مارکف مرتبه اول از مرتبه دوم و سوم به‌ترتیب ٦١ و ٧٤ درصد برای تمام ایستگاه‌های مطالعاتی بوده است. هم‌چنین براساس معیار R^2 ،مشخص شد که روش ویلکس قادر است با دقت قابل قبولی، وقوع بارش را به‌صورت منطقه‌ای شبیه‌سازی نماید.

کلید واژه‌ها: روش ویلکس، بارش منطقه‌ای، اقلیم خشک معتدل، اقلیم نیمه‌خشک معتدل.

مقدمه

کمبود آب مشکل بزرگی در بسیاری از مناطق به‌خصوص مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. کمبود آب همراه با رشد تقاضا با توجه به افزایش فعالیت‌های اقتصادی و رشد جمعیت در کشورهای در حال توسعه افزایش می‌یابد. از آن‌جا که کشور ایران بر روی کمربند خشکی جهان قرا دارد و با دارا بودن بارندگی معادل یک سوم متوسط جهانی، کشوری خشک محسوب می‌شود. روند بارندگی در ایران حاکی از آن است که این کشور به سوی خشکی پیش می‌رود و می‌بایست برنامه‌ریزی‌ها و تدابیر در مدیریت منابع آب بر این اساس پی‌ریزی شود (Samadi Broujeni and Ebrahimi, 2010). توزیع زمانی و مکانی بارش در ایران که از متغیرهای اساسی برای ارزیابی مهیایی بالقوه منابع آب می‌باشد، بسیار ناموزون است (Bakhtiari et al., 2014). به‌همین دلیل توزیع منابع آب کشور نیز یک‌نواخت نیست. حفاظت و مدیریت منابع آب ضمن این که تابعی از بارش دریافتی است، به تغییرپذیری بارش نیز بستگی دارد. هرچه تغییرات مکانی بارش کوچکتر باشد، همگنی و یک‌دستی منابع آب بیشتر می‌شود. از سوی دیگر هرچه تغییرپذیری زمانی بارش کم‌تر باشد، منابع آب نیز با ثبات‌تر بوده و عرضه دایمی آب امکان‌پذیر می‌شود (Mirmousavi and Zohrehvandi, 2011). بارش یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های چرخه آب و انرژی در جهان است. تخمین بارندگی در مقیاس‌های زمانی و مکانی کاربرد گسترده‌ای در مطالعه‌های خشک‌سالی و مدل‌های هیدرولوژیک دارد (Nadi and Baziyarpoor, 2017). بارش یکی از سنجه‌های جوی است که در ابعاد زمان و مکان تغییرات بسیار زیادی از خود نشان می‌دهد (Darand, 2016). به‌علت اثرات مهم بارش بر فرایندهای مختلف، مطالعات متفاوتی در زمینه بررسی تغییرات کمی آن انجام شده است (Salarijazi, 2017). دوره‌ای از بارندگی‌های سنگین ممکن است تأثیری متفاوت روی منابع آب،

تخلیه رودخانه و منابع آبی یک منطقه داشته باشد (Mozafari et al., 2017).

داده‌های بارندگی در مدیریت منابع آب از مهمترین ورودی‌های مدل‌های ریاضی هیدرولوژی، کشاورزی، اکولوژی و حفاظت آب و خاک می‌باشند، با این وجود اغلب بروز مشکلاتی از قبیل طول ناکافی سری‌های ثبت‌شده، عدم تایید صحت و یا عدم ثبت داده‌ها منجر به بروز پاره‌ای مشکلات و در نهایت گسترش استفاده از روش‌هایی جهت مدل‌سازی و توان پیش‌بینی داده‌ها شده است (Ghasdi et al., 2016).

مطالعه‌هایی در خصوص پیش‌بینی بارش و تولید داده‌های بارش برای ایستگاه‌های فاقد آمار صورت گرفته است، در این راستا می‌توان به تحقیقات Azhdary Moghaddam و Heravi (2018) و Hasanalizadeh et al. (2015)اشاره کرد. Hasanalizadeh et al. (2015) مدل‌سازی توأم تغییرات زمانی- مکانی بارش ماهانه در بخشی از استان گلستان را انجام دادند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که مدل نمایی برای زمان و مدل کروی برای مکان به‌عنوان بهترین مدل‌ها برای مدل‌سازی توأم تغییرات زمانی- مکانی بارش ماهانه می‌باشند. از نتایج تحقیق این محققان می‌توان برای تعیین مقادیر بارندگی در مناطق بدون ایستگاه و در هر بازه زمانی استفاده کرد. Azhdary Moghaddam و Heravi (2018) در راستای افزایش کابرد منحنی IDF مبتنی بر خواص فرکتالی، در مناطقی که دارای کمیود آمار یا فاقد آمار بارندگی بودند، مطالعه کردند. نتایج به‌دست آمده، دقت بالا و خطای بسیار کم روش مورد استفاده این محققان را نشان داده است. مولدهای تصادفی هواشناسی مدل‌های آماری هستند که با هدف شبیه‌سازی سریع و واقع‌گرایانه سری‌های تصادفی متغیرهای هیدرولوژیکی مانند دما، بارندگی و سرعت باد به‌کار می‌روند (Ghasdi et al., 2016). این مدل‌ها در مقیاس‌های کوچک مکانی به تولید سریع و تصادفی داده‌ها با طول زمانی مورد نظر کاربر می‌پردازند، به‌طوری‌که سری زمانی تولیدشده، مشخصه‌های آماری توزیع سری مشاهداتی را داراست. زمانی که داده‌های مشاهداتی به اندازه کافی موجود باشند، مدل‌های تصادفی قادر به تولید خواص آماری متغیرهای آب و هوا هستند. مدل‌های تصادفی ایجاد توالی بارش به آسانی ایجادشده و توسعه یافته‌اند. مدل‌های بسیاری برای تولید باران روزانه در یک ایستگاه واحد در منابع هیدرولوژی و اقلیمی موجود است (Liu et al., 2009; Ababaei et al., 2014).

در میان روش‌های آماری، مدل زنجیره‌ی مارکف در علوم هیدرولوژیکی برای مدل‌سازی بارش در سایت‌های تک‌مکانی در ابعاد ملی و بین‌المللی مورد توجه قرار گرفته است. در این زمینه به تحقیقات (Mirmousavi and Zohrehvandi, 2011; Moradi et al., 2011; Bakhtiari et al., 2014) در سطح ملی و در سطح بین‌الملل به تحقیقات (Wilks, 1999; Dastidar et al., 2010; Senthilvelan et al., 2012; Mouelhi et al., 2016) می‌توان اشاره کرد. استفاده از مولدهای تک‌مکانی، قادر به بازتولید مناسب همبستگی‌های مکانی موجود بین متغیرهای مختلف هواشناسی نمی‌باشند (Byung-Jin et al., 2015). چندین مدل برای شبیه‌سازی بارندگی وجود دارد از جمله می‌توان به مطالعات Goodarzi et al. (2018) اشاره کرد. آن‌ها شبیه‌سازی بارش‌های سنگین را با استفاده از مدل WRF انجام دادند. نتایج تحقیق آن‌ها بیانگر عملکرد نسبتاً مطلوب مدل WRF در پیش‌بینی بارش‌های سنگین است. همچنین Wilks (1998) برای شبیه‌سازی تصادفی باران روزانه در چندین ایستگاه هم‌زمان با استفاده از روش Wilks، مدل دو مرحله‌ای (زنجیره مارکف مرتبه اول برای وقوع بارندگی و تابع توزیع نمایی برای مقداربارن) را ارایه داد. این اولین روشی است که در شبیه‌سازی باران چندایستگاهی، ویژگی‌های آماری را حفظ می‌کند. این امر موجب گسترش استفاده از مولدهای چندمکانی با استفاده از روش ویلکس شده است (Srikanthan, 2005; Brissette et al., 2007; Srikanthan and Pegram, 2009; Thompson et al., 2007; Byung-Jin, et al., 2015).

در سال‌های اخیر مطالعه‌های زیادی برای مدل‌سازی مکانی و زمانی بارش در ایستگاه‌های متعدد مطرح شده است. از جمله می‌توان به مدل k- نزدیک‌ترین همسایه Apipattanavis et al (2007) مدل مارکف پنهان Ailliot et al (2009)، Kwon et al (2009)، Khalil et al (2010) و Ghamghami et al (2016) ، مدل مبتنی بر Copula، Li et al (2013) و Bardossy و pegram (2009) مدل مبتنی بر روش ویلکس Byung-Jin, et al (2015) و Mhanna و Bauwens (2011) اشاره نمود.

در یک جمع‌بندی از مطالعه‌های انجام‌یافته نشان داده شد که گرچه روش‌های زیادی برای مدل‌سازی بارش ارائه شده است، اما استفاده از مولدهای تک‌مکانی، قادر به بازتولید مناسب همبستگی‌های مکانی موجود بین متغیرهای مختلف هواشناسی نمی‌باشند. از آن‌جا که همبستگی مکانی بین ایستگاه‌های مجاور در مطالعه‌های منابع آب و کشاورزی بسیار مهم است و شبیه‌سازی بارش را با دقت بالاتری انجام می‌دهد، دراین تحقیق، از روش ویلکس با کمک مدل زنجیره مارکف برای شبیه‌سازی دقیق‌تر وقوع بارش روزانه با حفظ همبستگی مکانی در چهار ایستگاه سینوپتیک استان خوزستان، استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق شبیه‌سازی وقوع بارش روزانه براساس ساختار همبستگی مکانی بارش (به‌صورت چند ایستگاهی) صورت گرفت. هدف اصلی از این تحقیق، حفظ وابستگی‌های فضایی در سری‌های شبیه‌سازی شده بوده است. زیرا وقوع بارندگی به‌خصوص بارش‌های زمستانه در ایران، بیشتر تحت تأثیر حرکات

DOI: 10.22055/JISE.2019.25534.1757

جبهه‌ای و برخورد توده‌های هوا در مقیاس سینوپتیکی در یک گستره وسیع می‌باشد (Ghamghami et al., 2016). لذا مدل‌سازی مبتنی بر ساختار تک ایستگاهی، وابستگی‌های مکانی که ریشه در ساختار فیزیکی جو دارد را به درستی در نظر نمی‌گیرد (Ghamghami et al., 2016).

مناطق و داده‌های مورد استفاده

در بررسی حاضر، از آمار بارش روزانه ماه‌های اکتبر تا ژوئن ایستگاه‌های سینوپتیک آبادان، اهواز، امیدیه و دزفول استفاده گردید. این ایستگاه‌ها دارای دوره آماری ۳۰ ساله بوده و از نظر موقعیت مکانی دارای پراکنش مناسبی می‌باشند که در حوضه آبریزکارون بزرگ قرار گرفته‌اند. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مطالعاتی در جدول (۱) آورده شده است. هم‌چنین موقعیت ایستگاه‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است. پهنه‌بندی اقلیمی این ایستگاه‌ها در سیستم دومارتن (De Martonne) گسترش‌یافته مشخص شده است (Khalili, 1997). براساس پهنه‌بندی اقلیمی سیستم دومارتن گسترش‌یافته ایستگاه دزفول دارای اقلیم نیمه‌خشک معتدل و بقیه ایستگاه‌های مطالعاتی دارای اقلیم خشک معتدل بودند.

روش انجام کار

مدل‌سازی وقوع بارش، توسط زنجیره مارکف مرتبه‌های اول، دوم و سوم دو حالته روزهای بارانی (یک) و بدون باران (صفر) انجام گردید، به‌طوری‌که وقوع روز تر، مستقل از مقدار بارش در نظر گرفته شد. توالی بارش مشاهداتی به‌صورت یک توالی دوتایی (یک و صفر) که بیانگر وابستگی زمانی بین روزهای بارانی و بدون باران، نشان داده شده است. برای این منظور حد آستانه بارش ۰/۱ میلی‌متر در تعیین گردید و روزهای با بارش کمتر از آن به‌عنوان روز خشک در نظر گرفته شد (Bakhtiari et al., 2014). برای همبستگی مکانی بین ایستگاه های مجاور در این مطالعه، از روش ویلکس استفاده گردید.

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه (سایت اداره کل هواشناسی چهارمحال و بختیاری)

Table 1- Geographic information of the study stations (Chaharmahal and Bakhtiari Meteorological Administration site)

Station	UTM		Elevation from sea level (m)	Climate
	X	Y		
Ahvaz	277996	3468896	22.5	Arid moderate
Abadan	235699	3362624	6.6	Arid moderate
Omidiyeh	370802	3404521	34.9	Arid moderate
Dezful	253884	3587786	143	Semi-arid moderate

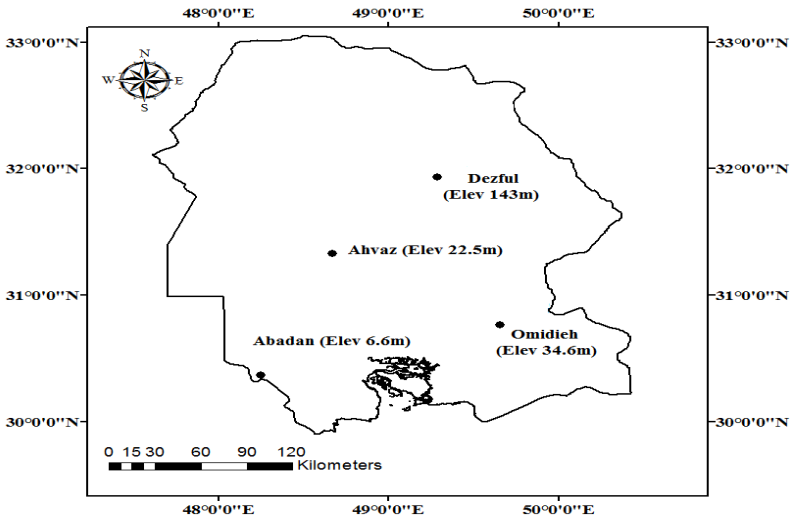

Fig. 1- Map of the synoptic stations of the study area

شکل ۱- نقشه ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مطالعاتی

مدل زنجیره مارکف

زنجیره مارکف روشی ریاضی، برای مدل‌سازی فرایندهای احتمالاتی است. یک زنجیره مارکف با دو ویژگی فضای حالت (s) و مرتبه (m) شناخته می‌شود. اگر سیستم برای بارش روزانه تعریف شود، فضای حالت یا s در یک روز معین یکی از دو وضعیت w و یا d خواهد بود که در آن d نشان‌دهنده روز خشک و w نشان‌دهنده روز تر است. مرتبه زنجیره مارکف مشخص می‌کند که حالت فعلی یک سیستم به چند حالت قبلی آن وابستگی دارد (Rahimi et al., 2011). از این روی زنجیره مارکف مرتبه m با استفاده از رابطه (۱) به‌دست می‌آید (Daniel, 1985).

$$P_r\{X_{t+1}|X_t, X_{t-1}, \dots, X_1\} = P_r\{X_{t+1}|X_t, X_{t-1}, \dots, X_{t-m}\} \quad (۱)$$

احتمال انتقال (احتمال شرطی) مدل زنجیره مارکف مرتبه m با استفاده از رابطه (۲) تعیین می‌گردد (Daniel, 1985).

$$p_{h\dots ijk} = \{\{X_{t+1} = k|X_t = j, X_{t-1} = i, \dots., X_{t-m} = h\}\} \quad (۲)$$

این احتمال هم‌چنین براساس فراوانی شرطی، با استفاده از رابطه (۳) به‌دست می‌آید (Daniel, 1985).

$$p_{h\dots ij} = \frac{n_{h\dots ij}}{n_{h\dots i+}} \quad (۳)$$

از آن‌جایی‌که مقدار سری‌های زمانی در زمان t-(m-1)، برابر با $x_{t-(m-1)}$= h و در زمان t برابر x_t= i بوده است، احتمال این‌که وقوع بارش در زمان t+1 برابر با x_{t+1}= j. باشد، $p_{h\dots ij}$ است.

احتمال‌های ساده وقوع روزهای بارانی و خشک از رابطه‌های (۴) و (۵) به‌دست می‌آید (Mandal et al., 2015).

$$p_d = \frac{n_d}{n} \quad (۴)$$

$$p_w = \frac{n_w}{n} \quad (۵)$$

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.

آزمون بررسی خصوصیات مدل زنجیره مارکف

استقلال یا وابستگی روزهای بارانی به یک‌دیگر با استفاده روابط (۶) و (۷) به‌دست می‌آید (Moon et al., 1994).

$$\propto = 2\sum_{I,j}^{m} n_{ij} \ln\left(\frac{p_{ij}}{p_j}\right) \quad (۶)$$

$$p_j = \sum_{i}^{m} n_{ij} / \sum_{i,j}^{m} n_{ij} \quad (۷)$$

نتیجه حاصل از رابطه(۶)، با توزیع (χ^2) Chi-Square در سطح احتمالاتی ۰/۰۵ و درجه آزادی^{۲}(m-۱) برای مرتبه‌های اول، دوم و سوم مدل زنجیره مارکف (رابطه ۷) آزمون شد. در این رابطه m تعداد کل حالت‌ها که در این مطالعه دو حالت خشک و تر می‌باشد، n_{ij} و p_{ij} به‌ترتیب بیانگر فراوانی و احتمال انتقال از حالت i به حالت j هستند و p_j بیان‌کننده احتمال‌های حاشیه‌ای برای ستون jام از ماتریس احتمالی انتقال است (Moon et al., 1994).

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 (Bakhtiari et al., 2014). در تحقیق حاضر بررسی ایستا بودن زنجیره، با استفاده از آزمون گردش(Run Test) توسط نرم-افزار Minitab انجام شد و مشخص شد داده‌های بارش روزانه همگن و تصادفی هستند.

تعیین مناسب‌ترین مرتبه مدل زنجیره مارکف

برای تعیین مناسب‌ترین مرتبه مدل زنجیره مارکف آزمون‌های متعددی از قبیل آزمون AIC (Akaike Information Criterion) Akaike ،Tong (1975) (1974) و Daniel (1985) و آزمون BIC (Bayesian Information Criterion) Katz (1981) و Schwarz (1978) استفاده می‌شود. در این مطالعه از آزمون AIC برای تعیین مناسب‌ترین مرتبه مدل زنجیره مارکف استفاده شد و مقدار AIC براساس مقادیر درست‌نمایی مدل زنجیره مارکف مرتبه اول (L_1)، دوم (L_2) و سوم (L_3) با استفاده از روابط (۸ تا ۱۰) تعیین گردید (Daniel, 1985). معیار انتخاب براساس کم‌ترین مقدار AIC صورت گرفت.

$$L_1 = \sum_{i=0}^{s-1}\sum_{j=0}^{s-1} n_{ij}\ln(p_{ij}) \quad (۸)$$

$$L_2 = \sum_{h=0}^{s-1}\sum_{i=0}^{s-1}\sum_{j=0}^{s-1} n_{hij}\ln(p_{hij}) \quad (۹)$$

$$L_3 = \sum_{g=0}^{s-1}\sum_{h=0}^{s-1}\sum_{i=0}^{s-1}\sum_{j=0}^{s-1} n_{ghij}\ln(p_{ghij}) \quad (۱۰)$$

$$AIC(m) = -2L_m + 2s^m(s-1) \quad (۱۱)$$

شبیه‌سازی وقوع بارش با حفظ همبستگی مکانی

از آن‌جاکه سیل معمولاً ناشی از بارش‌های سنگین جبهه‌ای می‌باشد و می‌تواند یک منطقه وسیع از یک حوضه آبخیز را تحت تأثیر قرار دهد، لذا مدل‌سازی با استفاده از زنجیره مارکف تک مکانی برای کل حوضه می‌تواند باعث تولید کم‌برآوردی یا بیش‌برآوردی باران واقعی شده و در نتیجه برآورد غیرقابل اعتمادی را به‌همراه داشته باشد (Byung-Jin et al., 2015). بنابراین بهتر است از مدل شبیه‌سازی بارش چندمکانی با حفظ وابستگی فضایی استفاده شود.

در این مطالعه، از روش ویلکس به‌منظور شبیه‌سازی وقوع بارش در ایستگاه‌های مورد مطالعه با حفظ همبستگی مکانی بین ایستگاه‌ها استفاده شده است. در روش ویلکس از مجموعه‌ای از

DOI: 10.22055/JISE.2019.25534.1757

اعداد تصادفی مستقل به‌منظور تولید وقوع بارش در یک ایستگاه خاص استفاده می‌شود. اساس رویکرد ویلکس توسط ماتریس همبستگی (C) وقوع بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک که توسط رابطه (۱۲) نشان داده شده است، بیان شده است (Brissette et al., 2007).

$$C=\begin{bmatrix} 1 & r_{1,2} & \cdots & r_{1,n-1} & r_{1,n} \\ r_{2,1} & 1 & \cdots & r_{2,n-1} & r_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ r_{n-1,1} & r_{n-1,2} & \cdots & 1 & r_{n-2,n} \\ r_{n,1} & r_{n,2} & \cdots & r_{n,n-1} & 1 \end{bmatrix} \quad (۱۲)$$

که n تعداد ایستگاه‌های سینوپتیک می‌باشد.

در روش ویلکس برای شبیه‌سازی‌های استوکاستیکی سری‌های X_t از مولد اعداد تصادفی که در آن اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت ($U_t(k)$) تولید می‌شود، استفاده می‌گردد. در این‌جا نمی‌توان اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت را مستقیماً تولید کرد، زیرا برای حفظ کردن ویژگی ماتریس همبستگی مکانی ایستگاه‌ها، جواب منحصر به‌فردی برای چنین اعداد تصادفی وجود ندارد (Mhanna and Bauwens, 2011). در چنین شرایطی در ابتدا باید اعداد تصادفی نرمال استاندارد ($W_t(k)\sim N(0,1)$) را تولید Wilks (1998) و Mhanna و Bauwens (2011) و سپس آن‌ها را با استفاده از رابطه (۱۳) به متغیرهای یکنواخت تبدیل کرد (Mhanna and Bauwens, 2011).

$$U_t = \emptyset[W_t(k)] \quad (۱۳)$$

که در آن $\emptyset[\bullet]$ تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد است.

روش‌های متعددی برای ایجاد همبستگی تصادفی وجود دارد که روش تجزیه ماتریس، آسان‌ترین روش در این زمینه است. ماتریس W_t از حاصل‌ضرب ماتریس پایین مثلثی (R') حاصل از تجزیه چولسکی ماتریس همبستگی C با ماتریس [n,m] اعداد تصادفی نرمال N با استفاده از رابطه (۱۴) به‌دست می‌آید (Brissette et al., 2007).

$$W_t=\begin{bmatrix} R'_{1,1} & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ R'_{2,1} & R'_{2,2} & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ R'_{n-1,1} & R'_{n-1,2} & \cdots & R'_{n-1,n-1} & 0 \\ R'_{n,1} & R'_{n,2} & \cdots & R'_{n,n-1} & R'_{n,n} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} N_{1,1} & N_{1,2} & \cdots & N_{1,m-1} & N_{1,m} \\ N_{2,1} & N_{2,2} & \cdots & N_{2,m-1} & N_{2,m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ N_{n-1,1} & N_{n-1,2} & \cdots & N_{n-1,m-1} & N_{n-1,m} \\ N_{n,1} & N_{n,2} & \cdots & N_{1,m-1} & N_{n,m} \end{bmatrix} \quad (۱۴)$$

که n تعداد ایستگاه‌های سینوپتیک و m تعداد روزهای هر ماه می‌باشد. بنابراین هر مجموعه‌ای از اعداد تصادفی که توالی آن‌ها مستقل بوده و ساختار همبستگی مکانی وقوع بارش ایستگاه‌ها در آن‌ها حفظ شده است، برای تولید سری زمانی وقوع بارش در یک ایستگاه مشخص استفاده شد. بدین صورت که این اعداد با احتمال‌های شرطی P_{dd} و P_{wd}، الگوی روز بارانی (وقوع و یا عدم وقوع بارش) را با توجه به وضعیت بارش در روز قبل (بارانی بودن یا خشک بودن روز قبل) مقایسه و تعیین می‌کنند. ابتدا احتمال یک حد بحرانی یا P_c (احتمال وقوع احتمال وقوع یک روز خشک مشروط بر این‌که روز قبل از آن نیز خشک باشد "P_{dd}" و احتمال وقوع یک روز خشک مشروط بر این‌که روز قبل از آن بارانی باشد "P_{wd}") با استفاده از رابطه (۱۵) با فرض خشک بودن روز اول در شبیه‌سازی به‌دست آمد. سپس الگوی روز بارانی با استفاده از P_c و توسط رابطه (۱۶) محاسبه گردید. (Brissette et al., 2007).

$$P_c=\begin{cases} P_{dd} & \text{if } X_{t-1}=0 \\ P_{wd} & \text{if } X_{t-1}=0 \end{cases} \quad (۱۵)$$

$$X_t=\begin{cases} 0 & \text{if } U_t \le P_c \\ 1 & \text{سایر موارد} \end{cases} \quad (۱۶)$$

مشکلی که در تولید وقوع بارش وجود دارد این است که رخدادهای تولیدشده، همبستگی کم‌تری نسبت به مقادیر مشاهداتی دارند. به عبارت دیگر به منظور تولید وقوع بارش با همبستگی یکسان با مقادیر مشاهداتی، لازم است از اعداد تصادفی که همبستگی بیشتری از وقوع بارش دارند، استفاده شود (Brissette et al., 2007). در این پژوهش برای رسیدن به این هدف، از روش سعی و خطا برای دست‌یابی به تابع هدف رابطه (۱۷) که مقدار حداقل خطا برای تخمین وقوع بارش تعیین می‌کند، استفاده شده است.

$$f=\sum_{ij=1}^{n}\left|C_{X.obs}-C_{X.syn}\right| \quad (۱۷)$$

که n تعداد ایستگاه–های سینوپتیک، $C_{X.obs}$ و $C_{X.syn}$ به‌ترتیب ماتریس همبستگی مشاهداتی و وقایع مصنوعی وقوع بارش می‌باشند (Byung-Jin et al., 2015). تمام مراحل محاسباتی در قسمت شبیه‌سازی وقوع بارش با حفظ همبستگی مکانی توسط برنامه‌ای که تحت نرم‌افزار MATLAB 13 نوشته شده است، انجام گردید.

ارزیابی روش ویلکس

به‌منظور ارزیابی عملکرد روش ویلکس، شاخص آماری ضریب تعیین (Coefficient of Determination) (R^2) براساس روابط (۱۸) استفاده شده است (Ababaei et al., 2014).

$$R^2=1-\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i-P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O})^2} \quad (۱۸)$$

که O و P به‌ترتیب مقادیر مشاهداتی و مصنوعی، $\overline{O}$ میانگین مقادیر مشاهداتی و n تعداد داده در هریک از سری‌ها است. مراحل انجام کار این پژوهش در شکل (۲) نشان داده شده است.

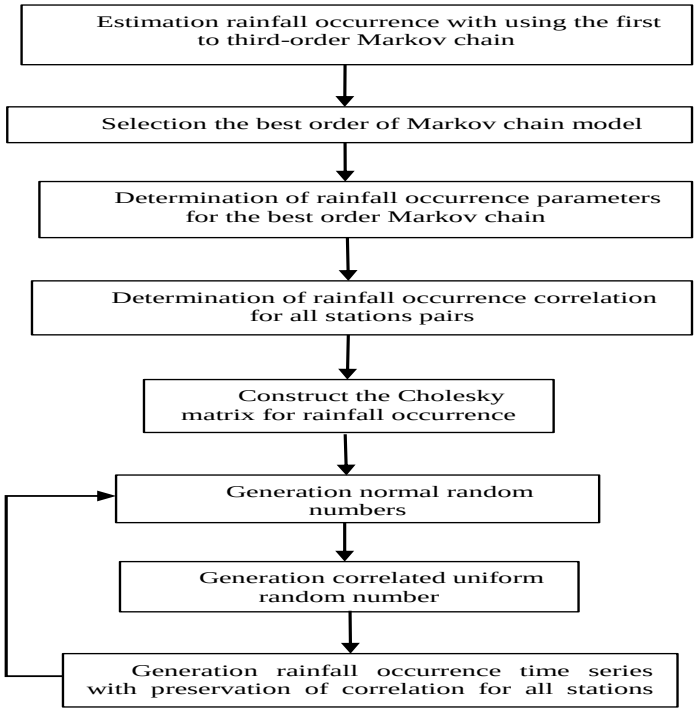

Fig. 2- Steps of work process
شکل ۲- مراحل انجام کار

جدول ۲- نتایج انتخاب مرتبه مدل زنجیره مارکف روزانه بر مبنای AIC
Tabel 2- Result of the choices daily Markov chain model-orders based the on the AIC

Ahvaz			Abadan			Omidieh			Dezful		
First	Second	Third	First	Second	Third	First	Second	Third	First	Second	Third
27.35	30.31	33.22	22.60	26.60	34.35	33.63	33.86	36.45	35.95	35.65	35.07
34.29	38.28	40.43	22.84	26.09	29.59	38.63	40.45	43.06	33.86	35.10	32.56
37.65	41.62	33.99	33.69	36.38	39.05	33.86	35.25	35.52	39.31	39.21	33.99
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
22.08	25.76	29.40	16.98	20.81	24.04	7.82	11.82	16.00	30.19	32.92	28.32
22.60	24.71	27.00	16.98	20.22	28.05	21.18	25.03	29.94	30.99	31.84	35.66
16.37	19.09	16.00	12.63	16.40	27.09	22.08	22.10	29.94	24.67	26.75	28.06
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
17.94	19.00	23.84	12.55	16.40	19.82	4.00	8.00	16.00	22.60	26.21	28.56
26.97	30.82	33.53	18.56	22.10	29.77	27.56	29.98	37.63	30.47	34.13	32.57
31.87	35.17	37.41	25.84	29.61	34.08	37.64	41.64	44.06	38.28	38.90	42.31

DOI: 10.22055/JISE.2019.25534.1757

نتایج و بحث

در این تحقیق، به‌منظور مطالعه مدل‌سازی توالی بارش روزانه با حفظ همبستگی مکانی، ویژگی‌های مهم مرتبط با دوره‌های تر و خشک کوتاه‌مدت هم‌چون احتمالات ساده و شرطی به‌دست آورده شده است. احتمال روزهای خشک و تر با استفاده از مدل زنجیره مارکف مرتبه اول، دوم و سوم برای چهار ایستگاه هواشناسی استان خوزستان محاسبه گردید که مدل زنجیره مارکف مرتبه اول برای تمام ایستگاه‌ها انتخاب گردید. انتخاب مرتبه مدل زنجیره مارکف براساس کمترین مقدار معیار AIC صورت گرفت. نتیجه معیار AIC برای ایستگاه‌های مورد بررسی در جدول (۲) ارائه شده است. براساس این معیار، مدل زنجیره مارکف مرتبه اول برای همه ایستگاه‌ها بهتر از مرتبه دوم و سوم بوده است. نتایج حاصل از این تحقیق با مطالعات قبلی که استفاده از مارکف مرتبه اول برای وقوع بارش روزانه گزارش نمودند، مطابقت دارد (Schoof and Pryor, 2008).

نتایج نشان داد که در میان ایستگاه‌ها، احتمال وقوع یک روز تر (بر اساس مدل زنجیره مارکف مرتبه اول) ارتباط مستقیمی با مقدار بارش در آن روز را ندارد. در تمام ایستگاه‌های مورد بررسی با افزایش میزان بارندگی، احتمال شرطی P_{ww} نیز افزایش نمی‌یابد. بر اساس توزیع کای‌دو 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 این‌روی، فراوانی حالات انتقال از زنجیره مارکف دو حالتی پیروی می‌کند. هم‌چنین نتایج آزمون گردش توسط نرم‌افزار Minitab ایستایی بودن زنجیره را نشان می‌دهد.

از نتایج دیگر این تحقیق به‌دست آورن احتمال روزهای خشک متوالی و نیز احتمال اقلیمی روز خشک در هر یک از ایستگاه‌ها است. میانگین احتمال روزهای تر متوالی در ایستگاه‌های اهواز، آبادان، امیدیه و دزفول به‌ترتیب ۳۸/۹۱، ۳۶/۳۷، ۴۳/۳۲ و ۴۴/۸۸ درصد می‌باشد. هم‌چنین میانگین احتمال اقلیمی روز تر در این ایستگاه‌ها به‌ترتیب ۱۳/۹، ۱۰/۷، ۱۳/۵۴ و ۱۷/۷ درصد می‌باشد. احتمالات شرطی و ساده روزهای خشک و تر برای فصل بارش در جدول (۳) آورده شده است (به‌دلیل بالا بودن حجم جداول از ارائه تمام جداول خودداری شده و فقط جدول مربوط به ایستگاه سینوپتیک اهواز به‌عنوان نمونه آورده شده است). هم‌چنین احتمالات شرطی و ساده روزهای تر برای تمام ایستگاه‌ها در شکل (۳) آورده شده است.

نتایج شکل‌های (۴) و (۵) بیان‌گر آن است که روش ویلکس قادر است با دقت قابل قبولی وقوع بارش را در ایستگاه‌های مورد مطالعه شبیه‌سازی نماید. عملکرد روش ویلکس در شبیه‌سازی وقوع بارش روزانه با کمک مدل زنجیره مارکف مرتبه اول و حفظ همبستگی مکانی بین ایستگاه‌های مجاور، توسط پراکندگی داده‌های تعداد روزهای بارانی شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در هر ماه و هم‌چنین پراکندگی همبستگی وقوع بارش بین تمام جفت ایستگاه‌های مطالعاتی شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در ماه‌های بارانی اطراف خط یک به یک و شاخص آماری R^2 مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۳- احتمالات ساده و شرطی وقوع روزهای تر و خشک ایستگاه اهواز

Table 3- Simple and conditional probabilities of dry and wet days of Ahvaz station

Day	Conditional probability				Simple probabaility	
	P_{ww}	P_{wd}	P_{dw}	P_{dd}	P_w	P_d
1	0.20	0.80	0.12	0.88	0.14	0.86
2	0.00	1.00	0.27	0.73	0.30	0.70
3	0.57	0.43	0.22	0.78	0.23	0.77
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
121	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
122	0.50	0.50	0.00	1.00	0.00	1.00
123	0.50	0.50	0.00	1.00	0.00	1.00
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
241	0.00	1.00	0.08	0.92	0.07	0.92
242	0.00	1.00	0.14	0.86	0.13	0.87
243	0.50	0.50	0.15	0.85	0.20	0.80

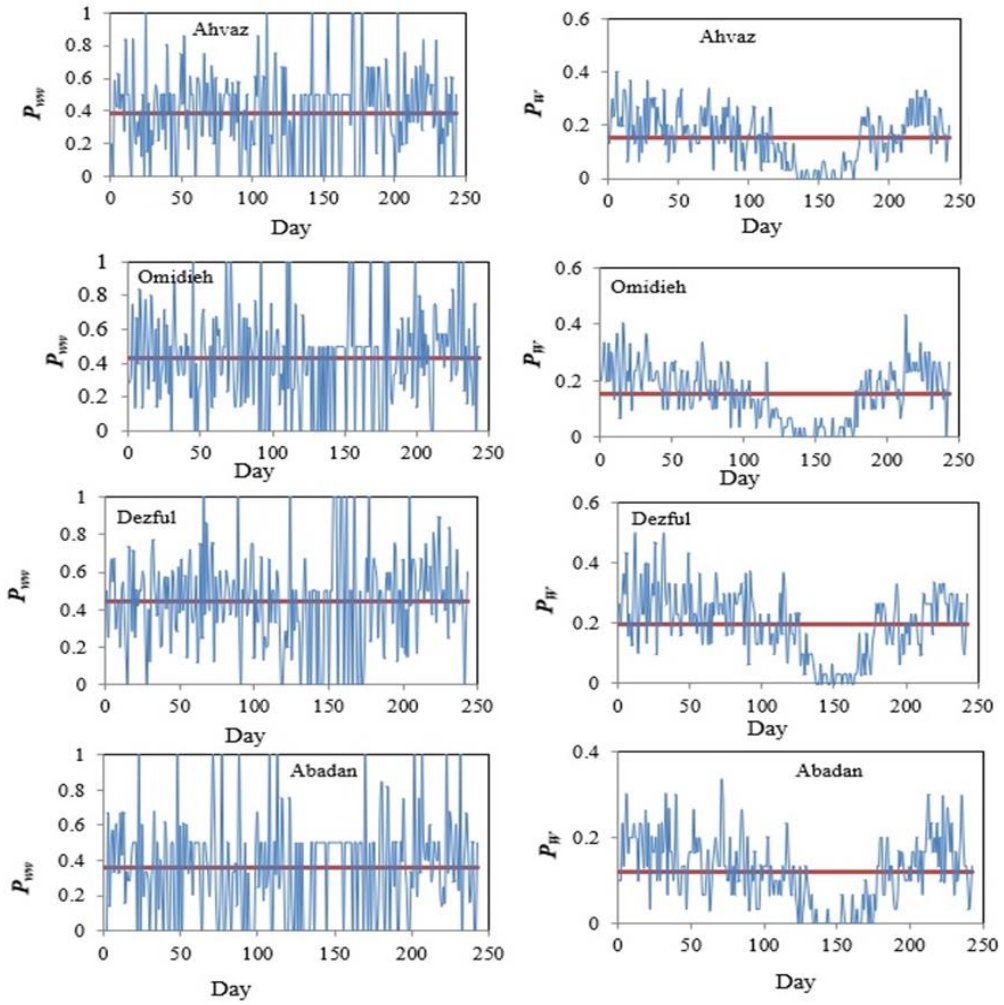

Fig.3- Simple and conditional probabilities of dry days for study stations

شکل۳- احتمالات ساده و شرطی وقوع روزهای تر در ایستگاه‌های مطالعاتی

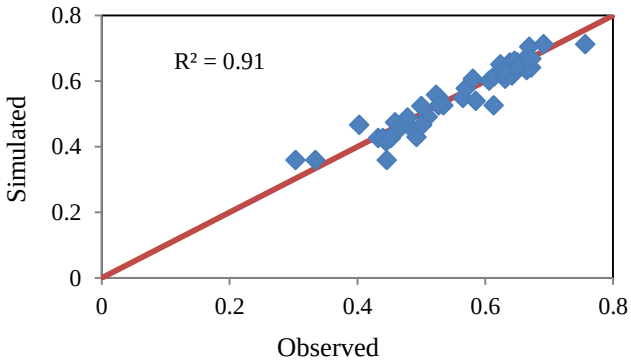

Fig. 4- Comparison of observation and simulation of correlation between occurrence rainfall, for all station pairs

شکل ٤- مقایسه همبستگی وقوع بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی برای تمام جفت ایستگاه‌ها

DOI: 10.22055/JISE.2019.25534.1757

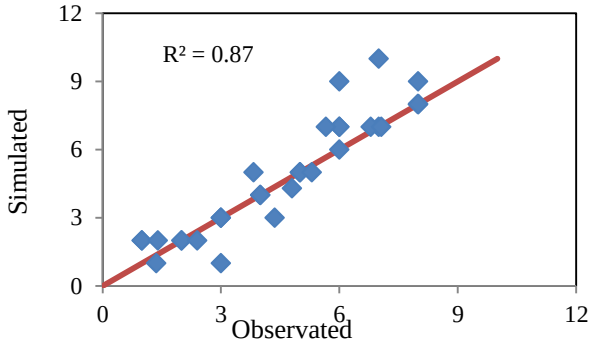

Fig. 5- Comparison of observation and simulation of number wet days for all stations
شکل ۵- مقایسه تعداد روزهای بارانی مشاهداتی و شبیه‌سازی برای تمام ایستگاه‌ها

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، ویژگی‌های دوره‌های تر و خشک بارش روزانه چهار ایستگاه سینوپتیک در استان خوزستان که دارای اقلیم‌های خشک معتدل و نیمه‌خشک معتدل بودند، با استفاده از مدل زنجیره مارکف مرتبه اول، دوم و سوم مورد بررسی قرار گرفت. حد آستانه ۰/۱ میلی‌متر به‌عنوان شاخصی از وقوع بارش در نظر گرفته شد و روزهای با بارش کمتر از ۰/۱ میلی‌متر به‌عنوان روز خشک در محاسبات محسوب گردید. براساس معیار AIC مشخص شد که مدل زنجیره مارکف مرتبه اول برای برآورد وقوع بارش روزانه مناسب‌ترین الگو می‌باشد. براساس این معیار، به‌طور متوسط برتری مدل زنجیره مارکف مرتبه اول نسبت به مرتبه دوم و سوم به‌ترتیب ۶۱ و ۷۴ درصد برای تمام ایستگاه‌های مطالعاتی بوده است. با توجه به نتایج حاصل از معیار AIC، از پارامترهای مدل زنجیره مارکف مرتبه اول در شبیه‌سازی وقوع بارش با حفظ همبستگی مکانی استفاده شد.

از نتایج دیگر این تحقیق به‌دست آورن احتمال روزهای خشک متوالی و نیز احتمال اقلیمی روز خشک در هر یک از ایستگاه‌ها است. میانگین احتمال روزهای تر متوالی در ایستگاه-های مطالعاتی بین ۳۶/۳۷ (آبادان) تا ۴۴/۸۸ درصد (دزفول) متغیر می‌باشد. هم‌چنین تغییرات میانگین احتمال اقلیمی روز تر در ایستگاه‌های مورد بررسی بین ۱۰/۷ (آبادان) تا ۱۷/۷ درصد (دزفول) است. هم‌چنین نتایج حاصل از روش ویلکس با کمک مدل زنجیره مارکف توسط پراکندگی داده‌های مربوط به تعداد روزهای بارانی در هر ماه و همبستگی داده‌های وقوع بارش هر جفت ایستگاه برای مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در اطراف خط یک به یک و نتایج معیار R^2 نشان داد که روش ارائه‌شده دراین تحقیق قادر است با دقت بالایی وقوع بارش در ایستگاه‌های مورد مطالعه را شبیه‌سازی نماید

تقدیر و تشکر

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از حمایت و کمک سازمان هواشناسی کشور به‌منظور ارائه داده های بارش روزانه ایستگاه‌های مطالعاتی برای انجام این تحقیق تشکر نمایند.

Refrences

1- Ababaei, B., Mirzaei, F. and Sohrabi, T., 2014. Developing a Weather Generator Model to Preserve Spatial Correlations between Neighboring Stations. *Water and Soil Science*, 25(1),pp.181-192. (In Persian).

2- Ailliot, P., Thompson, C. and Thomson, P., 2009. Space-time modelling of precipitation by using a hidden Markov model and censored Gaussian distributions. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 58, pp.405–426.

3- Akaike, H., 1974. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19, pp.716–723.

4- Apipattanavis, S., Podesta, G., Rajagopalan, B. and Katz, R.W., 2007. A semiparametric multivariate and multisite weather generator. *Water Resource Research*, 43 (11),pp. 1-19.

5- Azhdary Moghaddam, M. and Heravi, Z., 2018. Evaluation of IDF curve production methods by relationship based on nature of combination of fractal of precipitation. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(6), pp.271-282. (In Persian).

6- Bakhtiari, B., Shahraki, N. and Ahmadi, M.M., 2014. Estimation probability of daily precipitation by using Markov chain models in different climates of Iran. *Iran-Water Resources Research*, 2, pp.44-55. (In Persian).

7- Bardossy, A. and Pegram, G.G.S., 2009. Copula based multisite model for daily precipitation simulation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13 (12), pp.2299–2314.

8- Brissette, F.P., Khalili, M. and Leconte, R., 2007. Efficient stochastic generation of multi-site synthetic precipitation data. *Journal of Hydrology*, 345, pp.121–133.

9- Byung-Jin, S., Hyun-Han, K., Dongkyun, k. and Seung, O.L., 2015. Modeling of daily rainfall sequence and extremes based on a semiparametric Pareto tail approach at multiple locations. *Journal of Hydrology*, 529, pp.1442-1450.

10- Daniel, S., 1985. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. Dep of soil, Crop and Atmospheric Sciences*. ITHACA, Cornell Univ, New Yourk.

11- Darand, M., 2016. Recognition of precipitation homogeny regions of in Iran based on Aphrodite Data Base. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(2), pp.99-114. (In Persian).

12- Dastidar, A.G., Gosh, D. and Dasgupta, S., 2010 Higher order Markov chain models for monsoo rainfall over west Bengal, India. *Indian Journal of Radio & Space Physics*, 39, pp.39-44.

13- Ghamghami, m., Ghahraman, N. and Bazrafshan, J., 2016. Spatial-temporal modeling of occurrence and amount of winter rainfall using hidden Markov model. *Journal of watershed management research*, 6 (12), pp.139 – 153.

14- Ghasdi, T., Ghahreman, N. and Ghamghami, M., 2016. Comparison ofperformance of two spatial-temporal approaches for daily rainfall simulation across Iran. *Iran-Water Resources Research*, 12(1), pp.158-170. (In Persian).

15- Goodarzi, L., Banihabib, M.E. and Ghafarian, P., 2018. Evaluation of the WRF model performance for heavy rainfall simulation a case study of the Kan basin in Iran. *Journal of Water and Soil Conserva*tion, 25(1), pp.229-242. (In Persian).

16- Hasanalizadeh, N., Mosaedi, A., Zahiri, A.R. and Hosseinalizadeh, M., 2015. Modeling Spatio-temporal variation of monthly precipitation (Case Study: Golestan province). *Journal of Water and Soil Conservation*, 22(1), pp.251-269. (In Persian).

17- Katz, R.W., 1981. On some criteria for estimating the order of a Markov chain. *Technometrics*, 23, pp.243–249.

18- Khalil, A.F., Kwon, H.H., Lall, U. and Kaheil, Y.H., 2010. Predictive downscaling based on non-homogeneous hidden Markov models. *Hydrological Sciences Journal*, 55 (3), pp.333–350.

19- Khalili, A., 1997. Integrated water plan of Iran. *Meteorological studies, Ministry of power, Iran*.

20- Kwon, H.H., Lall, U. and Obeysekera, J., 2009. Simulation of daily rainfall scenarios with interannual and multidecadal climate cycles for South Florida. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 23 (7), pp.879–896.

21- Li, C., Singh, V.P. and Mishra, A.K., 2013. A bivariate mixed distribution with a heavytailed component and its application to single-site daily rainfall simulation. *Water Resource Research*, 49 (2), pp.767–789.

22- Liu, J., Williams, J.R., Wang, X. and Yang, H., 2009. Using MODAWEC to generate daily weather data for the EPIC model. *Environmental Modelling & Software*, 24, pp. 655–664.

23- Mandal, K.G., Padhi, J., Kumar, A., Ghosh, S., Panda, D.K., Mohanty, R.K. and Raychaudhuri, M., 2015. Analyses of rainfall using probability distribution and Markov chain models for crop planning in Daspalla region in Odisha, India. *Theoretical applied and climatology*, 121, pp.517-528.

24- Mhanna, M. and Bauwens, W., 2011. A stochastic space-time model for the generation of daily rainfall in the Gaza Strip. *International Journal of Climatology*, pp.1-15.

25- Mirmousavi, H. and Zohrehvandi, H., 2011. Modeling of weekly rainfall probabilities to analyze consecutive dry days (Case to study: Nahavand Meteorological Station of Hamedan Province. In *2the National Conference on Applied Research in Water Resources of Iran, 18-19 May, Zanjan Regional Water Authority, Zanjan, Iran.* (In Persian).

26- Moon, S.E., Ryoo, S.B. and Kwon, J.G., 1994. A Markov Chain Model for Daily Precipitation Occurrence in South Korea. *International Journal of Climatology*, 14, pp.1009-1016.

27- Moradi, H.R., Rajabi, M. and faragzade, M., 2011. Investigation of meteorological drought characteristics in Fars province, Iran. *CATENA*, 84, pp.35-46.

28- Mouelhi, S., Nemri, S., Jebari, s. and Slimani, M., 2016. Using the Markov chain for the generation of monthly rainfall series in a semi-arid zone. *Open Journal of Modern Hydrology*, 6, pp.51-65.

29- Mozafari, Gh.A., Mazidi, A. and Shafie, Sh., 2017. Analysis and determining the threshold of extreme precipitation of Western Iran through using general extreme value distribution. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(2), pp.107-125. (In Persian).

30- Nadi, M. and Baziyarpoor, h., 2017. Evaluation and modification of Aphrodite daily precipitation network in Golestan province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(4), pp.273-286. (In Persian).

31- Rahimi, J., Ghahreman, N. and Rahimi, A., 2011. Markov chain model probability of dry, wet weeks and statistical analysis of weekly rainfall for Agricultural Planning at Varamin plain. In *1the National Conference on agrometeorology and agricultural water management, 22-23 november, Tehran university, Iran.* (In Persian).

32- Salarijazi, M., 2017. Determination of distributional changes of annual rainfall in some semi-northern stations in Iran. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(4), pp.143-159. (In Persian).

33- Samadi Broujeni, H. and Ebrahimi, A.S., 2010. *Drought consequences and ways to deal with it in Chaharmahal va Bakhtiari province*. Shahrekord University, pp.460. (In Persian).

34- Schoof, J.T. and Pryor, S.C., 2008 On the proper order of Markov chain model for daily precipitation occurrence in the Contiguous United States. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47, pp.2477-248.

35- Schwarz, G., 1978. Estimating the dimension of a model. *Annals of Statistics*, 6, pp. 461–464.

36- Senthilvelan, A., Ganesh, A. and Banukumar, K., 2012. Markov Chain Model for Probability of Weekly Rainfall in Orathanadu Taluk, Thanjavur District, Tamil Nadu. *International Journal Geomatics and Geosciences*, 3(1), pp.191-203.

37- Srikanthan, R. and Pegram, G.G.S., 2009. A nested multisite daily rainfall stochastic generation model. *Journal of Hydrology*, 371, pp.142–153.

38- Srikanthan, R., 2005. Stochastic generation of daily rainfall data at a number of sites. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology. *Technical Rep. 05/7.*

39- Thompson, C.S., Thompson, P.J. and Zheng, X., 2007. Fitting a multisite daily rainfall model to New Zealand data. *Journal of Hydrology*, 340, pp.25-39.

40- Tong, H., 1975. Determination of the order of a Markov chain by Akaike's Information Criterion. *Journal of Applied Probability*, 12, pp.488–497.

41- Wilks, D.S., 1998. Multisite generalization of a daily stochastic precipitation generation model. *Journal of Hydrology*, 210, pp.178–191.

42- Wilks, D.S., 1999. Interannual variability and extreme-value characteristics of several stochastic daily precipitation models. *Agricultural and Forest Meteorology*, 93 (3), pp.153– 169.

43- www.chaharmahalmet.ir