Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 44, No. 4, Winter 2022, p. 123-137

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

Research Paper

EXTENDED ABSTRACT

Evaluation of the CLIGEN Weather Generator for Producing Climate Data Records in the Northeast of Iran (Case Study: Sanganeh Station, Khorasan Razavi Province)

Sh. Abbasi Jondani[1*] and A. A. Nazari Samani[2]

1- Corresponding Author, Ph.D., Watershed Management, University of Tehran (sh.abbasi@ut.ac.ir)*
2- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran.

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 10 April 2018
Revised: 4 March 2021
Accepted: 7 March 2021

Keywords:
Weather generator, CLIGEN, Statistical test, Maximum 30-minute precipitation intensity, Markov chain model, Sanganeh.

TO CITE THIS ARTICLE:

Abbasi Jondani, S., Nazari Samani, A. (2021). 'Evaluation of the CLIGEN Weather Generator for Producing Climate Data Records in the Northeast of Iran (Case Study: Sanganeh Station, Khorasan Razavi Province)', Irrigation Sciences and Engineering, 44(4), pp. 123-137. doi: 10.22055/jise.2021.21249.1529.

Introduction

Recorded daily weather data are used as climate input in a number of models that continuously simulate the natural resource systems (Yu, 2003). However, it is sometimes difficult to obtain the required data, and also to process them simply because they are lacking or unavailable. Weather generators have been accordingly developed to produce synthetic weather sequences capturing the essential features of observed weather data needed for running the models. In effect, weather generators are widely used in hydrological, ecological, and crop-yield modeling frameworks. CLIGEN (CLImate GENerator), which was first developed as a component of the Water Erosion Prediction Project (WEPP) (Nicks et al., 1995), is a stochastic weather generator that generates long sequences of daily precipitation (e.g., the pattern of each rainfall event including its duration, time to peak, and intensity), maximum and minimum daily temperature, dew point temperature, solar radiation, and wind speed and direction. CLIGEN has been currently used as a general weather generator beyond its initial intention in many locations around the world. This research was thus conducted to examine the efficiency of CLIGEN in generating the weather data in Sanganeh station in the northeast of Iran.

Methodology

To produce a parameter file for CLIGEN, the researchers collected daily weather data from Sanganeh station during 2006-2013, and then calculated its monthly statistics. Some properties of precipitation such as maximum half-hour intensity and time to peak were calculated from 241 storms reported therein. A two-state Markov chain was used to calculate the probabilities associated with the occurrence of precipitation by calculating two conditional probabilities: α: the probability of a wet day following a dry day, and β: the probability of a dry day following a wet day. The two-state Markov chain for the combination of conditional probabilities is as follows:

$$P\left(\frac{W}{D}\right) = \alpha \quad (1)$$

$$P\left(\frac{D}{D}\right) = 1 - \alpha \quad (2)$$

$$P\left(\frac{D}{W}\right) = \beta \quad (3)$$

$$P\left(\frac{W}{W}\right) = 1 - \beta \quad (4)$$

Where P (W|D), P (D|D), P (D|W), and P (W|W) are the probabilities of a wet given a dry, dry given a dry, dry given a wet, and a wet given a previous wet day, respectively (Nicks et al., 1995). The daily precipitation amount of a wet day is generated using a transformed (skewed) normal distribution. Statistical parameters related to input data such as mean, standard deviation, and skewness of daily parameters were also calculated for 12 months. The parameters needed to generate daily data sequences using CLIGEN were, in turn, calculated from daily records of the 8-year period for Sanganeh station.

Accordingly, the 100-year sequences of daily data for Sanganeh station were generated using the same data, and each 100-year sequence was then subdivided into ten 10-year sequences. A long sequence was indeed divided into subsequences instead of running the generator several times to produce the 10-year sequences given that CLIGEN uses a pseudo-random number generator. If the random seed is not changed each time CLIGEN is run, identical sequences are thus created. Afterwards, the data of the ten sets of generated sequences were compared to those of the observed records.

The t-test was applied to compare the differences between the observed weather data and the generated ones. The P-value threshold is generally set to one of the three values of 0.01, 0.05, or 0.10. In order to detect subtle difference levels in this study, all three thresholds were used including P-value<0.01 as very significant (VSD), 0.01=<P-value<0.05 as moderately significant (MSD), 0.05=<P-value<0.1 as slightly significant (SSD). In turn, 0.10=<P-value was considered not to be significant (NSD) (Kou et al., 2007).

Results and Discussion

The results showed that 33% of storms in Sanganeh station were Class-1 type (Figure 1), indicating that the maximum intensity of precipitation occurred at the beginning of the precipitation.

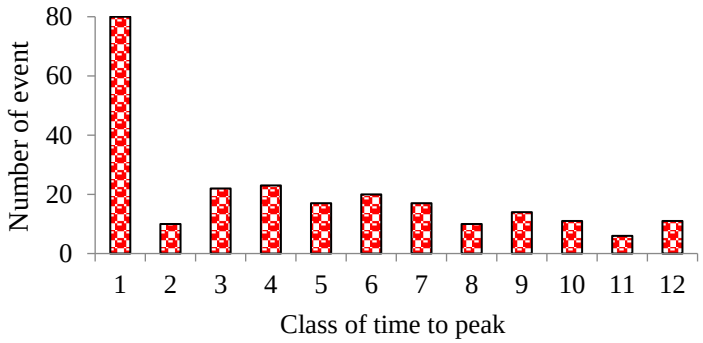

Fig. 1- Distribution of storms based on the class of time to peak

Based on the findings, no significant difference was found between the observed and generated values (P<1%) for all of the considered climatic variables (Table 1). As such, the ability of CLIGN to produce mean parameters was found to be very satisfactory.

Table 1- Mean comparison of the yearly variables in the observed and CLIGEN-generated data

Variable	Difference level			
	VSD	MSD	SSD	NSD
A yearly total precipitation	0	0	0	12
A yearly number of a wet day	0	0	0	12
A yearly max. temperature	0	0	0	12
A yearly min. temperature	0	0	2	10

The satisfactory efficiency of the CLIGEN weather generator in Sanganeh station is presented in Table (2).

Table 2. Evaluation of the CLIGEN weather generator in Sanganeh station

Variable	NSD-%
A yearly total precipitation	100
A yearly number of a wet day	100
A yearly max. temperature	100
A yearly min. temperature	83.33

Conclusions

The findings revealed that using CLIGEN to generate appropriate long weather data file needed for the WEPP model would lead to satisfactory results by considering a short local climate data. However, more research is needed in terms of short time series and climate variability to elucidate the efficiency of CLIGEN in estimating precipitation in Iran.

Acknowledgment

The authors would like to thank the University of Tehran for supporting this research.

References

1- Kou, X., Ge, J., Wang, Y. and Zhang, C., 2007. Validation of the weather generator CLIGEN with daily precipitation data from the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology. 347*, pp.347-357.

2- Nicks, A.D., Lane, L.J., and Gander, G.A., 1995. Chapter 2. Weather Generator. In: (Flanagan, D.C., and M.A. Nearing, (eds.)) Hillslope Profile and Watershed Model Documentation. *NSERL Report No. 10, USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, IN*.

3- Yu, B., 2000. Improvement and evaluation of CLIGEN for storm generation. *Trans. ASCE. 46*, pp.301–307.

© 2022 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 ٤٤، شماره‌ی٤، زمستان ١٤٠٠، مقاله پژوهشی، ص. ۱۳۷-۱۲۳

ارزیابی کارایی مولد کلیژن برای تولید داده‌های اقلیمی در شمال شرق ایران (مطالعه موردی: ایستگاه سنگانه، استان خراسان رضوی)

شهربانو عباسی جندانی[1*] و علی اکبر نظری سامانی[2]

۱*- نویسنده مسئول، دکتری علوم و مهندسی آبخیز، دانشگاه تهران، sh.abbasi@ut.ac.ir

۲- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

دریافت: ۱۳۹۷/۱/۲۱ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۲/۱۴ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۷

چکیده

کلیژن یک مولد هواشناسی تصادفی است که ۱۰ متغیر اقلیمی از قبیل بارش روزانه، مدت رگبار، حداکثر شدت نیم ساعته رگبار، تابش خورشیدی، دمای بیشینه و کمینه و سرعت و جهت باد را تولید می‌کنند. هدف از این مطالعه ارزیابی کارایی کلیژن در تولید داده‌های اقلیمی در ایستگاه تحقیقاتی سنگانه در شمال شرق ایران می‌باشد. برای اجرای کلیژن مقادیر ماهانه پارامترهای اقلیمی مورد نیاز بر اساس دوره آماری ۲۰۱۳-۲۰۰٦ در ایستگاه سنگانه استخراج شده است. برای محاسبه متغیرهای مربوط به بارش نیز الگوی شدت ۲٤۱ رگبار تجزیه و تحلیل شده است. پس از اجرای مولد کلیژن، مجموعه داده اقلیمی ۱۰۰ ساله تولید شده به ۱۲ زیرمجموعه ۸ ساله تقسیم شده و سپس میانگین داده‌های مشاهداتی و تولید شده توسط کلیژن با استفاده از آزمون آماری t مقایسه شده است. نتایج حاصل از اجرای آزمون t نشان داد که بین میانگین گروه‌های مختلف متغیرهای بررسی شده (بارش کل سالانه، تعداد روز مرطوب سالانه، دمای کمینه و دمای بیشینه) اختلاف معنی داری وجود ندارد. در واقع کارایی کلیژن در ایستگاه سنگانه برای متغیرهای میانگین بارش سالانه، تعداد روز مرطوب سالانه و میانگین دمای بیشینه سالانه ۱۰۰ درصد، در مورد میانگین دمای کمینه سالانه ۸۳ درصد و در مورد میانگین بارش ماهانه ۹۵ درصد است. به طور کلی نتایج حاصل از این مطالعه نشان دهنده کارایی قابل قبول کلیژن برای تولید داده‌های اقلیمی بلند مدت با استفاده از داده‌های کوتاه مدت می‌باشد، اما با توجه به طول دوره آماری کوتاه و نیز تغییر پذیری‌های اقلیمی به تحقیقات بیشتری برای تایید کارایی کلیژن در کشور ایران نیاز است.

کلید واژه‌ها: مولد هواشناسی، کلیژن، آزمون آماری، حداکثر شدت بارش نیم ساعته، زنجیره مارکوف، سنگانه.

مقدمه

امروزه پژوهشگران بر این امر واقفند که اگر بخواهند در مورد پدیده‌های مختلف اظهار نظر کنند باید به زبان آمار و ارقام نظرات خود را بیان کنند. برای بررسی پدیده‌های طبیعی نیز با توجه به پیچیدگی آنها، استفاده از آمار نقش حیاتی دارد. در این بین داده‌های روزانه هواشناسی برای کاربردهای زیادی از قبیل طراحی ساختارهای هیدرولیکی، مطالعات هیدرولوژی حوزه آبخیز، تعیین تبخیر، ارزیابی وضعیت آلودگی‌ها در خاک، مدلسازی آب موجود در خاک و اجرای مدل‌های شبیه‌ساز، مورد نیاز است. بسیاری از مدل‌ها برای ارزیابی تاثیرات هیدرولوژیکی، کشاورزی و اکولوژیکی به اطلاعات ورودی طولانی مدت و سری زمانی داده‌های هواشناسی روزانه نیاز دارند (Zhang et al., 2008). با این وجود داده‌های هواشناسی با مشکلاتی از قبیل داده مفقود شده، مشاهدات نادرست، کامل نبودن داده‌ها، قابل دسترس نبودن و نیز فواصل زمانی زیاد در مشاهدات روبه‌رو هستند. به عنوان مثال داده‌های بارش روزانه برای ارزیابی شاخص فرسایندگی باران مناسب نمی‌باشند. علاوه بر این، هنوز هم مناطق بسیاری وجود دارند که فاقد ایستگاه هواشناسی برای ثبت داده‌ها می‌باشند (Fan et al., 2013). به دلیل کوتاه بودن طول دوره آماری و یا ثبت داده‌ها در مقیاس زمانی ماهانه، برای استفاده از داده‌های هواشناسی در مدل‌های شبیه‌ساز کشاورزی، هیدرولوژی و اکوسیستمی، محدودیت‌های جدی وجود دارد (Hoogenboom, 2000). بنابراین تولید داده هواشناسی روزانه درست برای برطرف کردن این قبیل نیازها، لازم است.

استفاده از مولدهای هواشناسی برای شبیه‌سازی و تولید سری زمانی داده‌های هواشناسی روزانه در مناطقی معین و با استفاده از آنالیز آماری داده‌های هواشناسی طولانی مدت آن منطقه، می‌تواند تا حدودی مشکلات مطرح شده را بر طرف می‌کند (Richardson et al., 1984). علاوه بر این با استفاده از آمار داده‌های مشاهداتی، مولدهای هواشناسی می‌توانند داده‌های هواشناسی را برای مناطقی با الگوهای هواشناسی مشابه تولید کنند. این دلیل چرایی استفاده گسترده از این مولدها می‌باشد (Fan et al., 2013).

امروزه مولدها، ابزارهای استانداردی برای سیستم‌های تصمیم‌گیری در بخش کشاورزی، مدیریت محیط زیست و هیدرولوژی محسوب می‌شوند. نکته ضروری در استفاده از این

مولدها اعتبارسنجی آنها می‌باشد. آزمایش و اعتبارسنجی آنها در موقعیت‌هایی متفاوت از منطقه توسعه، بسیار لازم و ضروری می‌باشد. در واقع داده هواشناسی روزانه تولید شده برای یک منطقه باید ویژگی‌های آماری مشابهی با داده هواشناسی واقعی آن منطقه داشته باشد.

مولدهای هواشناسی مختلف با اهداف متفاوت به وجود آمده‌اند که از این میان می‌توان به برنامه‌هایی مانند کلیژن (CLIGEN)، کلایمژن (ClimGen) و لارس دبلیو جی (LARS-WG) اشاره کرد. این مولدهای هواشناسی با استفاده از مشخصات آماری پایگاه داده هواشناسی کوتاه مدت موجود، داده‌های هواشناسی روزانه بلند مدت ترکیبی را تولید می‌کنند. کلیژن (Nicks et al., 1995) برنامه مستقلی است که فایل‌های ورودی هواشناسی را تولید می‌کند. کلیژن، ابتدا برای مدل‌های EPIC و SWRRB ایجاد و سپس در مدل‌های فرسایشی WEPP و WEPS، نیز به کار برده شد. کلیژن برای هر ایستگاه به متغیرهای هواشناسی ماهانه بلندمدت نیاز دارد تا با استفاده از آنها و بر اساس توابع موجود در آن، متغیرهای هواشناسی روزانه را تولید کند. کلیژن تنها مولد هواشناسی است که می‌تواند الگوهای داخلی رگبار (مدت رگبار، شدت پیک و زمان تا پیک) را که ویژگی منحصر به فردی محسوب می‌شود، تولید کند (Zhang et al., 2008). این مزیت برای بسیاری از کاربران مدل‌های هیدرولوژیک از قبیل WEPP، WEPS، SWAT و RUSLE جذاب است، به دلیل اینکه شدت بارش درون رگباری برای فرآیندهای هیدرولوژیک و فرسایش بی نهایت مهم است (Kou et al., 2007). البته باید توجه داشت که قبل از استفاده از هر نوع مولدی، لازم است تا کارایی آن در منطقه مورد مطالعه و برای هدف مورد نظر ارزیابی شود.

امروزه به طور گسترده‌ای از مولدهای هواشناسی در سراسر جهان استفاده می‌شود. برای نمونه، Nicks et al. (1995) از الگوهای شدت تولید شده با کلیژن به عنوان ورودی در WEPP استفاده کرده و نشان دادند که رواناب محاسبه شده تطابق خوبی با مقادیر مشاهداتی دارد. Elliot و Arnold (2001) کلیژن را در اوگاندا در آفریقا ارزیابی کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر میانگین بارش سالانه و میانگین ماهانه بارش بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده وجود ندارد. با این وجود دقت مدل در شبیه‌سازی الگوی رگبار روزانه مناسب نبوده است. Kou et al. (2007) برای ارزیابی دقت داده‌های تولید شده با کلیژن از داده‌های روزانه پنج ایستگاه با طول دوره آماری ۳۰ ساله استفاده کردند. نتایج به دست آمده نشان دهنده عملکرد بسیار خوب این مولد در مورد میانگین پارامترها و عملکرد قابل قبول آن در مورد انحراف استاندارد پارامترهای تولید شده بوده است. Caviglione et al. (2013) قابلیت مولد کلیژن را در شرایط اقلیمی ایالت پارانا (Parana) برزیل بررسی کردند. نتایج حاصله نشان داد که کلیژن در مورد پارامترهای میانگین و انحراف استاندارد تعداد روزهای مرطوب، بارش روزانه، تابش خورشیدی، دمای بیشینه و کمینه و دمای نقطه شبنم، توانایی قابل قبولی داشته، اما برای شبیه‌سازی شدت پیک نرمال شده رگبار کارایی خوبی نداشته است. Fan et al. (2013) اعتبار داده‌های باران شبیه‌سازی شده با کلیژن را در شمال تایوان بررسی کردند. نتایج به دست آمده اختلاف معنی‌داری را بین میانگین و پارامترهای توزیع مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای پارامترهای بارش شامل مقدار بارش ماهانه، تعداد روزهای مرطوب در ماه، بارش در روز مرطوب برای هر ماه و انحراف استاندارد بارش روزانه در هر ماه نشان نداد. با این وجود، مقادیر حداکثر شدت پیک ۳۰-۵ دقیقه‌ای بیش از حد تخمین زده شده بود. Chen و Brissette (2014) پنج مولد هواشناسی WGEN، ClimGen، Cligen، WeaGETS و LARSWG را در فلات لسی چین مقایسه نمودند. نتایج حاصله نشان داد که به طور کلی مدل WeaGETS نسبت به سایر مدل‌های عملکرد بهتری دارد. با این وجود در مورد وقایع حدی بارش، مولد کلیژن عملکرد قابل قبولی داشته که برای مطالعات فرسایش خاک مناسب می‌باشد. Al-Mukhtar et al. (2014) کارایی کلیژن را برای شبیه‌سازی داده بارش در حوزه آبخیز باوتزن (Bautzen) آلمان ارزیابی کردند. نتایج حاصله نشان دهنده عملکرد مناسب کلیژن برای شبیه‌سازی بارش و الگوی رگبار بوده است. Lobo et al. (2015) نیز بیان کردند که کلیژن مواردی مانند تعداد روز مرطوب و مقدار بارش را در منطقه مرکزی شیلی با دقت مناسبی تخمین می‌زند. آنها برای برخی از ویژگی رگبارهای منفرد مانند مدت و حداکثر شدت آن نیز از یک روش واسنجی استفاده کرده و دقت کلیژن را افزایش دادند. Vaghefi و Yu (2016) از کلیژن برای شبیه‌سازی روند کاهش بارش در جنوب غرب استرالیا استفاده کردند و کارایی این مولد را تایید کردند. Kinnell (2019) ابتدا کلیژن را به عنوان یک مولد اقلیمی برای مدل RUSLE2 معرفی کردند. سپس Kinnell و Yu (2020) از مولد کلیژن در مدل RUSLE2 استفاده کرده و مقادیر EI30 را برای بارش‌های تولید شده توسط این مولد تعیین کردند. در ایران نیز نخستین بار، Nazari Samani و Abbasi Jondani (2015) کارایی مولد کلیژن را در ایستگاه زیدشت استان البرز ارزیابی کردند. نتایج به دست آمده نشان دهنده کارایی قابل قبول این مولد در منطقه مطالعاتی بوده است.

اگرچه مولد کلیژن در بسیاری از نقاط جهان ارزیابی و استفاده شده است (برای نمونه: Nicks and Gander, 1994 و Hoomehr et al., 2016 در آمریکا، Yu (2000) در استرالیا، Elliot and Arnold, 2001 در آفریقا)، اما هنوز نمی‌توان گفت که این مولد کاربردی جهانی دارد. لذا لازم است تا قبل از استفاده در مکانی با اقلیمی منحصر به فرد، کارایی آن ارزیابی شود.

با توجه به ماهیت تصادفی بودن بسیاری از پدیده‌های طبیعی، بررسی نوسانات آنها در طول زمان با استفاده از داده‌های طولانی مدت امکان پذیر است. کوتاه بودن طول دوره آماری در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی کشور ایران از یک طرف و وجود نواقص اطلاعاتی در آمار این ایستگاه‌ها از طرف دیگر، استفاده از روش‌های

DOI: 10.22055/JISE.2021.21249.1529

آماری و به ویژه مولدها را برای تطویل آمار اجتناب ناپذیر می‌کند. لذا لازم است تا ابتدا کارایی، صحت و دقت داده‌های تولید شده توسط مولدها مشخص شود. از طرفی به دلیل مشکلات کار با کلیژن در ایران از جمله کمبود داده به خصوص در مورد رگبارها و نیز سختی محاسبه برخی از پارامترهای آن، تاکنون ارزیابی کارایی آن تنها در یک منطقه اقلیمی کشور انجام شده است. علاوه بر این، با توجه به اینکه در مدل فرآیند محور WEPP برای تولید داده بلند مدت اقلیمی از مولد کلیژن استفاده می‌شود، ارزیابی کارایی این مولد گامی مهم در جهت افزایش کارایی مدل پیچیده WEPP در ایران و متعاقب آن ارائه درکی بهتر از عملکرد و واکنش سیستم طبیعی مانند حوزه آبخیز نیز می‌باشد. لذا هدف از این پژوهش امکان سنجی ایجاد فایل با فرمت PAR.* برای استفاده در مولد کلیژن با استفاده از داده‌های واقعی و ارزیابی کارایی مولد کلیژن می‌باشد که امکان ارزیابی واقعی مدل‌های فرسایشی فرآیند محور مانند WEPP و WEPS را نیز فراهم می‌کند. تولید این فایل برای ایستگاه‌های منتخبی که در واقع معرف شرایط اقلیمی ناحیه اقلیمی در برگیرنده می‌باشند، این امکان را ایجاد می‌کند تا محققینی که برای ارزیابی مدل‌های فرسایشی نظیر WEPP و WEPS ناگزیر به تعیین ایستگاهی مشابه از آمریکا و استفاده از اطلاعات آنها هستند، از فایل‌های تهیه شده برای ایستگاه‌های منتخب در داخل کشور استفاده کنند که سبب افزایش دقت مطالعات آنها می‌شود.

مواد و روش‌ها

خصوصیات ایستگاه تحقیقاتی سنگانه

در سال ۱۳۷۵ برای بررسی پارامترهای مؤثر در تولید رسوب در عرصه‌های طبیعی و از طریق پلات‌های آزمایشی، ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه به مساحت بیش از ۵۰ هکتار در ۱۰۰ کیلومتری شمال‌شرق مشهد ایجاد شد. برای ثبت اطلاعات شدت، مدت و مقدار مربوط به هر واقعه بارندگی، دو دستگاه باران-نگار نیز در پایگاه نصب شده است که بارش رخ داده را به ازای هر ۰/۲ میلیمتر ثبت می‌کنند (Rangavar, 2004). برای ثبت دیگر داده‌های هواشناسی نیز یک ایستگاه تبخیرسنجی در سال ۱۳۸۷ در ایستگاه تحقیقاتی سنگانه احداث شده است (شکل ۱).

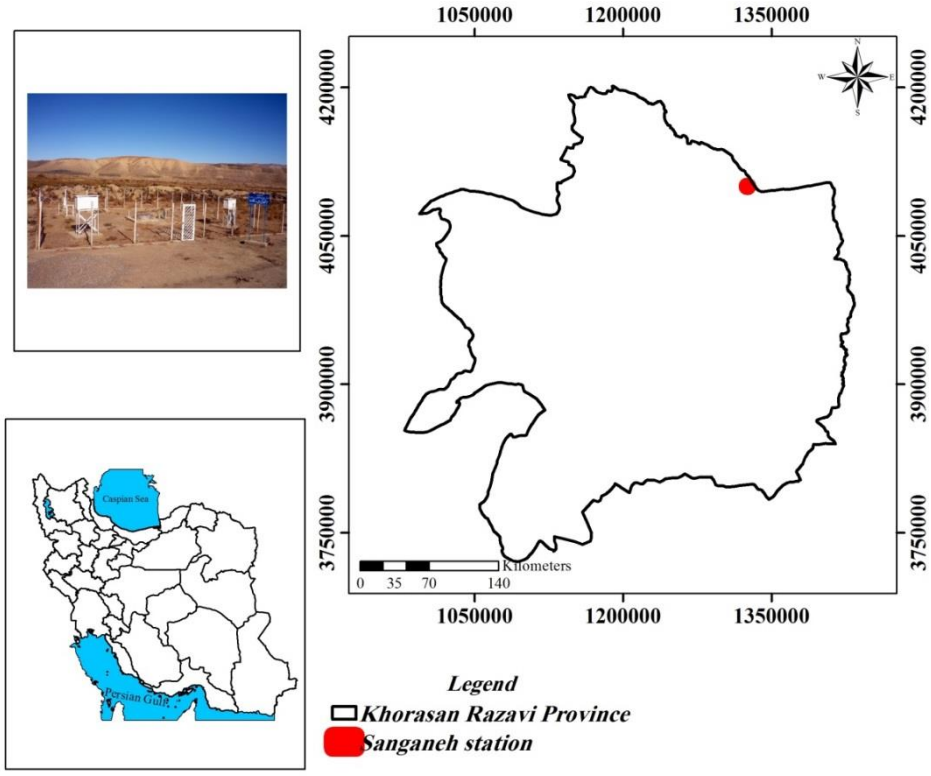

Fig. 1- Location of Sanganeh Research Station in Iran

شکل ۱- موقعیت ایستگاه تحقیقاتی سنگانه در ایران

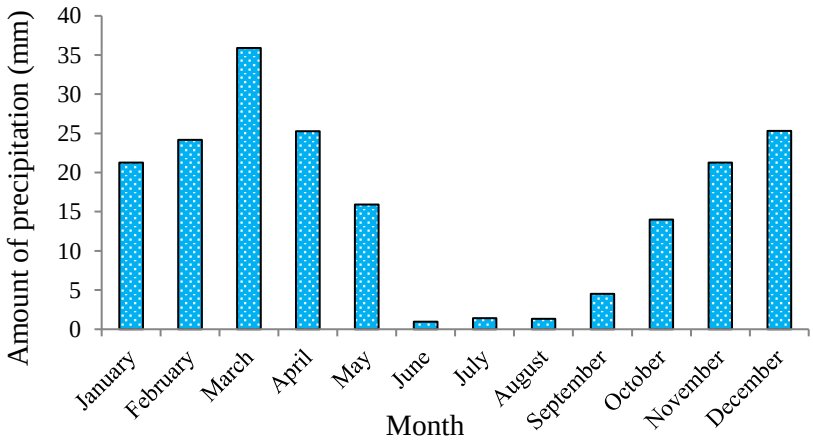

Fig. 2- Monthly average of precipitation in Sanganeh Station
شکل ۲- میانگین ماهانه بارش در ایستگاه سنگانه

متوسط بارندگی سالانه (۱۳-۲۰۰۶) ایستگاه سنگانه در حدود ۱۸۷ میلی‌متر می‌باشد. میانگین ماهانه بارش در طول دوره آماری ۲۰۰۶-۲۰۱۳ نیز در شکل (۲) نشان داده است. بر این اساس بیشترین مقدار بارش در منطقه در ماه مارس (اسفند) رخ می‌دهد، در حالیکه بیشترین حداکثر شدت نیم ساعته بارش با مقدار ۱۰/۲۴ میلیمتر بر ساعت مربوط به ماه می (اردیبهشت) می‌باشد. میانگین تعداد روزهای مرطوب (بارش بیش از ۰/۲ میلیمتر) در ایستگاه سنگانه در دوره آماری مورد نظر (۱۳-۲۰۰۶) ۶۷ روز می‌باشد.

روش کار

مولد کلیژن

متغیرهای هواشناسی ماهانه مورد نیاز برای اجرای مولد کلیژن شامل میانگین، انحراف معیار و ضریب چولگی عمق بارش، احتمالات روز مرطوب بعد از روز مرطوب و روز مرطوب بعد از روز خشک، میانگین، بیشینه و کمینه دمای هوا و انحراف معیار آنها، حداکثر شدت بارش نیم ساعته، زمان تا حداکثر شدت بارش، تابش خورشیدی و انحراف معیار آن، دمای نقطه شبنم و انحراف معیار آن، جهت‌های ۱۶ گانه وزش باد به همراه انحراف معیار و ضریب چولگی آنها و سرعت باد است. علاوه بر این دو متغیر حداکثر عمق بارش نیم ساعته و شش ساعته نیز برای اجرای این مولد نیاز است. این اطلاعات در قالب فایلی با فرمت PAR.* به کلیژن معرفی می‌شوند. با استفاده از این متغیرهای آماری ماهانه و توابع موجود در این مولد، کلیژن توالی روزانه داده هواشناسی شبیه‌سازی شده از قبیل مقدار بارش، مدت بارش، زمان تا حداکثر شدت بارش نرمال شده (زمان تا حداکثر شدت بارش به مدت کل بارش بارش)، شدت بارش نرمال شده (حداکثر شدت بارش به شدت متوسط بارش)، بیشینه دما، کمینه دما، تابش خورشیدی، سرعت و جهت باد و دمای نقطه شبنم را برای سال‌های مورد نظر، تولید خواهد کرد. به عنوان نمونه، مقدار بارش بر اساس توزیع نرمال چوله محاسبه می‌شود. برای تخمین مدت بارش و شدت پیک رگبار به ترتیب از روش Arnold et al. (1990) و Williams (1989) استفاده می‌شود. دمای بیشینه و کمینه، تابش خورشیدی، دمای نقطه شبنم و سرعت و جهت باد نیز با استفاده از توزیع نرمال محاسبه می‌شود.

از بین متغیرهای مورد نیاز برای اجرای کلیژن، متغیرهای مربوط به بارش و الگوی آن اهمیت بسزایی دارند. در کلیژن، احتمالات مربوط به وقوع بارش با استفاده از مدل زنجیره مارکوف محاسبه می‌شود. مدل زنجیره مارکوف روشی ریاضی برای مدلسازی فرآیندهای احتمالاتی است (Bakhtiari et al., 2014). 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).

برای اجرای مولد کلیژن، ابتدا دو متغیر احتمال روز مرطوب بعد از روز مرطوب و روز مرطوب بعد از روز خشک با استفاده از زنجیره مارکوف دو حالته مرتبه یک محاسبه شده و دو احتمال دیگر یعنی روز خشک بعد از روز مرطوب و روز خشک بعد از روز خشک در مولد کلیژن و از روی این احتمالات محاسبه می‌شوند. در واقع این روش شامل محاسبه دو احتمال شرطی است: α، احتمال روز مرطوب بعد از روز خشک و β، احتمال روز خشک بعد از روز مرطوب. زنجیره مارکوف مرتبه دو حالته برای به دست آوردن احتمالات شرطی به صورت زیر می‌باشد:

$$\mathbf{P}\left(\frac{\mathbf{W}}{\mathbf{D}}\right) = \boldsymbol{\alpha} \qquad (۱)$$

$$\mathbf{P}\left(\frac{\mathbf{D}}{\mathbf{D}}\right) = \mathbf{1} - \boldsymbol{\alpha} \qquad (۲)$$

$$\mathbf{P}\left(\frac{\mathbf{D}}{\mathbf{W}}\right) = \boldsymbol{\beta} \qquad (۳)$$

$$\mathbf{P}\left(\frac{\mathbf{W}}{\mathbf{W}}\right) = \mathbf{1} - \boldsymbol{\beta} \qquad (۴)$$

DOI: 10.22055/JISE.2021.21249.1529

که در آن $\mathbf{P\left(\frac{W}{D}\right)}$، $\mathbf{P\left(\frac{D}{D}\right)}$، $\mathbf{P\left(\frac{D}{W}\right)}$ و $\mathbf{P\left(\frac{W}{W}\right)}$ به ترتیب احتمال مرطوب به خشک، خشک به خشک، خشک به مرطوب و مرطوب به روز مرطوب قبلی می‌باشند.

متغیر زمان تا حداکثر شدت بارش نیز یکی از متغیرهای بسیار مهم در تعیین الگوی رگبار می‌باشد. برای محاسبه این متغیر، زمان تا پیک هر رگبار از شروع بازه نخست بارش تا نقطه میانی بازه‌ای با حداکثرشدت، محاسبه می‌شود. بازه‌هایی با مقدار بارش صفر نیز از مدت کل رگبار حذف می‌شوند. در نتیجه مدت مؤثر تنها شامل بازه‌های دارای بارش است. سپس زمان تا پیک به یکی از فواصل کلاس ۱۲ گانه در دامنه‌ای از صفر تا یک، نسبت داده می‌شود.

$$\mathbf{k = D_p/(0.08333D_e)} \qquad (۵)$$

که در آن، k: فاصله کلاس، D_p: زمان تا پیک و D_e: مدت مؤثر بارش است. توزیع تجمعی زمان تا پیک همه رگبارها در سال با جمع نسبت‌های تعداد رگبار در هر کلاس، ایجاد می‌شود:

$$\boldsymbol{A_k = \frac{N_k}{N}} \qquad (۶)$$

که در آن، A_k: فراوانی نسبی برای هر فاصله ۱۲، ...،۲،۱=k، N_k: تعداد رگبار با زمان تا پیک در فاصله مشخص و N: تعداد کل رگبارهای ایستگاه اندازه‌گیری است (Nicks et al., 1995). برای به دست آوردن متغیرهای حداکثر عمق بارش نیم ساعته و شش ساعته نیز ابتدا بهترین توزیع آماری برای داده‌های موجود با استفاده از نرم افزار Easyfit تعیین شده و سپس مقادیر این پارامترها در ایستگاه سنگانه محاسبه شده است.

برای محاسبه مقادیر ماهانه میانگین، انحراف معیار و چولگی سایر متغیرها در طول دوره آماری هشت ساله نیز از نرم افزارهای آماری مانند SPSS 16 و EXEL استفاده شده و داده‌های به دست آمده در قالب فایل PAR.* قرار گرفته است.

- **آنالیز و آزمون آماری**

با اجرای کلیژن توالی داده‌های هواشناسی روزانه ۱۰۰ ساله تولید می‌شود. این توالی ۱۰۰ ساله بر اساس طول دوره آماری مشاهداتی به ۱۲ توالی هشت ساله تقسیم می‌شود. دلیل تقسیم توالی طولانی مدت به توالی‌های کوتاه‌تر به جای چند بار اجرای مولد برای تولید داده با طول آماری مورد نظر، این حقیقت است که کلیژن از مولد عدد شبه تصادفی استفاده می‌کند. لذا اگر مقدار اولیه برای الگوریتم تولید عدد تصادفی در هر باری که کلیژن اجرا می‌شود تغییر نکند، توالی‌های یکسان تولید می‌شوند (Kou et al., 2007). سپس آمار مجموعه‌های ۱۲ ساله توالی‌های تولید شده با آمار داده‌های واقعی مقایسه می‌شود. در این مطالعه، برای مقایسه داده مشاهداتی و تولید شده از آزمون t (t جفتی) استفاده شده است. سطح معنی‌داری نیز با مقدار P-value تعیین شده است. اگر P-value کمتر از مقدار آستانه باشد، دو مجموعه به صورت معنی‌داری متفاوت هستند. معمولاً مقدار آستانه P-value بر اساس دقت آماری مورد نیاز در یکی از سه مقدار ۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱۰، قرار می‌گیرد. برای تعین دقیق تفاوت‌ها، در این مطالعه از هر سه آستانه استفاده شده و لذا چهار سطح اختلاف تعریف می‌شود: P-value <0.01: خیلی معنی‌دار (VSD) (Very Significant)، 0.01 ≤ P-value < 0.05: معنی‌داری متوسط (MSD) (Moderately Significant)، 0.05 ≤ P-value < 0.1: کمی معنی‌دار (SSD) (Slightly Significant) و 0.10 ≤ P-value: غیر معنی‌دار (NSD) (Not Significant) (Kou et al., 2007). برای متغیرهای در نظر گرفته شده (مقدار بارش سالانه، مقدار بارش ماهانه، تعداد روز مرطوب سالانه، دمای بیشینه و دمای کمینه سالانه)، مقایسه هر ۱۲ مجموعه داده تولید شده و داده مشاهداتی انجام می‌شود. محاسبات آماری در این مطالعه با استفاده از بسته نرم افزار SPSS.16 انجام شده است.

نتایج و بحث

زمان تا حداکثر شدت بارش (زمان از شروع رگبار تا وقتی که حداکثر شدت بارش رخ می‌دهد) پارامتری کلیدی در تعیین فرساینده بودن یک رگبار می‌باشد. ممکن است دو رگبار با مشخصات مشابه ولی زمان تا حداکثر شدت متفاوت نقش مختلفی در فرسایش و فرآیندهای هیدرولوژیک داشته باشند. سه نوع متفاوت الگوی رگبار در منطقه سنگانه در شکل‌های (۳) تا (۵) نشان داده شده است. هر یک از این رگبارها سبب بروز پاسخی متفاوت در حوزه آبخیز می‌شوند. در رگبار رخ داده در تاریخ ۲۰۰۸/۰۸/۲۹، شدت بارش در ابتدا زیاد بود و سپس کاهش می‌یابد، اما در رگبار رخ داده در تاریخ ۲۰۰۷/۰۲/۲۶ عکس این حالت وجود دارد و حداکثر شدت بارش در انتهای بارش به وقوع می‌پیوندد. در رگبار نشان داده شده در شکل (۴) (رگبار تاریخ ۲۰۰۷/۱۲/۱۸) نیز حداکثر شدت بارش در بازه میانی بارش رخ می‌دهد. به طور کلی و بر اساس تقسیم بندی ارائه شده در مولد کلیژن، رگبارهای رخ داده در ایستگاه سنگانه در ۱۲ کلاس قرار گرفته‌اند (شکل ۷).

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که ۳۳ درصد از رگبارهای ثبت شده در ایستگاه سنگانه در فاصله زمانی یک دوازدهم مدت کل بارش به حداکثر شدت خود می‌رسند (شکل ۶). در واقع در این رگبارها حداکثر شدت در ابتدای بارش رخ می‌دهد. با این وجود در ۱۱ کلاس باقیمانده پراکنش رگبارها تقریباً یکنواخت بوده است. این مورد به خصوص در رگبارهای کوتاه مدت بارزتر است به طوریکه ۴۰ درصد این رگبارها که بیش از ۷۰ درصد از کل رگبارهای رخ داده در طول دوره آماری را شامل می‌شوند، در کلاس یک قرار می‌گیرند. در حالیکه تنها ۱۷ درصد از رگبارهایی با طول بیش از چهار ساعت در این کلاس قرار می‌گیرند. پس از تعیین فراوانی رگبارهای رخ داده در هر کلاس، پارامتر A_k تجمعی برای استفاده در فایل با فرمت PAR.* محاسبه شده است (جدول ۱).

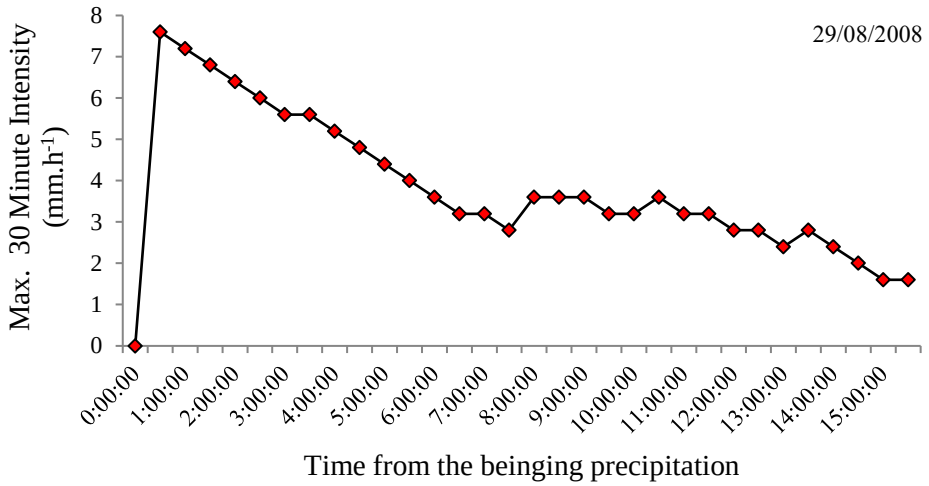

Fig. 3- Pattern of precipitation intensity- class1

شکل ۳- الگوی شدت بارش-کلاس اول

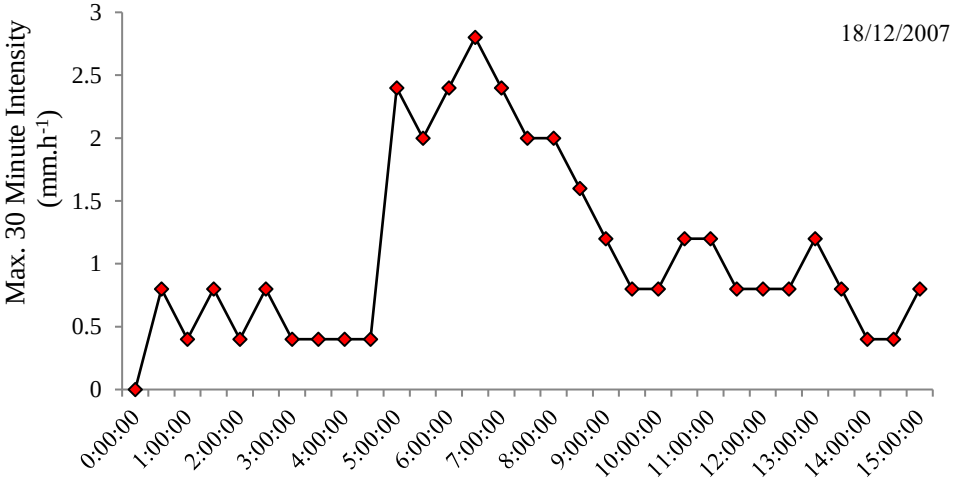

Fig. 4- Pattern of precipitation intensity- class 6

شکل ٤- الگوی شدت بارش-کلاس ششم

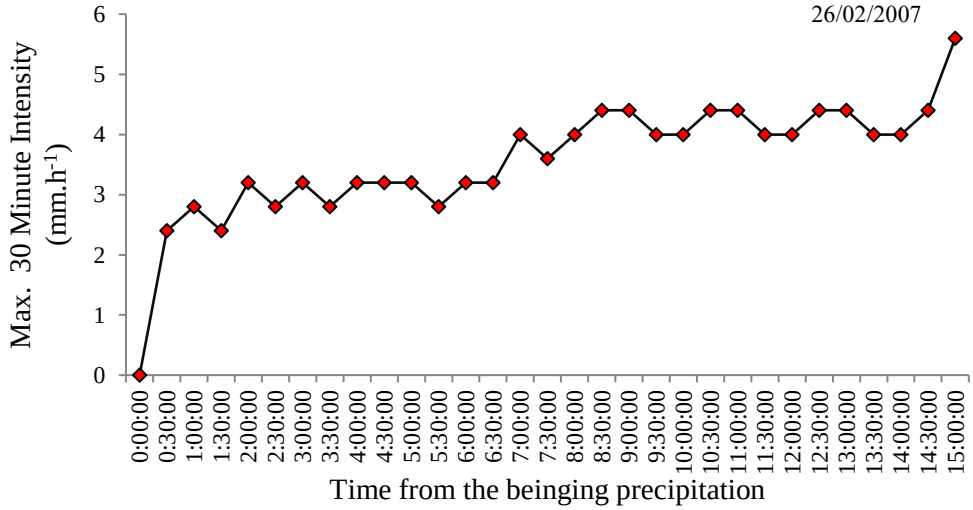

Fig. 5- Pattern of precipitation intensity- class 12

شکل ٥- الگوی شدت بارش-کلاس دوازدهم

DOI: 10.22055/JISE.2021.21249.1529

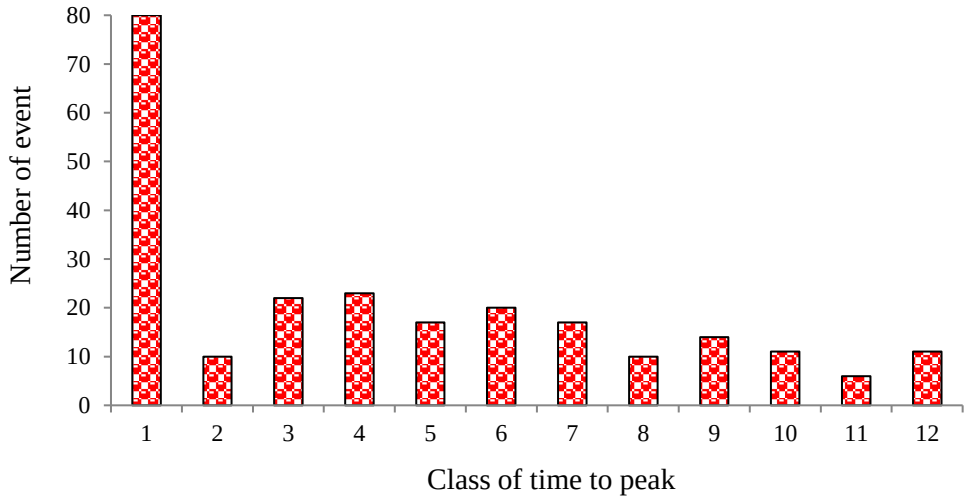

Fig. 6- Distribution of storms based on time to peak class of precipitation intensity
شکل ٦- توزیع رگبارها بر اساس کلاس زمان تا حداکثر شدت بارش

Table 1- Separation of event based on twelve classes
جدول ۱- تفکیک رگبارها بر اساس کلاس‌های ۱۲ گانه

Class	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Sum
N_k	80	10	22	23	17	20	17	10	14	11	6	11	241
Cumulative N_k	0.33	0.37	0.46	0.56	0.63	0.71	0.78	0.82	0.88	0.93	0.95	1	-

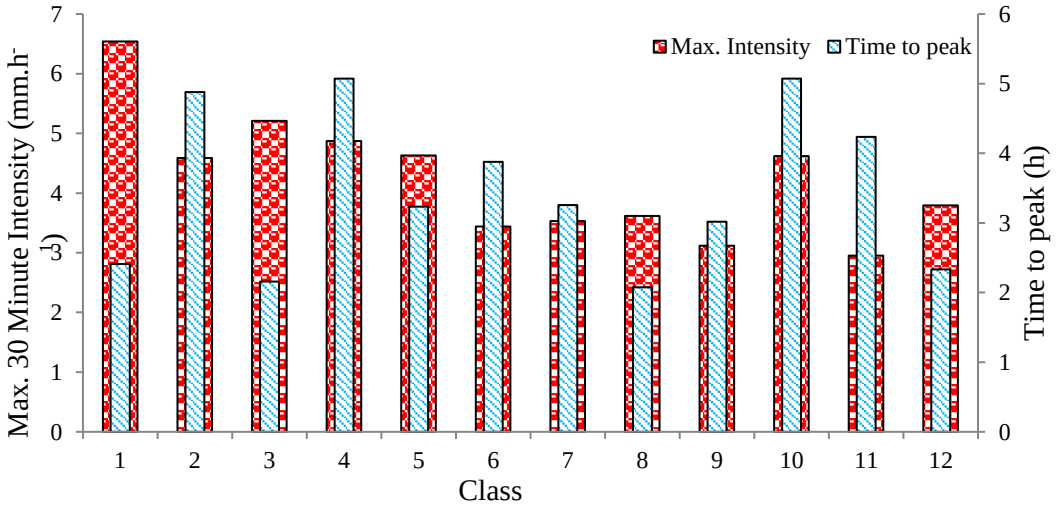

Fig. 7- Changes of two variables of time to peak and Max. I30 in twelve classes
شکل ۷- تغییرات دو متغیر زمان تا حداکثر شدت و حداکثر شدت نیم ساعته بارش در کلاس‌های ۱۲ گانه

Hatami Yazd et al. (2005) نیز در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که در استان خراسان بزرگ حداکثر شدت بارش در بارش‌های کوتاه مدت با زمان بارش کمتر از چهار ساعت در چارک اول رخ می‌دهد. در صورتیکه در بارش‌هایی با مدت زمان بیش از چهار ساعت حداکثر شدت بارش در چارک دوم می‌بارد. نتایج به دست آمده توسط Hejam و Malekifard (2002) در تعیین الگوی توزیع زمانی بارندگی در ایستگاه‌های نزدیک به ایستگاه سنگانه مانند گلمکان نیز نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی وقوع رگبارها در چارک‌های اول و دوم است.

تغییرات دو متغیر حداکثر شدت نیم ساعته و زمان تا حداکثر شدت بارش نیز در طول کلاس‌های ۱۲ گانه در شکل (۷) نشان داده شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که رگبارهایی از نوع کلاس اول، بیشترین شدت نیم ساعته را دارند. کمترین شدت نیم ساعته بارش نیز مربوط به رگبارهایی است که زمان تا حداکثر شدت آنها در کلاس نهم قرار می‌گیرد.

همانگونه که در شکل (۸) نیز نشان داده شده است رابطه معکوس و معنی‌داری در سطح پنج درصد بین شماره کلاس و حداکثر شدت نیم ساعته وجود دارد، یعنی با افزایش شماره کلاس رگبار، حداکثر شدت نیم ساعته بارش کاهش می‌یابد. علاوه بر این، در اکثر ماه‌های کم بارش سال، حداکثر شدت نیم ساعته بارش نسبت به ماه‌های مرطوب‌تر، بیشتر است که دلیل این امر وقوع بارش‌های کوتاه مدت با شدت بیشتر است که اکثر این رگبارها نیز در کلاس یک قرار می‌گیرند.

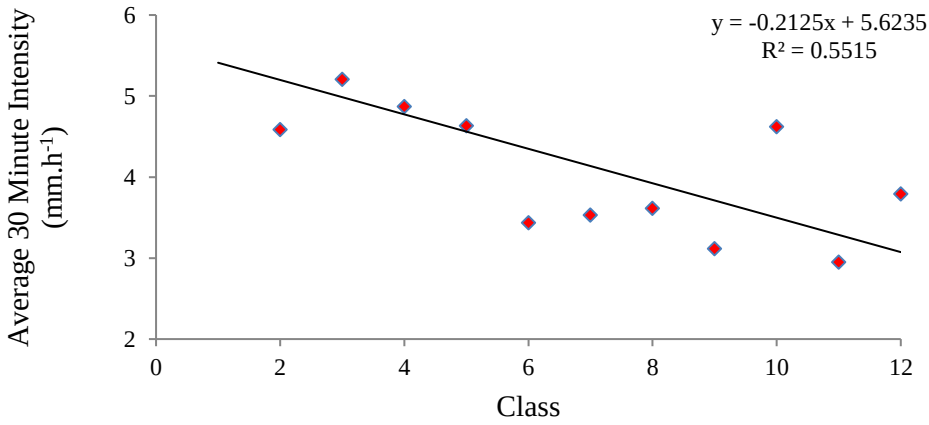

Fig. 8- Relationship between time to peak class and Max. I30 in twelve classes

شکل ۸- رابطه بین کلاس زمان تا حداکثر شدت با حداکثر شدت نیم ساعته بارش در کلاس‌های ۱۲ گانه

جدول ۲- احتمال حالت‌های وقوع بارش بر اساس زنجیره مارکوف مرتبه اول به تفکیک ماه

Table 2- Probability of occurrence states of rainfall based on markov-chain first order at each month

Transmission state	Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
W/W	0.45	0.56	0.61	0.47	0.61	0.00	0.00	0.33	0.17	0.62	0.56	0.41
D/W	0.55	0.44	0.39	0.53	0.39	1.00	1.00	0.67	0.83	0.38	0.44	0.59
W/D	0.23	0.27	0.19	0.16	0.15	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.26	0.29
D/D	0.77	0.73	0.81	0.84	0.85	0.99	0.99	0.99	0.98	0.96	0.74	0.71

نتایج احتمالات انتقال چهارگانه W/W، D/W، W/D و D/D در هر ماه برای تعیین روز وقوع بارش که بر اساس زنجیره مارکوف مرتبه اول برای ایستگاه سنگانه محاسبه شده در جدول (۲) ارائه شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که احتمال اینکه بعد از یک روز خشک (بدون بارش) یک روز خشک دیگر رخ دهد در تمام ماه‌ها بیشترین مقدار است. در ماه‌های پر بارش یعنی ماه‌های ژانویه تا می و اکتبر تا نوامبر، احتمال اینکه بعد از روز مرطوب (روز همراه با بارش)، روز مرطوب دیگری رخ دهد بالا بوده و نشان دهنده این است که در منطقه سنگانه بارش بیشتر به صورت وقایع پشت سر هم رخ داده که می‌تواند احتمال فرسایش را افزایش دهد.

مقادیر مربوط به سایر متغیرها نیز محاسبه شده و در قالب فایلی با فرمت PAR.* قرار گرفته و سپس با اجرای کلیژن داده‌های روزانه ۱۰۰ ساله تولید شده است.

نتایج حاصل از مقایسه متغیرهای تولید شده با کلیژن یعنی مقدار بارش سالانه، تعداد روز مرطوب سالانه و دمای بیشینه و دمای کمینه سالانه با داده‌های واقعی برای هر یک از زیر دوره‌های هشت ساله با استفاده از آزمون t (t جفتی) در چهار سطح اختلاف در جدول (۳) ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود میانگین‌های بارش کل سالانه، تعداد روز مرطوب سالانه و دمای بیشینه مشاهداتی و تولید شده انطباق بسیار خوبی با یکدیگر داشته و در هر ۱۲ گروه اختلاف معنی‌داری بین آنها وجود نداشته است. با این وجود در مورد متغیر دمای کمینه، دو گروه دارای سطح اختلاف SSD می‌باشند، یعنی تفاوت بین داده مشاهداتی و تولید شده در این دو گروه اندکی معنی‌دار می‌باشد. در این دو گروه میانگین دمای تولید شده کمتر از میانگین دمای مشاهداتی می‌باشد. با این وجود در ۱۰ گروه دیگر اختلاف معنی‌داری بین میانگین داده مشاهداتی و تولید شده وجود ندارد. این نتایج نشان دهنده کارایی قابل قبول کلیژن در تولید داده‌های در نظر گرفته شده در ایستگاه مطالعاتی می‌باشد.

به علت اهمیت متغیر بارش به خصوص در مطالعات مربوط به فرسایش، این متغیر در مقیاس ماهانه نیز مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج آن در جدول (۴) نشان داده شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در اکثر ماه‌ها به جز ماه می، اکتبر و نوامبر، میانگین داده‌های مشاهداتی و تولید شده انطباق خوبی با یکدیگر داشته و اختلاف معنی‌داری بین آنها وجود ندارد. با این وجود در ماه پنجم یعنی ماه می میانگین دو گروه از داده‌های تولید شده در سطح

 DOI: 10.22055/JISE.2021.21249.1529

اختلاف MSD و SSD قرار می‌گیرند. میانگین بارش تولید شده در این دو گروه بسیار بیشتر از میانگین بارش مشاهداتی است. در ماه اکتبر (ماه دهم) نیز میانگین یک گروه از ۱۲ گروه داده تولید شده، اختلاف اندکی با میانگین داده مشاهداتی دارد، در این گروه میانگین داده تولید شده کمتر از مقدار مشاهداتی می‌باشد. در ماه نوامبر (ماه یازدهم) نیز در چهار گروه از داده‌های تولید شده توسط مولد کلیژن که میانگین آنها بسیار بالاتر از میانگین داده مشاهداتی متناظر با خود بوده است، سطح اختلاف میانگین داده تولید شده و مشاهداتی در گروه MSD و SSD قرار گرفته است.

جدول ۳- مقایسه میانگین سالانه متغیرهای مشاهداتی و تولید شده با کلیژن

Table 3- Comparison of means of yearly variables between observed and CLIGEN generated data

Variable	Difference level			
	VSD	MSD	SSD	NSD
Yearly total precipitation	0	0	0	12
Yearly number of wet day	0	0	0	12
Yearly max. temperature	0	0	0	12
Yearly min. temperature	0	0	2	10

جدول ٤- مقایسه میانگین ماهانه مقدار بارش مشاهداتی و تولید شده با کلیژن

Table 4- Comparison of means of monthly total precipitation between observed and CLIGEN generated data

Month	Difference level			
	VSD	MSD	SSD	NSD
January	0	0	0	12
February	0	0	0	12
March	0	0	0	12
April	0	0	0	12
May	0	1	1	10
June	0	0	0	12
July	0	0	0	12
August	0	0	0	12
September	0	0	0	12
October	0	0	1	11
November	0	2	2	8
December	0	0	0	12

جدول ٥- سنجش کارایی مولد کلیژن در ایستگاه سنگانه

Table 5- Assessing of efficiency of CLIGEN generator in the Sanganeh station

Variable	NSD-%
Yearly total precipitation	100
monthly total precipitation	95.14
Yearly number of wet day	100
Yearly max. temperature	100
Yearly min. temperature	83.33

برای سنجش کارایی مولد کلیژن در ایستگاه سنگانه، درصد گروه‌های بدون اختلاف معنی‌دار بین داده‌های مشاهداتی و تولید شده محاسبه شده و در جدول (۵) نشان داده شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که کارایی این مولد در مورد سه متغیر مجموع بارش سالانه، مجموع تعداد روز مرطوب سالانه و میانگین دمای بیشینه سالانه، ۱۰۰ درصد، در مورد مجموع بارش ماهانه ۹۵ درصد و در مورد میانگین دمای کمینه سالانه ۸۳ درصد می‌باشد. این نتایج نشان دهنده کارایی خوب مولد کلیژن در تولید متغیرهای در نظر گرفته شده در ایستگاه سنگانه می‌باشد.

نتیجه گیری

در این مطالعه کارایی مولد کلیژن در ایستگاه سنگانه استان خراسان رضوی بررسی شده است. ارزیابی کارایی این مولد در تولید داده‌های طولانی مدت اقلیمی بر اساس محاسبه درصد گروه‌هایی با عدم اختلاف معنی‌دار بین داده‌های مشاهداتی و تولید شده نشان می‌دهد که کارایی مولد کلیژن در ایستگاه سنگانه در مورد متغیرهای میانگین بارش سالانه، تعداد روز مرطوب سالانه و میانگین دمای بیشینه سالانه ۱۰۰ درصد و در مورد میانگین دمای کمینه سالانه ۸۳ درصد می‌باشد. در واقع نتایج به دست آمده کارایی این مولد را در تولید داده‌های طولانی مدت بارش، تعداد روز مرطوب، دمای کمینه و دمای بیشینه سالانه با استفاده از داده‌های کوتاه مدت تایید می‌کند. محققین مختلف مانند Elliot و Arnold (2001)، Kou et al. (2007)، Caviglione et al. (2013)، Fan et al. (2013)، Chen و Brissette (2014)، Al-Mukhtar et al. (2014)، Samani Nazari و Abbasi Jondani (2015) و Kinnell و Yu (2020) نیز در بررسی‌های خود کارایی این مولد را به خصوص در مورد مقادیر میانگین متغیرهای اقلیمی تایید کرده‌اند. علاوه بر این کارایی این مولد برای تولید داده بارش کل ماهانه نیز قابل قبول می‌باشد و در ۹۵ درصد از گروه‌های ایجاد شده، اختلاف معنی‌داری بین داده تولید شده و مشاهداتی وجود نداشته است.. در این بین در بعضی از گروه‌هایی که میانگین بارش کل ماهانه بسیار بالاتر از میانگین مشاهداتی بوده، سطح اختلاف بین میانگین تولید شده و مشاهداتی در گروه MSD و SSD قرار گرفته است. با این وجود در اکثر ماه ها اختلاف معنی‌داری بین میانگین بارش تولید شده و مشاهداتی وجود نداشته است. علاوه بر این در این مطالعه چند سطح اختلاف بر اساس مقادیر P-value (۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱) تعریف شده که هدف از آن امکان ارائه اطلاعات دقیق‌تر در مورد ارزیابی کلیژن می‌باشد. در واقع استفاده از مقدار منفرد P-value کافی نبوده و نسبت به تشخیص تفاوت‌های ظریف موجود بین داده مشاهداتی و تولید شده حساس نمی‌باشد.

نتایج مثبت این مطالعه می‌تواند سبب تسهیل استفاده از این مولد هواشناسی در منطقه مطالعاتی شود. همچنین با توجه به اینکه اکثر مدل‌های هیدرولوژیک به داده‌های هواشناسی مفصلی نیاز دارند، این مولد می‌تواند سبب تسهیل در استفاده از این گونه مدل‌ها شود. علاوه بر این، داده‌های تولید شده با این مولد در پیچیده‌ترین مدل فرسایش و رسوب یعنی مدل WEPP استفاده می‌شود، لذا تایید کارایی این مولد امکان بررسی دقیق‌تر مدل WEPP را نیز فراهم می‌کند.

در نهایت هرچند نتایج به دست آمده در این تحقیق، کارایی این مولد را در تولید داده‌های در نظر گرفته شده، تایید می‌کند، اما با توجه به اینکه تحقیقات مرتبط با ارزیابی کارایی مولد کلیژن در ایران بسیار محدود می‌باشد و از طرفی با توجه شرایط اقلیمی بسیار متنوع در سطح کشور، تایید نهایی کارایی این مولد به بررسی‌های بیشتر در ایستگاه‌های هواشناسی مختلف نیاز دارد. علاوه بر این، افزایش طول دوره آماری مشاهداتی، صحت داده‌های تولید شده با این مولد را افزایش خواهد داد.

تقدیر و تشکر

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی با عنوان "امکان سنجی تولید فایل ورودی به مدل WEPP برای برآورد فرسایش با استفاده از داده‌های موجود در ایران" می‌باشد و با حمایت مالی دانشگاه تهران انجام شده است. لذا مؤلفین مراتب تشکر و قدردانی خود را از حوزه معاونت پژوهشی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران اعلام می‌دارند.

Refrence

1- Alizadeh, A., 2001. Principles of Applied Hydrology. *Emam Reza University Publication, Mashhad*. (In Persian).

2- Al-Mukhtar, M., Dunger, V. and Merkel, B., 2014. Evaluation of the climate generator model CLIGEN for rainfall data simulation in Bautzen catchment area, Germany. *Hydrology Research. 45(4-5)*, pp.615–630.

3- Arnold, J.G. and Williams, J.R., 1989. Stochastic generation of internal storm structure. *Trans. ASAE. 32(1)*, pp.161-166.

4- Arnold, J.G., Williams, J.R., Nicks, A.D. and Sammons, N.D., 1990. SWRRB, A Basin Scale Simulation Model for Soil and Water Resources Management. *Texas A&M University Press*.

5- 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. 10(2)*, pp.44-55. (In Persian).

6- Caviglione, J.H., Fonseca, I.C.D.E. and Filho, J.T., 2013. Viability of CLIGEN in the climatic conditions of Paraná state, Brazil. Rev. *Agricultural Meteorology and Climatology. 17(6)*, pp.655-664.

7- Chen, J. and Brissette, F.P., 2014. Comparison of five stochastic weather generators in simulating daily precipitation and temperature for the Loess Plateau of China. *International Journal of Climatology, 34(10)*, pp.3089–3105.

8- Elliot, W.J. and Arnold, C.D., 2001. Validation of the weather generator CLIGEN with precipitation data from Uganda. *Trans ASAE. 44(1)*, pp.53–58.

9- Fan, J.C., Yang, C.H., Liu, C.H. and Huang, H.Y., 2013. Assessment and validation of CLIGEN-simulated rainfall data for Northern Taiwan. *Paddy and Water Environment*, *11*(1), pp.161-173.

10- Hatami Yazd, A., Taqvaei Abrishami, A.A. and Ghahreman, B. 2005. Patterns of precipitation temporal distribution in Khorasan Province. *Iran-Water Resources Research. 3(1)*, pp.54-64. (In Persian).

11- Hejam, S. and Malekifard, F., 2002. Determination of patterns of precipitation temporal distribution in stations of Khorasan Razavi Province. *Journal of Earth and Space Physics. 28(2)*, pp.35-44. (In Persian).

12- Hoogenboom, G., 2000. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. *Agricultural and forest meteorology*, *103*(1-2), pp.137-157.

13- Hoomehr, S., Schwartz, J.S. and Yoder, D.C., 2016. Potential changes in rainfall erosivity under GCM climate change scenarios for the southern Appalachian region, USA. *Catena*, *136*, pp.141-151.

14- Kinnell, P.I.A. 2019. CLIGEN as a weather generator for RUSLE2. *CATENE*, *172*, pp.877-880.

15- Kinnell, P.I.A., Yu, B. 2020. CLIGEN as a weather generator for predicting rainfall erosion using USLE based modelling system. *CATENA, 194*.

16- Kou, X., Ge, J., Wang, Y. and Zhang, C., 2007. Validation of the weather generator CLIGEN with daily precipitation data from the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology. 347*, pp.347-357.

17- Lobo, G.P., Frankenberger, J.R., Flanagan, D.C. and Bonilla, C.A., 2015. Evaluation and improvement of the CLIGEN model for storm and rainfall erosivity generation in Central Chile. *CATENA, 127*, pp.206–213.

18- Nazari Samani, A.A., Abbasi Jondani, Sh., 2015. Evaluation of efficiency of Cligen Generator for producing of climate data for using in WEPP model (Case study: Zidasht station, Alborz province). *J of Water and Soil Conservation, 23(2)*, pp.43-62. (In Persian).

19- Nicks, A.D. and Gander, G.A., 1994. CLIGEN: a weather generator for climate inputs to water resources and other models. In: Watson, D.G., Zazueta, F.S., Harrison, T.V. (Eds.), Proceedings of fifth International Conference on Computer in Agriculture. *ASAE. St. Joseph, MI*, pp.903–909.

20- Nicks, A.D., Lane, L.J. and Gander, G.A., 1995. Chapter 2. Weather Generator. In: (Flanagan, D.C., and M.A. Nearing, (eds.)) Hillslope Profile and Watershed Model Documentation. NSERL Report No. 10, *USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, IN*.

21- Rangavar, A.S., 2004. Final report project, research in important elements in soil erosion in Khorasan rangelands. *Research Center for Agriculture and Natural Resources of Razavi Khorasan*. (In Persian).

22- Richardson, C.W. and Wright, D.A., 1984. WGEN: A model for generating weather variables. *US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-8*.

23- Vaghefi, P. and Yu, B., 2016. Use of CLEGEN to simulated decreasing precipitation trends in the Southwest of Western Australia. *Transactions of the ASABE. 59(1)*, pp.49-61.

24- Yu, B., 2000. Improvement and evaluation of CLIGEN for storm generation. *Trans. ASCE. 46*, pp.301–307.

25- Zhang, Y., Liu, B., Wang, Z. and Zhu, Q., 2008 Evaluation of CLIGEN for storm generation on the semiarid Loess Plateau in China. *CATENA. 73(1)*, pp.1–9.