



Research Article

DOI: 10.22067/geoe.2024.89692.1518

Open Access

Investigation of storm variability using the Gordji method (case study: Mazandaran province)

Saina Vakili Azar^a, Yagob Dinpashoh^{b*}, Saeed Jahanbakhsh Asl^c

^a PhD candidate in water resources engineering, Department of Water Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

^b Professor of Water Engineering, Department of Water Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

^c Professor of Climatology, Department of Geography, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Article Info

Article history

Received : 7 September 2024

Received in revised form:

5 December 2024

Accepted: 29 December

2024

Available online:

21 March 2025

Keywords:

Huff curve, Hyetograph, Rainfall storm patterns, Temporal rainfall variability, Mazandaran province, Quartile analysis, Design storms, Iran hydrology

Abstract

The study of different rainfall patterns in different stations is crucial from the perspective of the hydrological process. In the present study, by using the 564 storms recorded in three rain gauge stations**, namely** Sari, Abbas Abad, and Firuzjah, the Huff curves were plotted in three rainfall classes**: i)** less than 6 hrs, ii) 6-12 hrs, and iii) more than 12 hrs. According to the 50% Huff curves, the storms were analyzed using the quartile approach. Then, the design storm hyetographs were plotted for the selected stations in different rainfall classes. Next, to investigate the variability of the storms, a new method was used based on the vertical distances obtained between the Huff curves of 80% and 20% (V), and also the values of 50% Huff curve (d_{50}) in three different percentages of time (25%, 50%, and 75%).

Results showed that the types of most storms in different rainfall classes were in the second quartile. Also, the results indicated that in most of the classes, a significant percentage of precipitation (more than 80%) falls by the seventh decile of the duration. By moving towards the last deciles, the percentage of rainfall decreased. According to the results, it was found that the highest variability of storms in the rainfall classes of less than 6 hrs, 6-12 hrs, and more than 12 hours was related to stations Sari, Abbas Abad, and Firuzjah, respectively. It seems that the results of this study will be helpful in the scientific management of water resources and timely warning of floods in the region

*.Corresponding author : Dr.Yagob Dinpashoh

E-mail address: dinpashoh@yahoo.com

How to cite this article: Vakili Azar, S., Dinpashoh, Y., & Jahanbakhsh Asl, S. (2025). Investigation of Storm Variability Using the Innovation Approach (Case Study: Mazandaran Province). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 14(1), pp. 193-216, <https://doi.org/10.22067/geoe.2024.89692.1518>



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Extended Abstract

Introduction:

A deep understanding of storm patterns in any region is useful in water resources management. Many researchers have studied rainfall storm patterns in different parts of the world. The pioneer researcher in this regard is the American researcher Huff (1967). He studied storm patterns using data from 261 recorded storms in the eastern USA. Pilgrim & Cordery (1975) derived hyetographs for storms using data from 50 storms in Australia. Spatiotemporal patterns of rainfall were analyzed in Canada by Loukas & Quick (1994). In Calabria, located in southern Italy, rainfall patterns were investigated using data from 45,533 storms. To our knowledge, rainfall storm patterns in Mazandaran province, located in northern Iran, have not been investigated yet. Therefore, the four objectives of this study are: i) Illustration of Huff curves for the selected stations in Mazandaran province, Iran; ii) Detection of storm types using the quartile method; iii) Extraction of design hyetographs based on median Huff curves; and iv) Using an innovative approach based on vertical distances of 20% and 80% Huff curves (denoted here by V) in three distinct times of storm duration, namely 25%, 50%, and 75%.

Material and Methods

The study area is Mazandaran province, located in northern Iran. Three stations, namely Sari, Abbasabad, and Firouzjah, were selected in the province for further analysis. Figure 1 shows the location of the sites and study area. Recorded daily rainfall data were gathered from the Iran Water Resources Management Company in digital form. In this study, rainfall events with cumulative rainfall depth ≥ 5 mm were selected for analysis. The minimum time interval between two consecutive rain events was set at 60 minutes. Storms were divided into three duration classes: i) 1-6 hours; ii) 6-12 hours; and iii) more than 12 hours. The number of storms varied from 151 in Abbasabad to 241 in Firouzjah. In this study, the Huff curves were plotted for each of the three sites, separately. Moreover, these curves were plotted for the three aforementioned duration classes and are shown in Figure 2.

Results and Discussion

Table 2 shows the percentage of rainfall received in each of the four time quartiles in the selected stations, for three distinct rainfall durations. Results showed that in all three stations, the maximum portion of rain in the 1-6 hour class was received in the second quartile. In the 6-12 hour duration class, the maximum portion of rain in Sari was received in the first quartile, while it was the second quartile for the other two stations (i.e., Abbasabad and Firouzjah). In the >12 hour class, the maximum portion of rain in stations Sari and Abbasabad was received in the second quartile, while it was the first quartile in Firouzjah station. Figure 5 shows the histogram of the mean percentage of rainfall received in different quartiles for distinct rainfall duration classes in the selected stations. Hyetographs for the selected sites were prepared for each of the three classes. Figure 6 shows the design storm hyetographs for the selected sites for the three distinct classes. Additionally, Figure 7 shows statistical details including d_{20} , d_{50} , d_{80} , and $V=d_{80}-$

d_{20} for Abbasabad station in the 1-6 hour duration. The obtained values of these statistics are presented in Table 3.

Conclusion

In this study, using data from 564 recorded storm events from rain gauges in three stations, the Huff curves were plotted for three distinct duration classes: 1-6 hours, 6-12 hours, and >12 hours. Results indicated that the shapes of the Huff curves varied among sites and across different durations. Furthermore, results showed that the Huff curve types for the stations were predominantly the second type (except for two cases). A considerable portion of rain (>80%) was received before the seventh decile of the rain duration. According to the innovative method, most storm variability in the 1-6 hour class occurred at Sari station, while it occurred at Abbasabad station for the 6-12 hour class, and at Firouzjah station for the >12 hour class. These findings will support optimum management of water resources in Mazandaran province. We recommend conducting similar research in other provinces of Iran.

Acknowledgment

The authors acknowledge the Iran Water Resources Management Company for providing the data used in the study.



بررسی تغییرپذیری رگبارها با استفاده از روش گورجی (مطالعه موردی: ایستگاه‌های منتخب استان مازندران)

ساینا وکیلی آذر^۱، یعقوب دین پژوه^{۱*}، سعید جهانبخش اصل^۲

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

^۱ استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

^۲ استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخچه مقاله تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۶/۱۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۹/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۹	مطالعه الگوهای بارشی در ایستگاه‌های مختلف از دیدگاه هیدرولوژیکی از اهمیت بسزایی برخوردار است. در مطالعه حاضر، با استفاده از ۵۶۴ رگبار ثبت شده در سه ایستگاه باران‌سنجی استان مازندران (ساری، عباس‌آباد و فیروزجاه)، منحنی‌های هاف در سه کلاس بارشی (۱) کمتر از ۶، (۲) ۶-۱۲ و (۳) بیش از ۱۲ ساعت رسم شدند. با استفاده از منحنی‌های هاف ۵۰ درصد، رگبارها از دیدگاه چارکی مورد بررسی قرار گرفتند سپس، هیتوگراف بارش طرح برای ایستگاه‌های منتخب در کلاس‌های بارشی مختلف رسم شد. در ادامه، به منظور بررسی میزان تغییرپذیری رگبارها، از یک روش نوین که بر پایه فواصل قائم منحنی‌های هاف ۸۰ و ۲۰ درصد (که با ۷ نشان داده شد) و نیز مقادیر منحنی هاف ۵۰ درصد (d_{50}) در مقاطع زمانی ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد است، استفاده گردید. نتایج نشان داد که تیپ اغلب رگبارها در کلاس‌های بارشی مختلف، از نوع چارک دومی بود. همچنین، نتایج حاکی از آن بود که در اغلب کلاس‌ها، درصد قابل توجهی از تمامی مقدار بارش (بیش از ۸۰ درصد)، تا دهک هفتم مدت دوام بارش نازل می‌شود. با حرکت به سمت دهک‌های آخر، میزان درصد بارش نازل شده کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج مشخص شد که بیشترین میزان تغییرپذیری رگبارها در کلاس‌های بارشی ۶-۰، ۱۲-۶ و بیش از ۱۲ ساعت به ترتیب، مربوط به ایستگاه‌های ساری، عباس‌آباد و فیروزجاه می‌باشد.
کلمات کلیدی: منحنی هاف، هایتوگراف، الگوهای طوفان بارشی، تغییرپذیری زمانی بارش، استان مازندران، تحلیل چارکی، طوفان‌های طرح، هیدرولوژی ایران	

مقدمه

الگوی توزیع زمانی بارش و مسائل مرتبط با آن از چندین دهه گذشته توجه محققین زیادی را در سراسر جهان به خود جلب کرده و مطالعات زیادی پیرامون این موضوع انجام گرفته است. امروزه عواملی چون، افزایش جمعیت، ارتقاء سطح بهداشت، تغییرات اقلیمی و نیز بحران منابع آبی، لزوم توجه به الگوهای توزیع زمانی بارش را برای مدیریت صحیح منابع آبی و استفاده بهینه از آنها در شرایط کم آبی حائز اهمیت ساخته است. در این قسمت، به بررسی تعدادی از مطالعات صورت گرفته در رابطه با الگوهای توزیع زمانی بارش در سراسر جهان و همچنین، کشور ایران پرداخته می شود. با استفاده از ۲۶۱ رگبار ثبت شده در قسمت شرقی ایالت ایلینویز^۱ آمریکا، الگوهای توزیع زمانی رگبارهای آن منطقه مورد بررسی قرار داده شده است (Huff, 1967). نتایج نشان داد که، حدود ۴۲ درصد رگبارها، دارای مدت دوام یک تا ۱۲ ساعت بودند. همچنین، ۳۳ درصد رگبارها دارای مدت دوام ۱۲ تا ۲۴ ساعت و نیز ۲۵ درصد رگبارها دارای مدت دوام بیش از ۲۴ ساعت بودند.

در شهر سیدنی^۲ کشور استرالیا، از اطلاعات ۵۰ رگبار ثبت شده در دوره آماری ۵۱ ساله استفاده شده و هیتوگرافهای رگبارها براساس حداکثر بارشهای رخ داده در تداومهای مشخص رسم شده است (Pilgrim & Cordery, 1975). در ادامه، این هیتوگرافها بی بعد شدند و هیتوگراف باران طرح برای هر کدام از تداومهای بارشی بدست آمد. در ایالت کلمبیا^۳ (کشور کانادا)، با استفاده از رگبارهای ثبت شده در طول دوره آماری (۱۹۷۱-۱۹۹۰) الگوی توزیع مکانی و زمانی رگبارهای ماهانه، فصلی و سالانه بررسی شده است (Loukas & Quick, 1994). نتایج نشان داد که در فصلهای پاییز و زمستان میزان تغییر پذیری بارش کم و در فصل تابستان زیاد است. در منطقه گلد کوست^۴ کوئینزلند کشور استرالیا الگوهای زمانی بارش طرح برای تخمین سیلاب طرح استفاده شده است (Rahman, Islam, Rahman, Khan & Shrestha, 2006). الگوهای به دست آمده در این مطالعه با الگوهای رسم شده در سال ۱۹۸۷ در کتاب بارش و رواناب مقایسه گردید. نتایج نشان داد که هر چند مقادیر حداکثر عمق بارش بدست آمده، مشابه یافته های قبلی بود ولیکن، زمان وقوع حداکثر عمق بارش متفاوت بود. در مطالعه ای، به منظور پیش بینی سیلابها، از حد آستانه-ای بارش در منطقه مادرسو، واقع در استان گلستان، در ناحیه شمال ایران استفاده شد (Golian, Saghafian & Maknoon, 2010). به نظر آنها عواملی مانند عمق بارش و توزیع زمانی و مکانی آن در مقدار دبی اوج سیلابها موثر است. منطقه کالابریا^۵ واقع در جنوب ایتالیا، الگوی توزیع زمانی رگبارها با استفاده از ۴۵۵۳۳ رگبار ثبت شده در بازه زمانی (۱۹۸۹-۲۰۰۸) بررسی گردید (Terranova &

1 Illinois

2 Sydney

3 Colombia

4 Gold Coast

5 Calabria

Iaquinta, 2011). بدین منظور، از روش پروفیل بارش استاندارد شده^۱ (SRP) که مبتنی بر داده‌های واقعی بارش‌های محلی است، استفاده کردند. ایشان بدین منظور، رگبارها را به کلاس‌های مختلف بارشی تقسیم و منحنی‌های هاف را رسم کردند. الگوی توزیع زمانی رگبارها با توجه به رگبارهای به ثبت رسیده در عربستان سعودی بررسی شد (**Awadallah & Younan, 2012**). در این تحقیق دبی اوج سیلاب‌ها با تحلیل فرایند بارش-رواناب تخمین زده شد. در یک مطالعه دیگر، در منطقه گوانگجی کره با مساحت تقریباً ۱۲۵ هکتار، روش‌های تخلیه سیلاب حاصل از رگبارهای شدید، که به دنبال خود محیط زیست را آلوده می‌کردند، بررسی شده است (**Baek et al., 2015**). در مطالعه مذکور، از روش رسم منحنی‌های هاف برای مدل کردن هیتوگراف رگبارها استفاده شده است. در سه اقلیم مختلف کشور اسلوونی، الگوهای توزیع زمانی بارش با استفاده از روش‌های مختلف نظیر رسم منحنی‌های هاف و کدگذاری دودویی مورد بررسی واقع شد (**Dolsak, Bezak & Sraj, 2016**). در استان گوانگجو^۲ کشور چین، با استفاده از اطلاعات رگبارهای طراحی و شبیه‌سازی سیلاب‌های شهری در بازه زمانی (۲۰۱۲-۲۰۰۸)، منحنی‌های هاف اصلاح شده ارائه گردید (**Pan, Wang, Liu, Huang & Wang, 2017**). در این مطالعه، از روش‌هایی نظیر شیکاگو، هاف و هیتوگراف‌های مثلی برای به دست آوردن هیتوگراف‌های طراحی در منطقه مورد مطالعه، استفاده و نتایج آن‌ها را با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه، منحنی‌های هاف، بهتر از سایر روش‌ها، قادر به برازش و پیش‌بینی رویدادهای بارشی می‌باشند. در اسلوونی، با استفاده از هیتوگراف به دست آمده از منحنی‌های هاف ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد، سیلاب حاصل از بارش برای رودخانه‌های پایین دست شبیه‌سازی شد (**Bezak, Sraj, Rusjan & Mikos, 2018**). بدین منظور، ده سناریوی متفاوت برای دوره‌های بازگشت ۱۰ و ۱۰۰ ساله مورد بررسی قرار گرفت و نتایج بدست آمده با یکدیگر مقایسه شدند. اثرات تغییرپذیری بارش در ده ایستگاه باران‌سنجی واقع در نواحی مرکزی شرق اوهایو در ایالات متحده آمریکا در دوره آماری (۲۰۱۰-۱۹۳۹) مورد بررسی قرار داده شد (**Gordji, Bonta & Altinakar, 2020**). بدین منظور، منحنی‌های هاف ترسیم و عمق‌های بارش بی‌بعد در سه بازه زمانی بی‌بعد (۲۴، ۵۰ و ۷۴ درصد) تحلیل شد. در پژوهشی دیگر، تغییرات بارش در ونچوان چین با استفاده از منحنی‌های هاف مطالعه شد (**Xlong, Tang, Gong & Chen, 2021**) و آنگاه اثر این تغییرات روی دبی اوج سیلاب‌ها با مدل جفت شده HEC-HMS بررسی گردید. با استفاده از چارک‌های هاف اصلاح شده، الگوی رگبارها در دو ایستگاه کشور استرالیا مورد بررسی قرار گرفت (**Dunkerley, 2022**). بدین منظور، شدت بارش نیز در تعیین چارک‌ها دخالت داده شد و در هر چارک، فقط آن رگبارهایی که از یک حد آستانه‌ای معین تجاوز می‌کنند، برای تحلیل و بررسی انتخاب شد. در نهایت، معلوم شد که با این روش، ممکن است نوع چارک رگبارها تغییر یابد. در ایران نیز، مطالعاتی در خصوص رسم منحنی‌های هاف به منظور تحلیل و بررسی رگبارها، صورت گرفته است. به عنوان مثال، در استان خراسان بزرگ، الگوی توزیع زمانی رگبارها در تداوم‌های زمانی مختلف

1 Standardized Rainfall Profiles

2 Guangzhou

مطالعه و رگبارها را در چهار چارک زمانی متمایز جابایی شدند (Hatami-Yazd, Taghvaei, 2005). نتایج نشان داد که در ۳۵ درصد موارد، حداکثر مقدار بارش در چارک دوم روی می‌دهد. در مطالعه‌ای الگوی توزیع زمانی بارش در نه ایستگاه استان سیستان و بلوچستان در بازه زمانی (۱۳۸۵-۱۳۴۷) رسم شده است (Khaksafidi, Noura, Biroudian & Najafi Nejad, 2010). بدین منظور، از داده‌های رگبارهای سنگین در تداوم‌های مختلف زمانی برای هر ایستگاه استفاده گردید و رگبارها در چهار چارک متمایز جای گرفتند و درصد مقدار بارش برای هر چارک محاسبه و رتبه‌بندی شد.

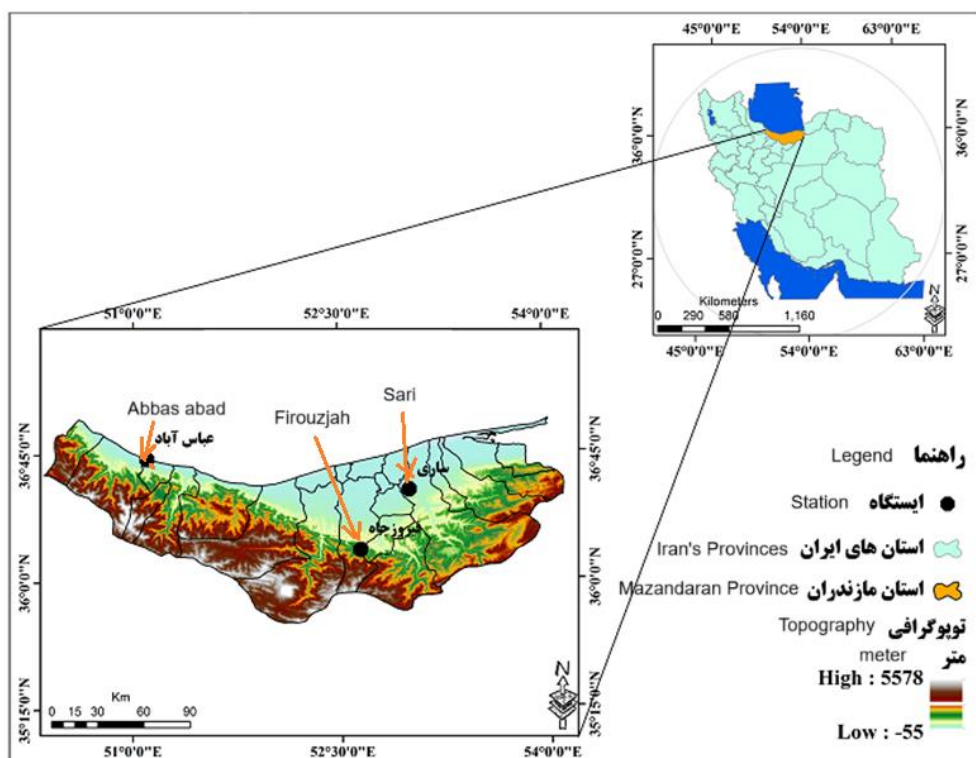
در مطالعه‌ای با استفاده از دو روش پیلگریم و هاف، الگوی توزیع زمانی بارش‌های روزانه بررسی شد (Moradnezhadi, Malekian, Jourgholami & Ghasemi, 2016). نتایج نشان داد که در رگبارهای ۲۴ ساعته، میزان قابل توجهی از بارش در چارک اول نازل می‌شود. در مطالعه‌ای دیگر، رسم منحنی‌های هاف با استفاده از ۵۱۷ رگبار به ثبت رسیده در پنج ایستگاه باران‌سنجی استان آذربایجان شرقی انجام شده و نسبت‌های جدیدی را که بر پایه نسبت منحنی‌های هاف به دست آمده در بازه‌های زمانی مختلف بوده، ارائه کردند (Vakili azar & Dinpashoh, 2019). همچنین، در مطالعه‌ای دیگر، استفاده از ۴۱۸ رگبار ثبت شده در چهار ایستگاه باران‌سنجی استان آذربایجان شرقی (ایستگاه‌های تبریز، سراب، ملکان و هریس) منحنی‌های هاف برای کلاس‌های بارشی مختلف رسم شده است (Dinpashoh & Vakili Azar, 2019). در این مطالعه، با استفاده از مدل ریاضی لاجستیک، این منحنی‌ها بسط داده شده‌اند. نتایج نشان داد که مدل لاجستیک می‌تواند رگبارها را در ایستگاه‌های مورد مطالعه به خوبی برازش دهد. در استان خوزستان، با استفاده از رگبارهای ساعتی، برای به دست آوردن هیستوگراف‌های طراحی از منحنی‌های هاف رسم شده استفاده شده است (Alavi, Dinpashoh & Asadi, 2019). نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که در ایستگاه‌های مورد مطالعه، رگبارهای کوتاه مدت چارک دوم و رگبارهای بلند مدت چارک سوم هستند. در نواحی مختلف ایران، اثرات تغییرات جهانی اقلیم بر روی دو عنصر اقلیمی دما و بارش مطالعه شده است (Zarei, Khorshiddoust, Rezaeebanafshe & Rostamzadeh, 2023). نتایج این مطالعه نشان داد که میزان بارش در دهه‌های آتی، در اقلیم‌های مختلف کاهش خواهد یافت. بطوریکه در نواحی خیلی مرطوب و معتدل نیز، تا ۳۲ درصد کاهش میزان بارش محتمل است. الگوی توزیع زمانی بارش در چهار ایستگاه حوضه رودخانه کارون در استان خوزستان مطالعه شده است (Dinpashoh & Alavi, 2024). در این بررسی، منحنی‌های هاف را برای کلاس‌های بارشی مختلف ترسیم و هیستوگراف رگبار طرح ارائه گردید.

با توجه به پیشینه تحقیق، در ایستگاه‌های مختلف استان مازندران، مطالعاتی گسترده پیرامون بررسی الگوهای توزیع زمانی بارش با استفاده از روش گردجی و همکاران (Gordji et al., 2020) انجام نگرفته است. بنابراین، اهداف این مطالعه شامل (۱) رسم منحنی‌های هاف در ایستگاه‌های مختلف استان مازندران به تفکیک کلاس‌های بارشی مختلف (۲) تعیین تیپ رگبارها از دیدگاه چارکی با توجه به منحنی هاف ۵۰ درصد، (۳) استخراج هیستوگراف بارش طرح براساس منحنی هاف ۵۰ درصد، (۴) استفاده از یک روش پیشنهادی نوین

بر پایه فواصل قائم منحنی‌های هاف ۸۰ و ۲۰ درصد (که با نماد V نشان داده شده) درسه مقطع زمانی متمایز شامل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد زمان ریزش باران می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، استان مازندران واقع در بخش مرکزی حاشیه جنوبی دریای خزر می‌باشد. این استان با توجه به دو عامل بارش و دما، دارای سه نوع آب و هوای: (۱) معتدل خزری: که جلگه‌های غربی و مرکزی این استان تا کوه‌پایه‌های شمالی رشته‌کوه‌های البرز را شامل می‌شود، (۲) معتدل کوهستانی: که با دوری از دریا و نیز افزایش تدریجی ارتفاع اراضی جلگه‌ای با حرکت به سوی ارتفاعات رشته‌کوه‌های البرز، در ناحیه‌ای به ارتفاع تقریباً ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر، ایجاد می‌شود و (۳) سرد کوهستانی: که در قسمت قله کوهستان‌های مرتفع دامنه شمالی رشته‌کوه‌های البرز و نیز در ارتفاع بالای ۳۰۰۰ متر وجود دارد، می‌باشد (Anonymous, 2012). در این استان، سه ایستگاه باران‌سنجی شامل ساری، عباس‌آباد و فیروزجاه که دارای تعداد رگبارهای به‌ثبت رسیده بیشتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها بودند و همچنین، از نظر جغرافیایی، پراکندگی مناسبی در سطح استان داشتند، برای بررسی رگبارها در این مطالعه انتخاب شدند. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان مازندران نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های باران‌سنجی منتخب در استان مازندران بر روی نقشه DEM منطقه
Fig. 1. Geographical location of Rain gauge stations in Mazandaran province on region DEM map

مواد و روش‌ها

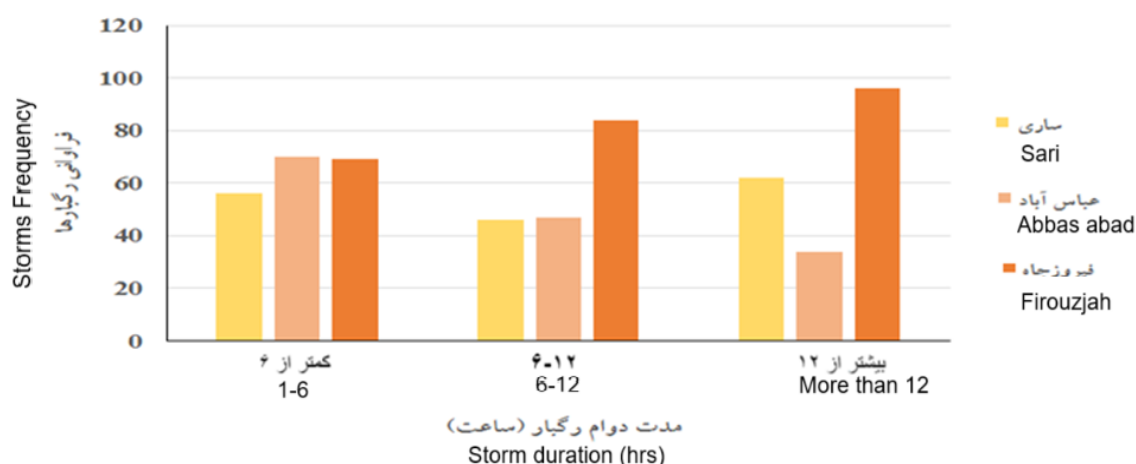
داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه، داده‌های مورد استفاده شامل رویدادهای بارشی به ثبت رسیده در فواصل زمانی یک دقیقه ای در دوره آماری (۱۳۸۸-۱۳۹۶) می‌باشد که از شرکت مدیریت منابع آب ایران در فرم دیجیتالی اخذ گردید. رویدادهایی انتخاب شدند که حداقل عمق بارش آن‌ها پنج میلیمتر و مدت دوام آن‌ها حداقل ۶۰ دقیقه بود. همچنین، برای تمیز دادن یک رگبار از رگبار بعدی، از معیار وجود وقفه زمانی شش ساعت استفاده شد. این معیار در مطالعات مشابه انجام شده (Dolsak et al., Huff, 1967; Terranova & Iaquina, 2011; 2016) نیز در نظر گرفته شده است. این امر بدین معنی است که، اگر فاصله زمانی بین اتمام یک رگبار تا آغاز رگبار دیگر بیش از شش ساعت باشد، این دو رگبار به صورت دو رگبار مجزا در نظر گرفته می‌شوند و در غیر این صورت، به عنوان یک رویداد بارشی تلقی می‌شوند. پس از انتخاب رویدادهای بارشی بر اساس معیارهای ارائه شده در هر یک از ایستگاه‌های باران‌سنجی منتخب، رگبارها براساس مدت دوام بارش در سه کلاس بارشی متمایز شامل الف) یک تا ۶ ساعت، ب) ۶-۱۲ و ج) بیش از ۱۲ ساعت جای گرفتند. جدول ۱ مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب، میانگین بارش سالانه، تعداد کل رگبارها در هر ایستگاه را نشان می‌دهد. به طوریکه از جدول مشاهده می‌شود، دامنه تغییرات تعداد رگبارها از ۱۵۱ در ایستگاه عباس‌آباد تا ۲۴۹ در ایستگاه فیروزجاه متغیر است. همچنین، دامنه تغییرات ارتفاع ایستگاه‌ها از ۱۸- متر در ایستگاه عباس‌آباد تا ۷۸۷ متر در فیروزجاه تغییر می‌کند. شکل ۲ هیستوگرام فراوانی رگبارها را در هر یک از کلاس‌های بارشی برای ایستگاه‌های منتخب نشان می‌دهد. با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که ایستگاه فیروزجاه، در کلاس بارشی بیش از ۱۲ ساعت، بیشترین تعداد رگبارها را دارا می‌باشد. درحالی‌که، ایستگاه عباس‌آباد در همین کلاس بارشی، کمترین تعداد رگبارها را به خود اختصاص داده است. در شکل ۳ نیز مقادیر درصد رگبارهای مورد مطالعه، در هر یک از کلاس‌های بارشی و در ایستگاه‌های مورد مطالعه، را نشان داده شده است.

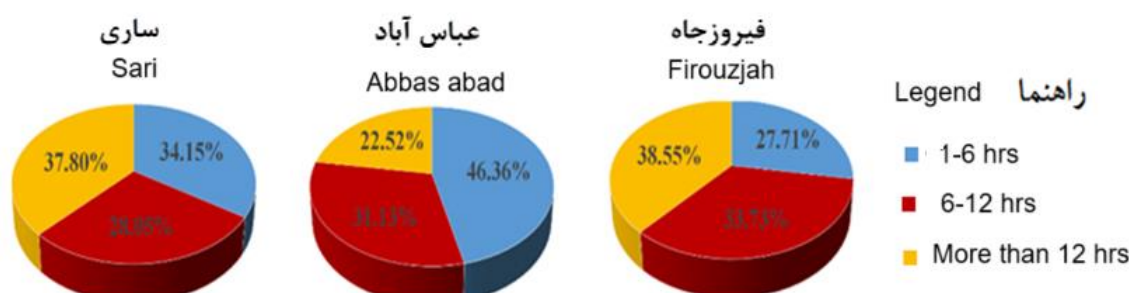
جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب و تعداد رگبارهای ثبت شده (۱۳۸۸-۱۳۹۶)

Table 1- Geographical characteristics of the selected stations and recorded storms (2009-201)

نام ایستگاه Station name	عرض جغرافیایی latitude	طول جغرافیایی Longitude	ارتفاع (متر) Altitude (m)	میانگین بارش سالانه (میلیمتر) Mean of annual precipitation (mm)	تعداد کل رگبارها Total No. of storms
ساری Sari	36° 33'	53° 01'	17	792.1	164
عباس‌آباد Abbas abad	36° 44'	51° 06'	-18	1487.7	151
فیروزجاه Firuzjah	36° 12'	52° 39'	787	966.4	249



شکل ۲- هیستوگرام فراوانی رگبارها در کلاس‌های بارشی مختلف در ایستگاه‌های باران‌سنجی منتخب
 Fig. 2. Histogram of storms frequency in different duration classes in the selected rain gauge stations



شکل ۳- درصد رگبارهای مورد مطالعه در هر یک از کلاس‌های بارشی برای ایستگاه‌های باران‌سنجی منتخب

Fig. 3. Percentage of studied storms in each of the rainfall classes in the selected rain gauge stations

رسم منحنی‌های هاف

منحنی‌های هاف، اولین بار توسط محقق بنام هاف که در سال ۱۹۶۷، الگوهای توزیع زمانی رگبارهای شرق ایالت ایلینویز آمریکا را در کلاس‌های بارشی مختلف مورد بررسی قرار داد، ارائه شده است. در این مطالعه، برای رسم منحنی‌های هاف، ابتدا رگبارها بر اساس معیارهای ارائه شده انتخاب و با توجه به دوره تداوم در سه کلاس بارشی یک تا ۶ ساعت، ۶-۱۲ ساعت و بیش از ۱۲ ساعت جای گرفتند. ابتدا منحنی‌های عمق تراکمی رگبار تابعی از زمان تراکمی رگبار در هر یک از کلاس‌های بارشی برای ایستگاه‌های منتخب رسم گردید و در ادامه، منحنی‌های بی‌بعد عمق تجمعی رگبار (بین صفر تا ۱۰۰ درصد) تابعی از زمان تجمعی تداوم رگبار (بین صفر تا ۱۰۰ درصد) به‌دست آمد. در نهایت، با استفاده از توزیع‌های آماری رایج در

هیدرولوژی، منحنی‌های هاف که به ترتیب، از پایین به بالا متعلق به منحنی‌های هاف ۱۰٪، ۲۰٪، ... و ۹۰٪ می‌باشند، در هر یک از کلاس‌های بارشی و ایستگاه‌های مورد مطالعه رسم شدند.

معرفی روش چارک‌ها با استفاده از منحنی هاف ۵۰ درصد

به منظور مقایسه رگبارها با استفاده از روش چارکی (Huff, 1967)، پس از ترسیم منحنی‌های هاف، منحنی میانی (۵۰ درصد) در نظر گرفته شد و میزان درصد عمق بارش رسیده در هر کدام از چارک‌های اول (۲۵-۰ درصد زمان بارش)، دوم (۵۰-۲۵ درصد زمان بارش)، سوم (۷۵-۵۰ درصد زمان بارش) و چهارم (۱۰۰-۷۵ درصد زمان بارش) به دست آمد. هر کدام از چارک‌ها که بیشترین میزان درصد عمق بارش را در بین چارک‌ها دریافت کرده بود، به عنوان الگوی بارشی آن کلاس بارشی در ایستگاه مورد مطالعه تعیین شد.

استخراج هیتوگراف رگبار طرح با استفاده از منحنی هاف ۵۰ درصد

به منظور استخراج هیتوگراف رگبار طرح، ابتدا منحنی‌های هاف ایستگاه مورد نظر رسم شد. با در نظر گرفتن منحنی هاف ۵۰ درصد، مقادیر تراکمی درصد عمق رگبار همان ایستگاه رسم شد. آنگاه، مقادیر جزئی بارش در فواصل زمانی گسسته (به حالت غیر تراکمی) بدست آمد و در نهایت، هیتوگرام بارش طرح از روی مقادیر جزئی برای آن ایستگاه رسم شد. این مراحل، برای همه ایستگاه‌ها و کلاس‌های بارشی سه گانه تکرار گردید.

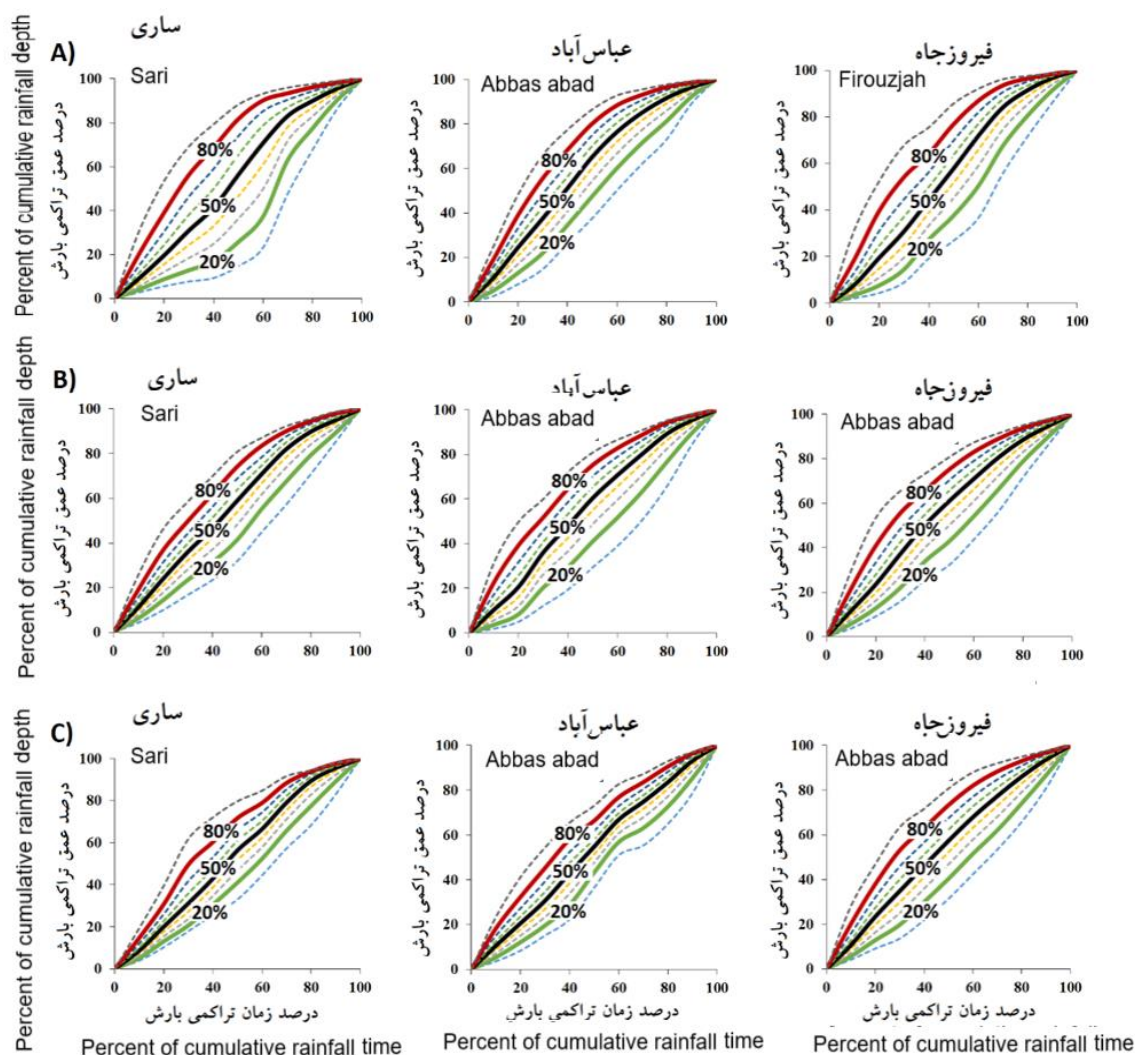
شرح روش نوین با محاسبه مقادیر بارش بی بعد d_{20} ، d_{50} ، d_{80} و V

این روش نخستین بار، توسط گردجی و همکاران (Gordji et al., 2020) برای تحلیل و بررسی میزان تغییرپذیری رگبارهای شرق اوهایو در کشور آمریکا ارائه شده است. ایشان پس از رسم منحنی‌های هاف، با در نظر گرفتن منحنی هاف میانی (هاف ۵۰ درصد)، مقادیر عمق بارش بی‌بعد (d_{50}) را در سه بازه زمانی بی-بعد (۲۴، ۵۰ و ۷۴ درصد) برای فصل‌های مختلف در ایستگاه‌های منتخب بدست آوردند. همچنین، مقادیر عمق بارش بی‌بعد را با استفاده از منحنی‌های هاف ۲۰ و ۸۰ درصد (d_{20} و d_{80}) در بازه‌های زمانی بی‌بعد مذکور محاسبه و اختلاف آن‌ها را در هر یک از بازه‌ها با نماد V مشخص کردند. در مطالعه حاضر نیز از ایده مذکور استفاده شد. به طوریکه، پس از رسم منحنی‌های هاف در یک ایستگاه معین، سه منحنی هاف ۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد در نظر گرفته شد. سپس، مقادیر عمق بارش بی‌بعد در سه مقطع زمانی بی‌بعد ۲۵، ۵۰ و ۷۵ محاسبه گردید. آنگاه، مقادیر مربوط به منحنی هاف ۵۰ درصد که با (d_{50}) نشان داده شدند، در نظر گرفته و اختلاف بین مقادیر عمق بارش بی‌بعد دو منحنی هاف ۸۰ و ۲۰ درصد در مقاطع زمانی مذکور نیز محاسبه و با نماد V نمایش داده شدند. حال اگر مقدار V محاسبه شده در هر یک از بازه‌های زمانی مذکور بزرگتر باشد،

این امر به این معنی است که میزان تغییرپذیری رگبارها در آن بازه زمانی بیشتر است و برعکس، هرچه مقدار V محاسبه شده کمتر باشد، میزان تغییرپذیری رگبارها در آن بازه زمانی کمتر است. در این مطالعه، مقادیر V و d_{50} در هر یک از کلاس‌های بارشی، برای ایستگاه‌های مورد مطالعه، محاسبه شد. مقایسه الگوی ایستگاه‌ها با توجه به مقادیر V و d_{50} به‌انجام رسید.

نتایج و بحث

شکل ۴ منحنی‌های هاف رسم شده در کلاس‌های بارشی مختلف را برای ایستگاه‌های باران‌سنجی منتخب در استان مازندران نشان می‌دهد. با توجه به شکل مذکور ملاحظه می‌شود که در هر کلاس بارشی، تعداد نه منحنی که از پایین به بالا مربوط به منحنی‌های هاف ۱۰ تا ۹۰ درصد موسوم می‌باشد، رسم شده است. در این مطالعه، برای بررسی و تحلیل رگبارها، از سه منحنی ۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد که در روی شکل با رنگ‌های سبز، سیاه و قرمز به‌صورت پر رنگ نشان داده شده‌اند، استفاده شد. با توجه به منحنی‌های به‌دست آمده، می‌توان مشاهده کرد که فرم منحنی‌ها در یک ایستگاه، در کلاس‌های بارشی مختلف با یکدیگر متفاوت است. همچنین، در یک کلاس بارشی معین (مثلاً یک تا ۶ ساعت)، منحنی‌ها در ایستگاه‌های مختلف با یکدیگر تفاوت دارند و با توجه به اینکه هر دو محور افقی و قائم‌بی‌بعد شده‌اند، در نتیجه، از این منحنی‌ها می‌توان برای تحقیقات عملی در هیدرولوژی استفاده کرد. مثلاً اگر یک رویداد بارشی در ایستگاه ساری با مدت دوام ۲۲۰ دقیقه نازل شود، می‌توان با استفاده از منحنی هاف رسم شده برای ایستگاه ساری در کلاس بارشی یک تا ۶ ساعت و با در نظر گرفتن منحنی هاف ۵۰ درصد و میان‌یابی (با تناسب)، مقادیر درصد عمق بارش را در درصدهای زمانی مختلف به‌دست آورد.



شکل ۴- منحنی‌های هاف در کلاس‌های بارشی: (A) یک تا ۶ ساعت، (B) ۶-۱۲ ساعت و (C) بیش از ۱۲ ساعت برای ایستگاه‌های باران‌سنجی منتخب در استان مازندران

Fig. 4. Huff curves in distinct classes: A) less than 6 hours, B) 6-12 hours, and C) more than 12 hours for the selected stations in Mazandaran province

نتایج مربوط به محاسبه مقادیر درصد عمق بارش رسیده در هر یک از چارک‌ها

به‌منظور محاسبه مقادیر درصد عمق بارش رسیده در هر یک از چارک‌ها، منحنی هاف ۵۰ درصد در نظر گرفته شد و مقادیر درصد عمق بارش در هر یک از چارک‌ها بدست آمد. این کار برای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه در کلاس‌های بارشی مختلف انجام شد و نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به جدول ملاحظه می‌شود که در ایستگاه ساری و در کلاس بارشی یک تا ۶ ساعت، بیشترین میزان بارش در چارک دوم با ۳۱/۰۱ درصد نازل شده و پس از آن چارک سوم با ۲۴/۳۰ درصد و چارک اول با ۳۱/۲۵ درصد به

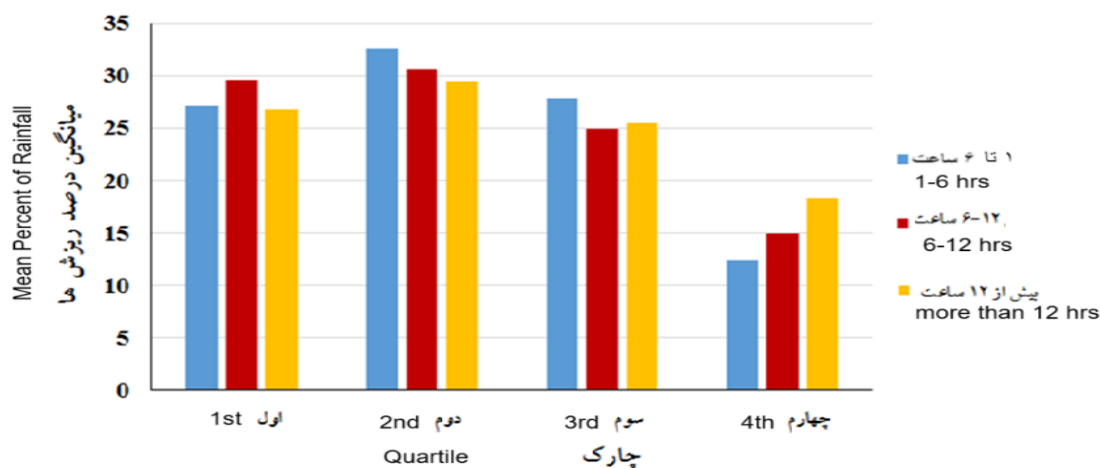
ترتیب در رتبه دوم و سوم جای گرفته‌اند. همچنین، ملاحظه می‌شود که در کلاس بارشی مذکور، در دو ایستگاه عباس‌آباد و فیروزجاه بیشترین میزان بارش به ترتیب، با $34/21$ و $32/61$ درصد در چارک دوم روی داده است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که در هر سه ایستگاه مورد مطالعه، رگبارها در کلاس بارشی کوتاه مدت (یک تا ۶ ساعت) چارک دومی هستند. این نتایج با یافته‌های پژوهش علوی و همکاران (Alavi et al., 2019) که در آن به تحلیل رگبارهای ساعتی در استان خوزستان پرداخته شده و معلوم شده که رگبارهای با مدت دوام کوتاه از نوع چارک دومی بودند، تا حدودی مشابه است. همچنین، نتایج به‌دست آمده با یافته‌های پژوهش ملائی و تلوری (Mollaie & Telvari, 2009) که در آن به تحلیل رگبارهای استان کهگیلویه و بویراحمد پرداخته و رگبارهای کوتاه‌مدت را از نوع چارک دومی ارائه کرده‌اند، همخوانی دارد. در کلاس بارشی ۱۲-۶ ساعت، ملاحظه می‌شود که در ایستگاه ساری بیشترین میزان بارش در چارک اول ($29/93$ درصد) روی داده است. در حالی که، در دو ایستگاه عباس‌آباد و فیروزجاه بیشترین میزان بارش در چارک دوم به‌ترتیب با $32/13$ و $30/7$ درصد نازل شده است. در کلاس بارشی بیش از ۱۲ ساعت، مشاهده می‌شود که در ایستگاه ساری و عباس‌آباد بیشترین میزان بارش با $30/75$ و $29/2$ درصد در چارک دوم اتفاق افتاده که با نتایج مربوط به تحلیل رگبارهای استان خراسان که در آن رگبارهای بلندمدت چارک دومی گزارش شده، (Hatami-Yazd et al., 2005) همخوانی دارد. در ایستگاه فیروزجاه و کلاس بارشی بیش از ۱۲ ساعت، بیشترین میزان بارش در چارک اول ($29/17$ درصد) رخ داده است. در حالت کلی، می‌توان نتیجه گرفت که به‌جز دو مورد (ایستگاه ساری در کلاس بارشی ۱۲-۶ ساعت و ایستگاه فیروزجاه در کلاس بارشی بیش از ۱۲ ساعت که چارک اولی بودند)، در بقیه موارد، الگوی بارشی رگبارها در کلاس‌های بارشی مختلف، از نوع چارک دومی است. همچنین، برای سه ایستگاه مورد مطالعه، میانگین‌های درصد ریزش‌های جوی مربوط به هر یک از چارک‌ها در کلاس‌های بارشی مختلف به‌دست آمد. به‌عنوان مثال، میانگین درصد ریزش‌ها در چارک اول و کلاس بارشی یک تا ۶ ساعت از میانگین سه عدد $25/31$ ، $31/01$ و $25/12$ که به‌ترتیب، مربوط به ایستگاه‌های ساری، عباس‌آباد و فیروزجاه می‌باشد، نتیجه شده است. مشابه همین روش، برای سایر چارک‌ها در کلاس‌های بارشی مختلف، مقادیر میانگین‌ها برای ایستگاه‌های مورد مطالعه حاصل شد. شکل ۵ نتایج را به‌صورت هیستوگرام و به‌تفکیک کلاس‌های بارشی نشان می‌دهد. با توجه به‌شکل مذکور ملاحظه می‌شود که در ایستگاه‌های مورد مطالعه، بیشترین میانگین درصد ریزش‌ها، در هر سه کلاس بارشی، متعلق به چارک دوم برای کلاس ۶-۱ ساعت (حدود ۳۳ درصد) و کمترین میانگین درصد ریزش‌ها متعلق به چارک چهارم و در همان کلاس بارشی (حدود ۱۳ درصد) می‌باشد.

جدول ۲- درصد ریزش بارش در هر یک از چارک‌های زمانی برای ایستگاه‌های منتخب به تفکیک

کلاس‌های بارشی

Table 2- Percentage of received rainfall in each time quartiles in the selected stations in distinct rainfall durations

کلاس بارشی (ساعت)			نوع چارک		نام ایستگاه Station name
بیش از ۱۲ ساعت More than 12 hours	۶ تا ۱۲ ساعت 6-12 hours	یک تا ۶ ساعت Less than 6 hours	Quartile type		
25.67	29.93	25.31	First	اول	ساری Sari
30.75	28.9	31.01	Second	دوم	
27.89	27.12	30.24	Third	سوم	
15.69	14.05	30.46	Fourth	چهارم	
25.6	28.41	31.01	First	اول	عباس‌آباد Abbas abad
29.12	32.13	34.21	Second	دوم	
24.42	24.29	23.12	Third	سوم	
20.78	15.17	11.66	Fourth	چهارم	
29.17	30.33	25.12	First	اول	فیروزجاه Firouzjah
28.19	30.7	32.61	Second	دوم	
24.35	23.5	30.06	Third	سوم	
18.29	15.47	12.21	Fourth	چهارم	

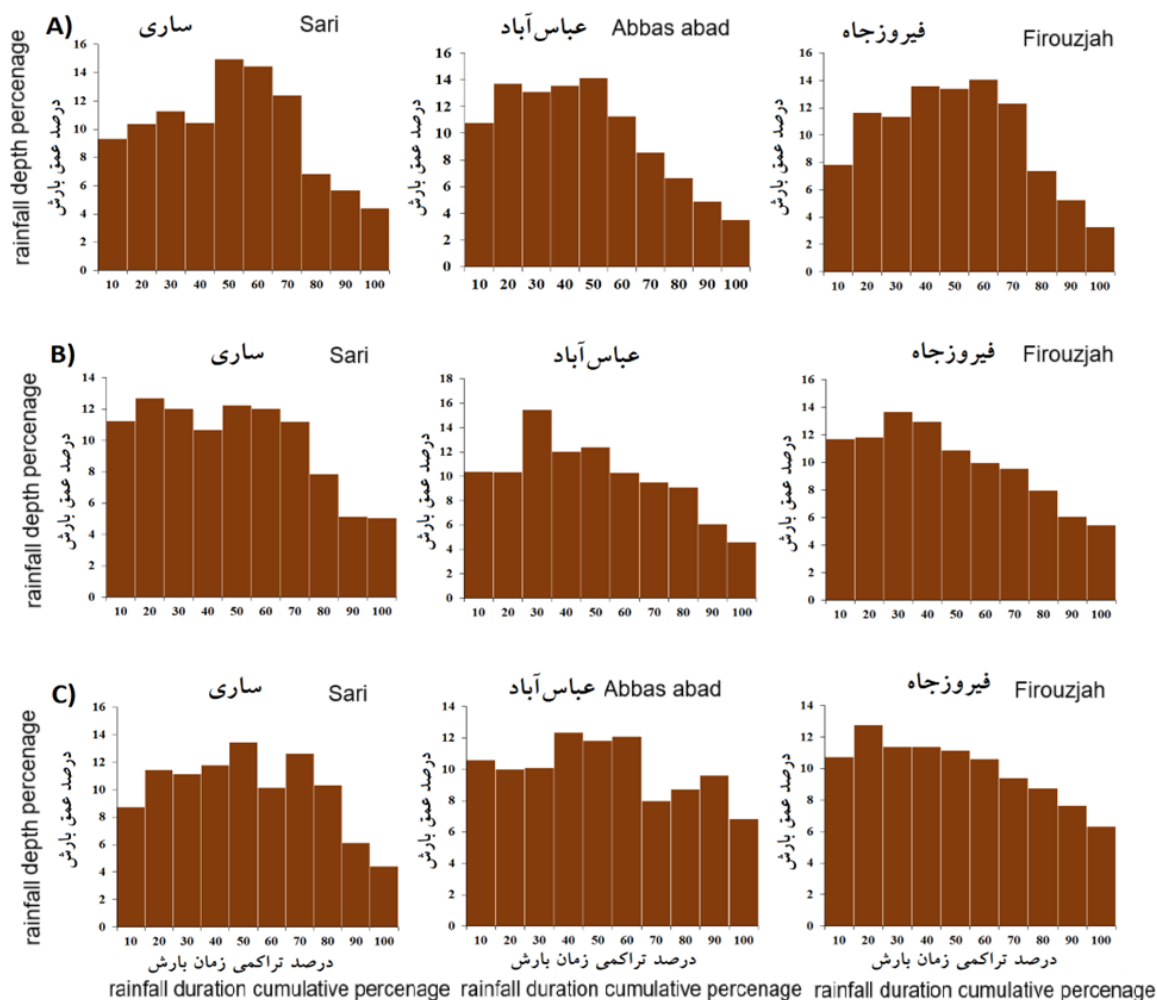


شکل ۵- هیستوگرام میانگین درصد ریزش‌ها در هر یک از چارک‌ها و کلاس‌های بارشی مختلف برای ایستگاه‌های منتخب

Fig. 5. Histogram of the mean percentage of received rain in different quartiles and in distinct rainfall duration classes in the selected stations

نتایج مربوط به استخراج هیتوگراف رگبار طرح با استفاده از منحنی هاف ۵۰ درصد

با استفاده از منحنی‌های هاف ۵۰ درصد، هیتوگراف بارش طرح برای ایستگاه‌های منتخب در کلاس‌های بارشی مختلف بدست آمد (شکل ۶). با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که در ایستگاه‌های مورد مطالعه و کلاس‌های بارشی مختلف (بجز ایستگاه عباس‌آباد در کلاس بارشی بیش از ۱۲ ساعت)، درصد قابل توجهی از بارش (بیش از ۸۰ درصد)، تا دهک هفتم مدت دوام بارش نازل شده است و با جابجایی به سمت دهک‌های آخر، میزان درصد بارش نازل شده کاهش می‌یابد. با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که در هیچکدام از ایستگاه‌ها و کلاس‌های بارشی، در یک بازه زمانی ۱۰ درصدی از مدت رگبار، بیش از ۱۶ درصد از عمق بارش نازل نشده است. همچنین، با توجه به شکل می‌توان تشخیص داد که در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه و کلاس‌های بارشی، اوج بارش‌ها در کدام دهک رخ داده است. به‌عنوان مثال، با در نظر گرفتن ایستگاه ساری در کلاس بارشی یک تا ۶ ساعت، ملاحظه می‌شود که اوج بارش‌ها به‌ترتیب، در دهک‌های پنجم، ششم و هفتم نازل شده است.



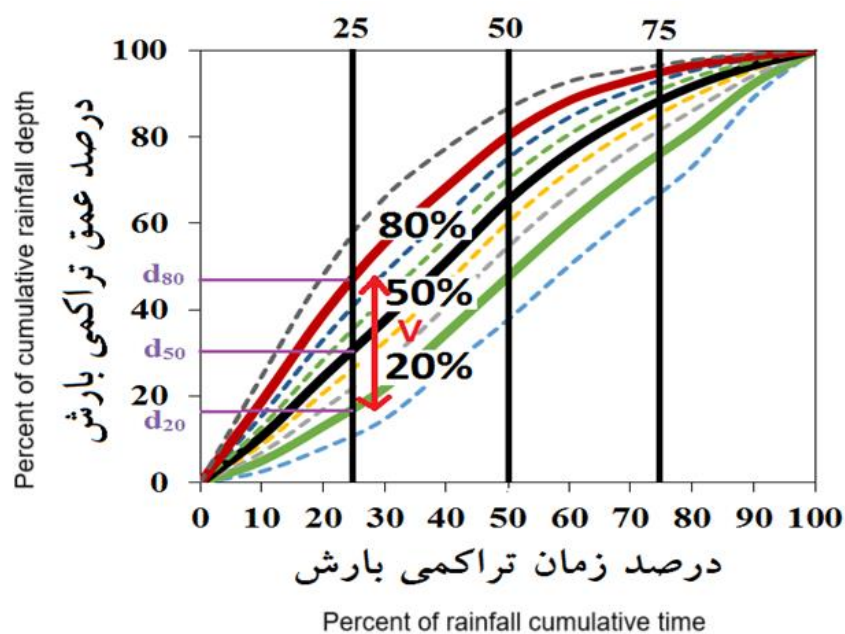
شکل ۶- هیتوگراف بارش طرح با استفاده از منحنی هاف ۵۰ درصد برای ایستگاه‌های منتخب در کلاس-

های بارشی (A) ۱ تا ۶ ساعت، (B) ۶-۱۲ ساعت و (C) بیش از ۱۲ ساعت

Fig. 6. Design rainfall hyetographs obtained using the 50% Huff curves for the selected stations in different classes; A) 1-6 hrs, B) 6-12 hrs, and C) more than 12 hrs

نتایج مربوط به روش محاسبه مقادیر بارش بی بعد d_{80} ، d_{50} ، d_{20} و V با استفاده از روش نوین در شکل ۷ نحوه محاسبه مقادیر d_{80} ، d_{50} ، d_{20} و $V = d_{80} - d_{20}$ در بازه زمانی بی بعد ۲۵ درصد، برای ایستگاه نمونه عباس‌آباد، در کلاس بارشی یک تا ۶ ساعت نشان داده شده است. به همین ترتیب، می‌توان در ۵۰ و ۷۵ درصد زمان بارش نیز مقادیر مذکور را به دست آورد. در ادامه، مقادیر d_{80} ، d_{50} ، d_{20} و V در ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد زمان بارش برای همه کلاس‌های بارشی و ایستگاه‌های منتخب بدست آمد که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به جدول ملاحظه می‌شود که در کلاس بارشی یک تا ۶ ساعت، بیشترین مقدار V

در ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد زمان بارش، به ترتیب، با ۳۶/۸۵، ۵۵/۹۶ و ۲۴/۴۹ درصد متعلق به ایستگاه ساری می باشد. این امر نشان می دهد که میزان تغییرپذیری رگبارهای ایستگاه ساری در کلاس بارشی یک تا ۶ ساعت بیشتر از دو ایستگاه دیگر است. در کلاس بارشی ۱۲-۶ ساعت، بیشترین مقدار V در ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد زمان بارش، به ترتیب با مقادیر ۳۱/۲۱، ۳۴/۲۶ و ۲۱/۴۷ درصد متعلق به ایستگاه عباس آباد می باشد و در کلاس بارشی بیش از ۱۲ ساعت، بیشترین مقدار V در ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد زمان بارش، به ترتیب با مقادیر ۲۹/۲۳، ۳۲/۹۶ و ۲۲/۶۲ درصد به ایستگاه فیروزجاه تعلق دارد. همه این ارقام به صورت پیرنگ در جدول مشخص شده اند. لازم به ذکر است که در یک کلاس بارشی معین، هرچه مقدار V در هر یک از ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد زمان بارش بیشتر باشد، میزان شباهت الگوی ریزشی رگبارها در آن کلاس بارشی کمتر بوده و برعکس، هر چه مقدار V کمتر باشد، الگوی ریزشی رگبارها مشابه هم در نظر گرفته می شود. همچنین، با در نظر گرفتن منحنی هاف ۵۰ درصد (d_{50})، ملاحظه می شود که در کلاس بارشی یک تا ۶ ساعت، بیشترین مقدار d_{50} در ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد زمان بارش، به ترتیب با ۳۱/۰۱، ۶۵/۲۲ و ۸۸/۳۴ درصد متعلق به ایستگاه عباس آباد می باشد. در کلاس بارشی ۱۲-۶ ساعت، بیشترین مقدار d_{50} در ۲۵ و ۵۰ درصد زمان بارش، به ترتیب با ۳۰/۳۳ و ۶۱/۰۳ درصد متعلق به ایستگاه فیروزجاه می باشد. در حالی که در ۷۵ درصد زمان بارش بیشترین مقدار d_{50} با ۸۵/۹۵ درصد مربوط به ایستگاه ساری است. در کلاس بارشی بیش از ۱۲ ساعت، بیشترین مقدار d_{50} در ۲۵ و ۵۰ درصد زمان بارش، به ترتیب با ۲۹/۱۷ و ۵۷/۳۶ درصد متعلق به ایستگاه فیروزجاه و در ۷۵ درصد زمان بارش با ۸۴/۳۱ درصد متعلق به ایستگاه ساری است. در حالت کلی، می توان نتیجه گرفت که اگر در یک ایستگاه معین و کلاس بارشی مشخص، مقدار d_{50} در هر یک از بازه های زمانی (۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد) بیشتر باشد، این امر حاکی از آن است که درصد بارش نازل شده در آن بازه زمانی برای آن ایستگاه در کلاس بارشی مذکور بیشتر از سایر ایستگاه ها است. با مقایسه نتایج به دست آمده در این مطالعه، با نتایج مطالعه گردجی و همکاران (Gordji et al., 2020) ملاحظه می شود که در این مطالعه، بیشترین مقدار V در حالت کلی در موقعیت های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد زمان رگبار برابر با ۰/۳۶۹، ۰/۵۶ و ۰/۲۴۵ می باشد. در حالیکه، معادل این ارقام در مطالعه گردجی و همکاران (Gordji et al., 2020) برابر با ۰/۵۹، ۰/۵۸۱ و ۰/۴۴۶ بود. بنابراین، می توان نتیجه گرفت که میزان تغییرات الگوی بارشی رگبارها در شرق اوهایو نسبت به ایستگاه های مورد مطالعه در استان مازندران بیشتر است. به عبارت دیگر، الگوهای بارشی رگبارهای استان مازندران نسبت به الگوهای بارشی رگبارهای شرق اوهایو مشابهت بیشتری دارد.



شکل ۷- منحنی‌های هاف ۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد برای ایستگاه نمونه عباس آباد (سه خط قائم بی بعد برای نمایش مقادیر d_{80} ، d_{50} ، d_{20} و V رسم شده‌اند)

Fig. 7. Huff curves of 20, 50, and 80 percent for a representative station Abbas abad (three dimensionless vertical lines shows $d_{20}\%$ ، $d_{50}\%$ ، and $d_{80}\%$ ، also V is shown)

جدول ۳- مقادیر d_{20} ، d_{50} ، d_{80} و V در ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد زمانی رگبار برای ایستگاه‌های باران‌سنجی منتخب به تفکیک کلاس‌های بارشی

Table 3- Values of d_{20} , d_{50} , and d_{80} time percentage of storm for the selected rain gauges in distinct rainfall durations

درصد زمانی بارش Rainfall time percentage			آماره Statistics	ایستگاه Station
75%	50%	25%		
1-6 hrs class کلاس ۱ تا ۶ ساعت				
70.29	25.75	10.85	d_{20}	ساری Sari
86.55	56.31	25.31	d_{50}	
94.78	81.71	47.7	d_{80}	
24.49	55.96	36.85	V	
76.24	47.53	17.5	d_{20}	عباس‌آباد Abbas abad
88.34	65.22	31.01	d_{50}	
94.82	80.19	47.27	d_{80}	
18.48	32.66	29.77	V	
74.1	37.52	11	d_{20}	فیروزجاه Firouzjah
87.79	57.73	25.12	d_{50}	
95	76.78	46.88	d_{80}	
20.9	39.26	35.88	V	
6-12 hrs class کلاس ۶-۱۲ ساعت				
73.5	41.36	18.91	d_{20}	ساری Sari
85.95	58.83	29.93	d_{50}	
92.33	74.09	43.22	d_{80}	
18.83	32.73	24.31	V	
70.16	41.1	14.4	d_{20}	عباس‌آباد Abbas abad
84.83	60.54	28.41	d_{50}	
91.63	75.36	45.61	d_{80}	
21.47	34.26	31.21	V	
72.53	42.93	17.39	d_{20}	فیروزجاه Firouzjah
84.53	61.03	30.33	d_{50}	
91.34	75.23	48.19	d_{80}	
18.81	32.3	30.8	V	
More than 12 hrs class کلاس بیش از ۱۲ ساعت				
71.69	41.07	16.93	d_{20}	ساری Sari
84.31	56.42	25.67	d_{50}	
91.22	71.77	40.24	d_{80}	
19.53	30.7	23.31	V	
67.9	43.25	15.86	d_{20}	عباس‌آباد Abbas abad
79.22	54.8	25.6	d_{50}	
87.07	66.35	38.77	d_{80}	
19.17	23.1	22.91	V	
68.08	40.37	16.34	d_{20}	فیروزجاه Firouzjah
81.71	57.36	29.17	d_{50}	
90.7	73.33	47.57	d_{80}	
22.62	32.96	29.23	V	

نتیجه گیری

در این مطالعه با استفاده از ۵۶۴ رگبار ثبت شده در دوره آماری (۱۳۹۶-۱۳۸۸)، منحنی‌های هاف در سه کلاس بارشی یک تا ۶ ساعت، ۶-۱۲ ساعت و بیش از ۱۲ ساعت برای سه ایستگاه منتخب در استان مازندران رسم شد. نتایج نشان داد که فرم منحنی‌ها در یک ایستگاه معین، در کلاس‌های بارشی مختلف با یکدیگر متفاوت است. همچنین، در یک کلاس بارشی معین (مانند یک تا ۶ ساعت)، فرم منحنی‌ها در ایستگاه‌های مختلف با یکدیگر تفاوت دارند. با استفاده از منحنی‌های هاف ۵۰ درصد، رگبارها از دیدگاه چارکی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاکی از آن بود که در کلاس‌های بارشی مختلف (بجز دو مورد)، تیپ بارشی اغلب رگبارها از نوع چارک دومی بود. همچنین، با استفاده از منحنی‌های هاف ۵۰ درصد، هیئتوگراف بارش طرح برای ایستگاه‌های منتخب در کلاس‌های بارشی مختلف به دست آمد. نتایج نشان داد که در اغلب ایستگاه‌های مورد مطالعه و کلاس‌های بارشی، درصد قابل توجهی از بارش (بیش از ۸۰ درصد)، تا دهک هفتم مدت زمان دوام بارش نازل می‌شود و با حرکت به سمت دهک‌های آخر، میزان درصد بارش نازل شده کاهش می‌یابد. در ادامه، به منظور تحلیل و بررسی میزان تغییرپذیری رگبارهای ایستگاه‌های منتخب در کلاس‌های بارشی مختلف از روش جدید استفاده شد که در آن با استفاده از منحنی‌های هاف ۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد، مقادیر عمق بارش بی‌بعد برای سه مقطع زمانی بی‌بعد ۲۵، ۵۰ و ۷۵ بدست آمد. مقادیر مربوط به منحنی هاف ۵۰ درصد با d_{50} مشخص و اختلاف بین دو منحنی هاف ۸۰ و ۲۰ درصد در مقاطع زمانی مذکور محاسبه و با نماد V نشان داده شد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان تغییرپذیری رگبارها در کلاس‌های بارشی یک تا ۶ ساعت، ۶-۱۲ ساعت و بیش از ۱۲ ساعت به ترتیب، مربوط به ایستگاه‌های ساری، عباس‌آباد و فیروزجاه بود. با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه، الگوی توزیع زمانی رگبارها با استفاده از روش‌های به کار برده شده در مطالعه اخیر، مورد بررسی قرار نگرفته است، به نظر می‌رسد، نتایج این مطالعه می‌تواند در مدیریت و استفاده بهینه منابع آبی و همچنین، کنترل و هشدار به موقع سیلاب‌ها با توجه به شرایط اقلیمی منطقه موثر باشد. پیشنهاد می‌شود مطالعاتی مشابه در استان‌های دیگر با شرایط آب و هوایی مختلف انجام شود و نتایج آن با نتایج بدست آمده از این مطالعه مقایسه شود.

سپاسگزاری

از شرکت مدیریت منابع آب ایران بخاطر قرار دادن داده‌های مورد نیاز این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

References

- Alavi, E. S., Dinpashoh, Y., & Asadi, E. (2019). Analysis of hourly storms for the purpose of extracting design hyetographs using the Huff Method. *Geography and Environmental Planning*, 30(3), 41-58. [In Persian] <https://doi.org/10.22108/gep.2019.116484.1141>

- Anonymous. (2012). Climate of Mazandaran Province. Formal Website of Young Correspondents Club; Economic Diploma. (Date of Access 01 12 2024). [In Persian] <https://www.yjc.ir/fa/news/4789307/>
- Awadallah, A. G., & Younan, N. S. (2012). Conservative design rainfall distribution for application in arid regions with sparse data. *Journal of Arid Environments*, 79, 66-75. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.11.032>
- Baek, S. S., Choi, D. H., Jung, J. W., Lee, H. J., Yoon, K. S., & Cho, K. H. (2015). Optimizing low impact development (LID) for stormwater runoff treatment in urban area, Korea: experimental and modeling approach. *Water Research*, 86, 122-131. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.08.038>
- Bezak, N., Sraj, M., Rusjan, S., & Mikos, M. (2018). Impact of the rainfall duration and temporal rainfall distribution defined using the Huff curves on the hydraulic flood modelling results. *Geosciences*, 8(2), 69. <https://doi.org/10.3390/geosciences8020069>
- Dinpashoh, Y., & Alavi, E. (2024). Derivation of Huff curves for the four stations in Great Karun River in Khuzestan provinces. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 54.1(114), 115-130. [In Persian] <https://doi.org/10.22034/jcee.2022.28050.1678>
- Dinpashoh, Y., & Vakili Azar S. (2019). Temporal analysis of storms in East of Urmia Lake using the Huff curves method. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 8(3), 27-44. [In Persian] <https://sanad.iau.ir/en/Article/829069>
- Dolsak, D., Bezak, N., & Sraj, M. (2016). Temporal characteristics of rainfall events under three climate types in Slovenia. *Journal of Hydrology*, 541, 1395-1405. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.08.047>
- Dunkerley, D. (2022). Huff quartile classification of rainfall intensity profiles ('storm patterns'): A modified approach employing an intensity threshold. *Catena*, 216, 106371-106384. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106371>
- Golian, S., Saghafian, B., & Maknoon, R. (2010). Derivation of probabilistic thresholds of spatially distributed rainfall for flood forecasting, *Water Resources Management*, 13(26), 3547-3559. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-010-9619-7>
- Gordji, L., Bonta, J. V., & Altinakar, M. S. (2020). Climate- related trends of within-storm intensities using dimensionless temporal storm distributions. *Journal of Hydrologic Engineering*, 25(5), 1-31. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001911](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001911)
- Hatami-Yazd, A., Taghvaei-Abrishami, A., & Ghahraman, B. (2005). Rainfall temporal pattern for Khorasan province, Iran. *Iran-Water Resources Research*, 1(3), 54-64. [In Persian] https://www.iwrr.ir/article_15168.html?
- Huff, F. (1967). Time distribution of rainfall in heavy storms. *Water Resources Research*, 3(4), 1007- 1019. <https://doi.org/10.1029/WR003i004p01007>
- Khaksafidi, A., Noura, N., Biroudian, N., & Najafi Nejad, A. (2010). Rainfall temporal distribution patterns in Sistan & Baluchestan Province (Iran). *Journal of Water and Soil*

- Conservation*, 17(1), 45-61. [In Persian]
<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23222069.1389.17.1.3.0>
- Loukas, A., & Quick, M. C. (1994). Precipitation distribution in coastal British Columbia. *Water Resources Bulletin*, 30(4), 705-725. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1994.tb03324.x>
- Mollaie, A., & Telvari, A. R. (2009). Determination of rainfall temporal pattern in Kohkiluyeh and Boyerahmad province by Pilgrim method. *Watershed Engineering and Management*, 1(2), 70-77. [In Persian]
<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22519300.1388.1.2.1.3>
- Moradnezehadi, M., Malekian, A., Jourgholami, M., & Ghasemi, A. (2016). Daily rainfall temporal distribution patterns and its relations with short-term precipitations in coastal-forest areas (Case study: Nowshahr Station, Northern Iran). *Journal of Range and Watershed Managment*, 69 (2), 475-485. [In Persian]
<https://doi.org/10.22059/jrwm.2016.61697>
- Pan, C., Wang, X., Liu, L., Huang, H., & Wang, D. (2017). Improvement to the Huff curve for design storms and urban flooding simulations in Guangzhou, China. *Water*, 9, 411-429. <https://doi.org/10.3390/w9060411>
- Pilgrim, D. H., & Cordery, I. (1975). Rainfall temporal patterns for design flood. *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, 101, 81-95. <https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0004197>
- Rahman, A., Islam, S. M., Rahman, K., Khan, S., & Shrestha, S. (2006). A windows based program to derive design rainfall temporal patterns for design flood estimation. *Proceeding of 30 th Hydrology and Water Resources Symposium, Dec. Tasmania*, 1881-1886.
- Terranova, O. G., & Iaquina, P. (2011). Temporal properties of rainfall events in Calabria (Southern Italy). *Natural Hazards Earth System Sciences*, 11, 751-757. <https://nhess.copernicus.org/articles/11/751/2011/>
- Vakili Azar, S., & Dinpazhoh, Y. (2019). Development of Huff curves for the five selected stations in the East of Urmia Lake. *Water and Soil*, 32(6), 1109-1123. [In Persian]
<https://doi.org/10.22067/jsw.v32i6.72443>
- Xlong, J., Tang, C., Gong, L., & Chen, M. (2021). Variability of rainfall time distributions and their impact on peak discharge in the Wenchuan County, China. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 80, 7113-7129. <https://doi.org/10.1007/s10064-021-02376-2>
- Zarei, Y., Khorshiddoust, A. M., Rezaee Banafshe, M., & Rostam zadeh, H. (2023). Assessing the impacts of global climate change on climate elements of temperature and precipitation in disparate climatic zones of Iran using RCP scenarios. *Journal of Geography and Planning*, 27(83), 63-71. [In Persian] <https://doi.org/10.22034/gp.2023.10791>

