



Analysis of Storm Types in East Azarbaijan Province

Yagob Dinpashoh^{1✉}, Saeed Jahanbakhsh Asl², Majid Rezaei Banfsheh³, Maryam Khoshnafs⁴

1. Corresponding Author, Department of Water Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: dinpashoh@yahoo.com
2. Department of Geography and Climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: jahanbakhshsaeed@yahoo.com
3. Department of Geography and Climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: drbanafsheh@gmail.com
4. Department of Geography and Climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: khoshnafs@gmail.com

Article Info

Article type

Research Article

Article history:

Received: 4 April 2025

Revised: 9 August 2025

Accepted: 19 August 2025

Published: 10 May 2026

Keywords:

Rainstorm Type,
Huff Curves,
East Azarbayegan Province,
Design Hyetograph.

ABSTRACT

Objective: The primary aim of this study is to analyze the types of rainstorm events in East Azerbaijan Province, Iran. Storm events were classified into four distinct classes, based on their durations: less than 2 hours, 2 to 6 hours, 6 to 12 hours, and more than 12 hours. Events of the selected sites were analyzed in three seasons, which are spring, autumn, and winter. Analysis was conducted for each site separately for each class and season. In each site, the set of Huff curves was illustrated to show the temporal distribution of dimensionless rain at the selected stations. Moreover, the pattern of dimensionless rain was shown using the dimensionless hyetographs.

Methods: Using the measured data of rain storms during the time period of 2003-2018, in a one-minute resolution, Huff curves were prepared for each site. This is accomplished after separating events into the four distinct classes and each of the three rainy seasons (winter, autumn, and spring). Firstly, cumulative rainfall events were shown at each site in a single diagram. Then they were transformed into non-dimensional forms. The set of Huff curves in the selected sites was illustrated using the two distinct approaches, which are empirical and theoretical methods. In the case of the empirical method, data were sorted in descending order, and the Weibull plotting position was used to find the empirical probability of events. In the second approach, all the datasets were fitted by the most commonly used probability distributions. The most appropriate statistical distribution was selected from the EasyFit software based on the chi-square test. The parameters of the fitted distribution were estimated using the maximum likelihood method. The dimensionless depths of rains were predicted using the quantile function of the fitted distribution. To do these nine probabilities, which are 0.1, 0.2, ..., and 0.9, were used. Then, according to the median Huff curve, the design hyetographs were plotted for each case. These plots were shown in this paper, too, for the stations. To detect the type of storms, the median Huff curve was modeled using the Curve Expert software. The area under the median Huff curves in the four quartiles was estimated by definite integration. The quartile having the largest area under the curve was determined as the type of storm.

Results: Two sets of plots are the most prominent findings of this research, which are i) the set of Huff curves for the stations in different seasons based on storm durations, and ii) the set of storm design hyetographs for the mentioned cases. Results showed that the set of Huff curves started from the origin and ended at the last point, coordinate (100,100). These curves never cross each other except at the two mentioned points. They are strictly upward. In spring, the rainfall type of all the stations was found to be the third quartile. In autumn, the type of storms in the stations, namely Maragheh, Bonab, Sarab, and Malekan, was in the third quartile, too. In the case of the station Tabriz, the type of rain was in the fourth quartile in spring. However, in the station Ajabshir, it was the second quartile in the spring. In winter, the type of rains in the stations, namely Maragheh and Bonab, are the third quartile; however, in the stations Tabriz and Malekan they were the fourth quartile, and in the station Sarab it was the second quartile, in winter season. In other words, the rainfall

types of the region (East Azarbayejan province) can be suggested to be the third quartile in spring, and generally the third quartile in autumn, and the combinations of the second, third, and fourth quartiles in winter seasons.

Conclusions: According to the plotted Huff curves in the selected sites in East-Azarbayejan, it can be concluded that the form of the curves in different sites is different from each other. The plotted curves are not the same in different seasons, even for a given station. Also, the forms of the curves are not similar to each other in different classes according to the rainfall durations

Cite this article: Dinpashoh, Y., Jahanbakhsh Asl, S., Rezaei Banfshah, M. & Khoshnafs, M. (2026). Analysis of Storm Types in East Azarbaijan Province. *Journal of Geography and Planning*, 30(96), 158-180. <http://doi.org/10.22034/gp.2025.66618.3385>



© The Author(s).

Publisher: University of Tabriz.

DOI: <http://doi.org/10.22034/gp.2025.66618.3385>

Introduction

Understanding of rain storm patterns is crucial from the view of urban storm runoff drainage, collection of rainwater to use in gardening and agriculture, and so on. Nowadays, many researchers use the set of Huff curves (nine curves) to show the storm rain pattern in the stations. These curves vary from site to site and from season to season. Also, these curves vary in form by storm duration at a single site. Therefore, plotting the set of Huff curves for a given station is recommended to be done for different seasons and different classes of storm durations. Many investigators plotted Huff curves in different stations in different countries. Among them, it can be referred to the works of Pan et al. (2017) worked in China, Huff (1990) in Illinois, Ewea et al. (2016) in Makkeh, and Azli, M. & Rao, R. (2010) in Malaysia. Design hyetographs can be deduced from the median Huff curve. Several studies presented the mentioned hyetographs for different stations around the world. Among them, it can be pointed out that the studies of Bustami et al. (2012) in the southern region of Sarawak, Malaysia, Kottegoda et al. (2014), Lee and Ho (2008) in Taiwan, Liao et al. (2019 and 2021), Dolsak et al. (2016), Wartalska et al. (2020), and many others.

Huff (1967) researched the time distribution of rainfall in heavy storms in the USA. Terranova and Iaquina (2011) investigated the temporal properties of rainfall events in Calabria (Southern Italy). Huff (1967) presented a detailed study on the time distribution of rainfall in heavy storms that occurred in the USA. Gordji et al. (2020) investigated the climate-related trends of within-storm intensities using dimensionless temporal storm distributions.

In Iran, different studies on storm rainfall patterns have been carried out in recent decades. For example, Dinpashoh and Alavi (2024) studied plotting Huff curves for the four stations in the Great Karun River in Khuzestan province, Iran. In a similar study conducted by Dinpashoh and Vakili Azar (2019), temporal analysis of storms was conducted in the East of Urmia Lake using the Huff curves. Vakili Azar and Dinpashoh Y (2019) studied on development of Huff curves for the five selected stations in the east of Urmia Lake.

The aims of this study are i) plotting Huff curves in the six selected sites of East Azarbayegan province, Iran, ii) plotting design hyetographs resulting from the median Huff curves, iii) finding the type of rain storms using the quartile method.

Materials and Methods

The data used in this study are the 1-minute resolution rainfall events that occurred in the statistical period of 2003-2018. Data were classified into the four distinct classes according to the storm durations. Analysis was performed for each of the rainy seasons separately. All the stations had at least 10 years of storm event-based data. The criteria used here for rain storm events are i) having at least 3 mm for the storm depth, ii) having at least 20 minutes of rainfall duration. Consecutive rainfall events that had more than two hours between the end of the first rainfall and the beginning of the next one were combined as separate events here. Otherwise, these two rainfall events are combined and considered as a single event. To plot the set of Huff curves, in a given station, the following discipline was used. For a single event, the data were transformed to the nondimensional form. To do this, in each event, partial rainfall depths were divided by the total rainfall depth. Similarly, in the same event, incremented time of rain was divided by the total event duration. For all the events in a given station, this practice was iterated. The values of partial rain depths received in the nine partial times (i.e., 10, 20, and..., 90%) are interpolated for a single event. This is iterated for all the N events on the site. Therefore, the N value of dimensionless rain depths in the site was obtained for each of the nine partial time rain events. These N values were used to find the rain depths corresponding to the nine probabilities, which are 0.1, 0.2, ..., and 0.9. Here, two approaches were used. The first one is sorting the data in ascending order and using the Weibull plotting position. The second one is fitting distributions for the mentioned n values. In this regard, nine distributions with their parameters selected for each of the nine dimensionless times. In this way, we estimated 81 quantiles for nine dimensionless times by nine probabilities. In addition, two other points, which are (0,0) and (100, 100), i.e., starting point and ending point of the curves considered. Totally 83 points are used here for plotting the set of Huff curves in a given site. The first decile for the nine dimensionless times was considered. The first point has an ordinate of (0,0) connected to the second one, by ordinate of (10%, Q1) via a segment line. Similarly, the second point is connected to the third one with ordinate of (20%, Q1), and so on. In this way, 10 segmented lines are connected using 11 points, and the first curve (10% probability) is created. To plot the 20% probability Huff curve, the second decile of the nine dimensionless times was considered. In the same way, the first point (0,0) is connected to the second one, i.e., (10%, Q2). Similarly, the second point connected to the third (20%, Q2), and so on. In this way, the second curve (20% probability) was created. In the same fashion, all nine Huff curves are plotted in the same diagram for a given site. The 50% probability curve is called the median Huff curve. We used the median Huff curve for estimating partial dimensionless rain depths in the nine

dimensionless times, which are 10%, 20%, ..., and 90%, respectively. Plotting the partial dimensionless rainfall depths versus the dimensionless times with a histogram yields the rainfall dimensionless rain hyetograph. These plots are illustrated and shown in the paper for all the selected sites. Many sets of Huff curves for the stations were illustrated and shown here for different seasons and rainfall duration classes. Finally, the type of rain storms was detected here by definite integration of the mathematical function of the site median Huff curve. This practice was repeated for all four quartiles in the station. The quartile having the largest value of integral value was considered to be the dominant quartile type of the station.

Results

The set of Huff curves plotted using the empirical method for the representative station in two distinct seasons and all the other sites is shown in Figures 4 and 5, respectively. Moreover, Figures 6 and 7 show similar curves for the same stations using the theoretical approach for the two representative stations and all the other sites, respectively. Figure 8 shows the plotted design hyetographs from the median Huff curve of the stations for all the stations using the theoretical method.

Results showed that in the East Azarbayegan province, the spring storm types are generally in the third quartile. In Autumn, four stations had the third-quartile storm pattern. The names of the mentioned four stations are Maragheh, Bonab, Sarab, and Malekan. On the other hand, in winter, Tabriz station storm type is recognized to be the fourth quartile. In winter, Ajabshir station storm types are recognized as the second quartile. Results indicated that Maragheh and Bonab stations' storms in the winter season had the third-quartile type. In winter, Tabriz and Malekan stations had the fourth quartile type; however, Sarab station showed a second quartile type of storms.

Conclusion

The results showed that the Huff curves of the selected stations are different from each other. As a result, the time distribution of dimensionless rainfall events is different from each other. The plotted Huff curves and design hyetographs can be used in the direction of optimum water use in East-Azarbayegan province, Iran. Conducting a similar study for other provinces of Iran is strongly recommended.

Keywords: Rainstorm Type, Huff Curves, East Azarbayegan Province, Design Hyetograph.



تحلیل تیپ بارشی رگبارهای استان آذربایجان شرقی

یعقوب دین پزوه^۱، سعید جهانبخش اصل^۲، مجید رضایی بنفشه درق^۳، مریم خوش نفس

۱. نویسنده مسئول، دانشیار، استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: dinpashoh@yahoo.com

۲. استاد، گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: jahanbakhshsaheed@yahoo.com

۳. استاد، گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: drbanafsheh@gmail.com

۴. دانشجوی دکتری، گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: khoshnafs@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۲/۲۰

کلیدواژه‌ها:

تیپ رگبار باران،

منحنی‌های هاف،

استان آذربایجان شرقی،

هیتوگراف رگبار طرح.

هدف: این مطالعه با هدف تحلیل اطلاعات ۹۲۳ رگبار ثبت شده از نظر تیپ بارشی شش ایستگاه باران سنجی خودکار استان آذربایجان شرقی در سه فصل مختلف سال انجام شده است. از روش منحنی‌های هاف برای تحلیل توزیع زمانی رویدادهای بارش بی‌بعد بهره گرفته شد. با استفاده از طرح منحنی‌های مجزا برای رگبارهای فصول مختلف، تغییرات الگوی توزیع عمق باران بی‌بعد در فواصل زمانی مساوی بی‌بعد (ده درصد) مطالعه شد. از منحنی‌های تجمعی بارش بی‌بعد برای رسم منحنی‌های هاف تجربی بهره گرفته شد. مدل‌بندی ریاضی منحنی‌های هاف ۵۰ درصد انجام و مساحت زیر منحنی هاف ۵۰ درصد از انتگرال‌گیری معین برای یکایک چارک‌ها محاسبه و تیپ بارشی هر ایستگاه تعیین شد.

روش پژوهش: با استفاده از رویدادهای رگباری ثبت شده در دوره آماری (۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵)، مجموعه منحنی هاف هر ایستگاه در هر فصل رسم شد. این منحنی‌ها با دو روش استفاده از فرمول تجربی ویبول و برازش مناسب‌ترین تابع توزیع آماری بر داده‌های بارش بی‌بعد رگبارها رسم گردید. برای هر سری داده مناسب‌ترین توزیع آماری انتخاب شد برای این منظور، از روش کی‌دو بهره گرفته شد و برای تخمین پارامترهای توزیع آماری از روش حداکثر درست‌نمایی استفاده به عمل آمد. تیپ بارشی هر ایستگاه براساس دریافت بیشترین مقدار درصد بارش رسیده به هر یک از چارک‌های زمانی مشخص شد.

نتایج: فرم ظاهری دسته منحنی‌های رسم شده با روش تئوری، هموارتر از روش تجربی بود. در بهار، تیپ بارشی همه ایستگاه‌ها چارک سومی بودند. در پاییز، تیپ بارشی ایستگاه‌های مراغه، بناب، سراب و ملکان چارک سومی، تبریز چارک چهارمی و عجب‌شیر چارک دومی بود. در فصل زمستان، تیپ بارشی ایستگاه‌های مراغه و بناب چارک سومی، تبریز و ملکان چارک چهارمی و سراب چارک دومی بود. می‌توان نتیجه گرفت که تیپ بارشی کل ایستگاه‌های منطقه در بهار چارک سومی، در پاییز، عموماً چارک سومی و در زمستان، ترکیبی از چارک‌های مختلف (بجز چارک اول) بود.

نتیجه‌گیری: درصد ریزش باران ایستگاه‌ها، در چارک‌های چهارگانه، از فصلی به فصل دیگر متفاوت بود. حتی در یک فصل معین نیز درصد ریزش‌ها در ایستگاه‌های مختلف متفاوت بود. در بهار، منحنی‌های هاف همه ایستگاه‌های منطقه مشابه هم ولی در سایر فصول سال، متفاوت بودند. تیپ بارشی همه ایستگاه‌های منطقه در طول سال میسر نبود، ولی در فصل بهار، مطالعه تیپ بارشی همه ایستگاه‌های منطقه مقدور بود. نتایج این مطالعه در استفاده بهینه از آب باران در استان آذربایجان شرقی مفید به نظر می‌رسد.

استناد: دین‌پزوه، یعقوب؛ جهانبخش اصل، سعید؛ رضایی بنفشه درق، مجید و خوش نفس، مریم (۱۴۰۵). تحلیل تیپ بارشی رگبارهای استان آذربایجان شرقی. *جغرافیا و*

برنامه‌ریزی، ۳۰ (۹۶)، ۱۵۸-۱۸۸.

<http://doi.org/10.22034/gp.2025.66618.3385>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه تبریز.

مقدمه

بارش یکی از مولفه‌های مهم چرخه آب در طبیعت است. تحلیل تیپ بارشی، بویژه رگبارهای شدید، در هر ایستگاه از نظر مدیریت بهینه منابع آب، جمع‌آوری و خارج ساختن رواناب و تخمین مقدار حجم و اوج دبی سیل به‌ازای دوره برگشت معین بسیار مهم است. در سال‌های اخیر مطالعات گسترده‌ای در زمینه الگوی توزیع بارش با روش منحنی‌های هاف انجام شده است (هاف^۱ ۱۹۹۰، دین‌پژوه و علوی، ۱۴۰۳، عزلی و رائو^۲، ۲۰۱۰). بررسی تیپ بارشی رگبارها می‌تواند ما را در فهم میزان دبی اوج سیلاب‌های حدی و حجم سیل ناشی از بارشهای حدی کمک کند. هیدروگراف رواناب مستقیم سطحی در هر حوضه بطور مستقیم به‌میزان بارش، توزیع آن در طول مدت بارش و مساحت حوضه بستگی دارد. سیل حدی از بارش حدی ناشی می‌شود. در یک حوضه، حتی برای یک مقدار عمق بارش ثابت، حجم و دبی اوج سیلاب‌ها می‌توانند متفاوت ظاهر شوند. علت آن توزیع زمانی رگبار در طول مدت بارش است. برای دانستن هیتوگراف بارش حدی لازم است همه رگبارهای تاریخی در یک ایستگاه تحلیل فراوانی شوند. به‌عبارت بهتر، میزان بارش در هر زمان جزئی از کل مدت دوام آن تحلیل و محاسبه شود. درک این مسئله که موقعیت اوج یک رگبار، آیا در ابتدای زمان بارش است یا در انتهای آن و یا هر زمان دیگر، در تخمین دقیق حجم و دبی اوج سیل اهمیت دارد. این مورد مهم، اصطلاحاً بررسی تیپ بارشی رگبار نامیده می‌شود که در مطالعه حاضر برای استان آذربایجان شرقی بررسی شده است.

در سال‌های گذشته سیل در استان آذربایجان شرقی خسارات جانی و مالی فراوانی به‌بار آورده است. به‌عنوان نمونه، در سیلاب ۲۵ فروردین ۱۳۹۶ در ناشی از رگبار ۴۰ میلیمتری در شهرهای آذرشهر و عجبشیر ۴۸ نفر جان خود را از دست داده و در ضمن خسارات اقتصادی این سیل حدود ۲۹۵ میلیارد تومان گزارش شده است. در اثر این سیل حدود ۸۰ میلیون مترمکعب آب به دریاچه ارومیه که در حال خشک شدن بود، وارد گردید. بطور کلی، سامانه بارشی از نظر عامل صعود هوا به دو دسته دینامیکی و حرارتی تقسیم می‌شوند (اصلاحی و همکاران، ۲۰۲۲). نتایج تحقیق مذکور نشان داده که در استان آذربایجان شرقی فراوانی سامانه‌های منجر به سیل در کل ۵۸ درصد مربوط به سامانه‌های دینامیکی و ۴۲ درصد بقیه مربوط به سامانه‌های حرارتی است که از تشکیل ابرهای همرفتی محلی ناشی می‌باشد. سیلاب‌های مورخه ۲۴ خرداد ۱۳۸۶ در تبریز و ۲۸ خرداد ۱۳۸۸ در میانه نمونه‌های دیگری از رویدادهای حدی استان است که توسط پورجواد اصل و ارکیان (۲۰۱۳) گزارش شده است. آمار مذکور برای تعداد فوتی‌ها و خسارات سیلاب‌های مورخه ۲۴ خرداد ۱۳۸۶ در شهر تبریز و ۲۸ خرداد ۱۳۸۸ در شهر میانه توسط بابایی و همکاران (۱۳۹۶) نیز گزارش شده است.

پیشینه پژوهش

از پیشگامان تحلیل الگوی بارش در طول زمان بارندگی، دانشمندی به‌نام هاف می‌باشد (هاف، ۱۹۶۷). در مطالعه‌ای، هاف (۱۹۹۰) معتقد است تحلیل الگوی بارش‌ها با به‌کاربردن روش تجربی و استفاده توزیع‌های آماری میسر است. رسم منحنی‌های هاف نقاط مختلف در جهان، از دهه ۹۰ میلادی رایج شده است. در ایران، اکثر تحقیقات مربوط به الگوی زمانی بارش از سال ۱۳۸۴ به بعد انجام شده است. حاتمی‌یزد و همکاران (۱۳۸۴) الگوی توزیع زمانی بارش در استان خراسان بزرگ را با ارائه گراف‌های باران‌نگار ثبات در ۱۸ ایستگاه باران‌سنجی بررسی کردند. قهرمان (۱۳۸۷) با توجه به اطلاعات هشت سال دوره آماری، رگبارهای کوتاه مدت خراسان (شمالی، رضوی و جنوبی) را تحلیل نمود. ملائی و تلوری (۱۳۸۸) به‌منظور تعیین الگوی توزیع زمانی بارش با استفاده از داده‌های چهار ایستگاه باران سنج ثبات در استان کهگیلویه و بویراحمد از روش پیل‌گرم^۳ استفاده کردند. نورا و همکاران (۱۳۸۹) جهت تعیین الگوی توزیع زمانی بارش در ایستگاه زابل روش‌های پیل‌گرم و هاف را مورد

1. Huff

2. Azli and Rao

3. Pilgrim

مقایسه قرار دادند. گلکار و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از روش‌های تجربی هاف و پیلگریم اقدام به تعیین الگوهای توزیع زمانی بارش ایستگاه‌های بم، تهران، شیراز و گرگان نمودند. کریمی و همکاران (۱۳۹۲) برای تعیین الگوی توزیع زمانی بارش، جهت برآورد سیلاب‌های شهر بابلسر از روش‌های ین و چاو، شیکاگو و بلوک‌های متناوب با مدت دوام دو ساعته و دوره بازگشت ۱۰ سال استفاده کردند. وکیلی‌آذر و دین‌پژوه (۱۳۹۷) اقدام به بسط منحنی‌های هاف برای پنج ایستگاه منتخب در شرق دریایچه ارومیه کردند، نتایج نشان داد که مدل لاجستیک قادر است رگبارها را در ایستگاه‌های منتخب به‌خوبی برازش دهد. علوی و همکاران (۱۳۹۸) به‌منظور استخراج هیتوگراف طرح، در استان خوزستان، از روش منحنی‌های هاف استفاده نموده و رگبارهای آن را در بازه زمانی ۱۳۴۵ تا ۱۳۹۵ تحلیل کردند. شهرکی‌زاد (۱۴۰۲) به‌منظور تعیین الگوی توزیع زمانی بارش در زاهدان، ۲۴۷ هیتوگراف بارش را در یک دوره آماری ۲۸ ساله مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. اخیراً دین‌پژوه و علوی (۱۴۰۳) تغییرات الگوی توزیع عمق بارش در طول مدت دوام بارش چهار ایستگاه حوضه رودخانه کارون در استان خوزستان را مورد بررسی قرار دادند. وکیلی‌آذر و همکاران (۲۰۲۵) الگوی بارش را در ۱۶ ایستگاه واقع در سه اقلیم متمایز ایران تحلیل کردند. آن‌ها از روش دودویی^۱ برای این کار استفاده کردند. وکیلی‌آذر و همکاران (۲۰۲۵) الگوی بارش را در سه ایستگاه باران‌سنجی استان مازندران با استفاده از اطلاعات ۵۲۴ رویداد رگباری با روش گورجی^۲ مطالعه کردند. نتایج نشان داد که تیپ اغلب رگبارها در کلاس‌های بارشی مختلف، از نوع چارک دومی بود. دین‌پژوه و همکاران (۲۰۲۴) الگوی داخلی رگبارهای استان گلستان را با روش گورجی تحلیل کردند. ایشان از فن محاسبه فاصله قایم دو منحنی هاف ۸۰ و ۲۰ درصد، در سه مقطع زمانی بی‌بعد شامل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد، بهره گرفتند. نتایج حاکی از آن بود که تیپ بارشی همه ایستگاه‌های استان از نوع چارک دومی بود. از دیگر کارهای مشابه، می‌توان به مطالعات فرج‌پور و همکاران (۱۳۸۵)، رسولی و همکاران (۱۳۸۶)، عساکره و رزمی‌قلندری (۱۳۹۳)، علوی و همکاران (۱۳۹۸) و دین‌پژوه و وکیلی‌آذر (۱۴۰۴) اشاره کرد.

در خارج از ایران، لی و هو^۳ (۲۰۰۸) هیتوگراف طرح را به‌روش مثلی با مدت زمان ۴۸ ساعت ارائه کردند. ایشان منحنی‌های ID^۴ (شدت، مدت، فراوانی) را در چندین حوزه آبخیز در تایوان ارائه نمودند. عزلی و رائو (۲۰۱۰) منحنی‌های هاف را برای ۱۳ ایستگاه واقع در شبه‌جزیره مالزی با استفاده از داده‌های ساعتی بارش رسم کردند. طبق نظر ایشان، این منحنی‌ها برای ایستگاه‌های مذکور دارای الگوی مشابهی بودند. باستانی و همکاران^۵ (۲۰۱۲) الگوی توزیع زمانی بارش را برای جنوب شهر سراواک واقع در کشور مالزی توسعه دادند. آن‌ها از بازه زمانی پنج دقیقه‌ای و اطلاعات بارشی از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۶ در هفت ایستگاه بهره جستند. کوته‌گودا و همکاران^۶ (۲۰۱۴) جهت انجام شبیه‌سازی بارش‌های شمال ایتالیا از روش مونت‌کارلو استفاده نمودند. اوئی و همکاران^۷ (۲۰۱۶) با استفاده از داده‌های بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی مکه در یک دوره بیست ساله، الگوی زمانی توزیع بارندگی را مشخص نمودند. ایشان به این سوال پاسخ دادند که تا چه اندازه روش حفاظت خاک امریکا در تشخیص الگوی رگبارهای مکه مفید است. ایشان تلاش نمود که اثر الگوی رگبارهای مکه را در مقدار حجم و دبی اوج رواناب مطالعه نماید. نامبردگان نتیجه گرفتند که بخش اعظم بارش‌های مکه متأثر از سامانه‌های همرفتی بوده که غالباً در ابتدای بارندگی نازل می‌شود. وارتالسکا و همکاران^۸ (۲۰۲۰) به‌منظور مدل‌بندی ابعاد زهکش‌های شهری از داده‌های بارندگی منطقه‌ای در لهستان استفاده و الگوی هیتوگراف رگبار طرح را مشخص کردند. آن‌ها رگبارها را از نظر الگوی ریزش با روش‌های وارد^۹ و Kmeans خوشه‌بندی نمودند. بنظر ایشان، نتایج چنین مطالعه‌ای در کاهش خسارات ناشی از سیل متأثر از بارش‌های سنگین مفید است.

1. Binary

2. Gordji

3. Lee and Ho

4. Intensity-Duration-Frequency

5. Bustami et al.

6. Kottegoda et al.

7. Ewea et al.

8. Wartalska et al.

9. Ward

یانگ و همکاران^۱ (۲۰۲۲) معتقدند که شدت رگبارهای چین در اثر تغییر اقلیم افزایش یافته است. ایشان در ۱۳ شهر، استان جیانگسو در کشور چین براساس داده‌های بارندگی در دوره آماری ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۰ هیتوگراف رگبار طرح را برای رگبارهای کوتاه مدت، با دو روش شیکاگو و پیلگریم - کوردری ارائه نمودند. ایشان با مقایسه الگوی رگبارهای کوتاه مدت تاریخی با الگوی حاصل از روش اخیر گزارش کردند که نتایج روش پیلگریم - کوردری به الگوی رگبارهای تاریخی شباهت زیادی دارد. از دیگر کارهای مرتبط با مطالعه حاضر، می‌توان به تحقیقات وانگ و همکاران^۲ (۲۰۱۶)، بوناکورسو و همکاران^۳ (۲۰۱۷) و لیاو و همکاران^۴ (۲۰۱۹) اشاره نمود.

نظر به اینکه انتقال سیلاب‌های شهری ناشی از رگبارهای مختلف، نیازمند درک صحیح از الگوی ریزش‌ها و ابعاد هیتوگراف بارش طرح و در نتیجه حجم و دبی سیلاب طرح می‌باشد و این کار در طراحی زهکش‌های شهری در استان آذربایجان شرقی بسیار مهم است، بنابراین، هدف این مطالعه، بررسی الگوی رگبارهای تاریخی ثبت شده در هر یک از ایستگاه‌های منتخب استان آذربایجان شرقی با رسم مجموعه منحنی‌های هاف هر ایستگاه در فصول مختلف سال و نمودارهای ستونی نظیر هیتوگراف رگبار طرح در این استان می‌باشد.

روش پژوهش

در این مطالعه، رویدادهای بارش‌های رگباری با وضوح دقیقه‌ای در شش ایستگاه استان آذربایجان شرقی تحلیل شده است. در هر ایستگاه، تعداد رگبارهای ثبت شده در کلاس‌های مختلف بر اساس مدت زمان تداوم رگبار (۰/۳۳ تا دو ساعت، دو تا شش ساعت، شش تا ۱۲ ساعت و بیش از ۱۲ ساعت) از نظر آماری بررسی و نتایج در جدولی ثبت و تحلیل شد. آنگاه منحنی‌های هاف در هر ایستگاه با دو روش تجربی و تئوری رسم گردید.

منطقه مورد مطالعه

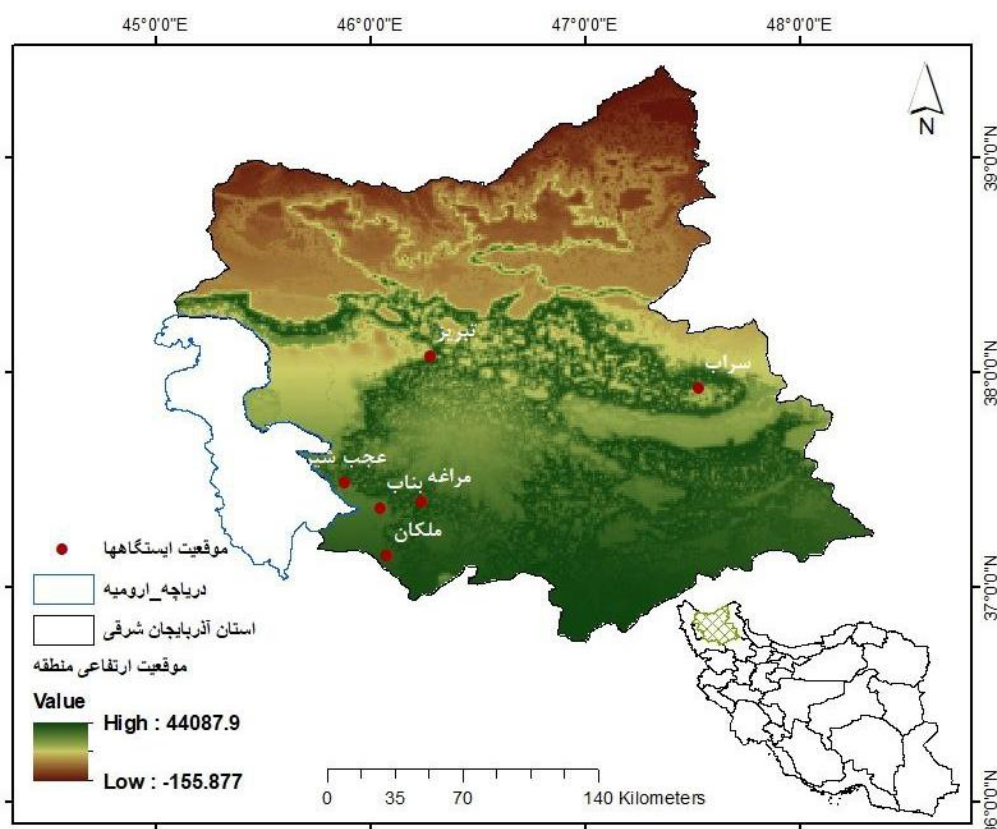
منطقه مورد مطالعه، استان آذربایجان شرقی واقع در شمال غرب ایران می‌باشد. شش ایستگاه باران‌سنجی ثبات در این استان، که دارای بیشترین رویداد بارشی ثبت شده بودند، برای تحلیل انتخاب شد. جدول ۱ موقعیت جغرافیایی و مشخصات آماری بارندگی ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. شکل ۱ نیز موقعیت ایستگاه‌های منتخب را در روی نقشه استان آذربایجان شرقی را نشان می‌دهد.

1. Yang et al.

2. Wang et al.

3. Bonaccorso et al.

4. Liao et al.



شکل ۱. موقعیت شش ایستگاه منتخب در روی نقشه استان آذربایجان شرقی

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی و مشخصات آماری بارندگی شش ایستگاه منتخب در استان آذربایجان شرقی

ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع (mm)	کل تعداد رگبارها	تعداد رگبارهای بهار	تعداد رگبارهای پاییز	تعداد رگبارهای زمستان	میانگین بارش سالانه (mm)	انحراف معیار بارش سالانه (mm)	ضریب چولگی بارش سالانه (mm)	دوره آماری
عجب شیر	۴۵/۸۵	۳۷/۰۵	۱۳۰۱	۴۹	۳۹	۱۰	۴-	۲۶۷	۹۱	۱/۲۰	۱۳۸۱-۱۳۹۷
بناب	۴۶/۰۵	۳۷/۳۷	۱۲۹۷	۷۶	۴۱	۱۹	۱۶	۲۵۹	۷۹	۰/۶۰	۱۳۷۵-۱۳۹۷
ملکان	۴۶/۰۸	۳۷/۱۵	۱۲۹۵	۱۲۰	۶۱	۳۵	۲۴	۲۵۸	۷۴	۰/۱۷	۱۳۷۰-۱۳۹۷
تبریز	۴۶/۲۴	۳۸/۱۲	۱۳۶۱	۱۶۲	۸۴	۴۳	۳۵	۲۵۱	۷۵	۱/۴۶	۱۳۷۴-۱۳۹۷
مراغه	۴۶/۱۵	۳۷/۳۵	۱۳۴۴	۳۱۶	۱۷۴	۸۰	۶۲	۲۶۰	۸۴	۰/۸۲	۱۳۷۱-۱۳۹۷
سراب	۴۷/۵۳	۳۷/۹۳	۱۶۸۲	۲۰۰	۱۱۱	۳۸	۵۱	۲۳۲	۵۱	-۰/۱۳	۱۳۷۱-۱۳۹۴

† فاقد داده کافی

داده‌ها و روش‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده، شامل داده‌های ثبت شده در شش ایستگاه باران‌سنجی تبریز، عجب‌شیر، بناب، مراغه، ملکان و سراب می‌باشد. رویدادهای بارشی هر ایستگاه که حداقل ۱۰ سال داده رگبار ثبت شده باشند برای تحلیل و رسم منحنی هاف مورد بهره‌برداری قرار گرفت. رویدادهایی که حداقل عمق بارش آن‌ها سه میلی‌متر و مدت دوام بارندگی آن‌ها حداقل ۲۰ دقیقه بود، انتخاب شد. بارش‌هایی که فاصله زمانی بین خاتمه بارندگی تا آغاز بارش بعدی کمتر از دو ساعت بودند، باهم تلفیق و به‌عنوان یک رویداد مستقل شناخته شدند. به عبارت دیگر، اگر فاصله زمانی بین دو بارش متوالی (پایان بارش قبلی تا آغاز بارش بعدی) بیش از دو ساعت بود، این دو بارش به صورت جدا از هم در نظر گرفته شدند. داده‌ها از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی اخذ گردید. این داده‌ها گرچه از نظر کیفی توسط سازمان مذکور کنترل شده بودند، ولیکن بارش‌های سنگین از

نظر پرت^۱ بودن با مقایسه میزان بارش ایستگاه همسایه مطابقت داده شدند. چون داده‌ها توسط دستگاه باران‌نگار ثبات سازمان بطور لستاندارد و خودکار اندازه‌گیری شدند بنظر ما فاقد خطای قابل ملاحظه بودند.

جدول ۲ تعداد رگبارهای ایستگاه‌های منتخب (تبریز، عجب‌شیر، بناب، مراغه، ملکان و سراب) را در دوره آماری ۱۳۸۰-۱۳۹۵ به تفکیک فصول مختلف سال و چهار کلاس با مدت دوام بارش متفاوت نشان می‌دهد. در این مطالعه، کل رویدادهای بارش ایستگاه‌های باران‌نگار ثبات (۹۲۳ مورد) بود. چهار کلاس بارشی به شرح ۰/۳۳ تا دو ساعت، دو تا شش ساعت، شش تا ۱۲ ساعت و بیش از ۱۲ ساعت در نظر گرفته شد. با توجه به خشک بودن تابستان در استان مذکور و کم بودن رگبارهای این فصل امکان تحلیل رویدادهای بارش تابستان میسر نبود. بیشترین تعداد رگبارهای ثبت شده متعلق به کلاس بارشی با مدت دوام دو تا شش ساعت (مثلاً ۹۰ رگبار در ایستگاه سراب) و پس از آن مربوط به کلاس بارشی کمتر از دو ساعت (مثلاً ۶۰ رگبار در ایستگاه سراب) بود (جدول ۲). با توجه به این که تعداد رویدادها در هر فصل برای مدت دوام‌های بارش مختلف در اکثر موارد برای تحلیل کافی نبوده، بنابراین، برای رسم منحنی‌های هاف و هیئوگراف‌های بارشی در هر ایستگاه، همه رویدادها (صرف‌نظر از مدت دوام بارش) تهیه گردید.

جدول ۲. فراوانی رگبارهای تحلیل شده در مطالعه حاضر به تفکیک فصول مختلف در شش ایستگاه منتخب استان آذربایجان شرقی

فصول و کلاس‌های بارشی بر اساس مدت دوام بارش (ساعت)							
استان	ایستگاه	فصل	۲ تا ۰/۳۳ (ساعت)	۶ تا ۲ (ساعت)	۶ تا ۱۲ (ساعت)	بیش از ۱۲ (ساعت)	مجموع
آذربایجان شرقی	عجب‌شیر	بهار	۱۶	۱۲	۸	۳	۳۹
		پاییز	۵	۱	۳	۱	۱۰
		زمستان	۰	۰	۰	۰	۰
		جمع	۲۱	۱۳	۱۱	۴	۴۹
	بناب	بهار	۱۴	۱۹	۶	۲	۴۱
		پاییز	۳	۸	۵	۳	۱۹
		زمستان	۴	۶	۵	۱	۱۶
		جمع	۲۱	۳۳	۱۶	۶	۷۶
	ملکان	بهار	۱۸	۲۴	۱۶	۳	۶۱
		پاییز	۲	۱۶	۱۳	۴	۳۵
		زمستان	۰	۷	۱۵	۲	۲۴
		جمع	۲۰	۴۷	۴۴	۹	۱۲۰
	تبریز	بهار	۲۴	۴۱	۱۵	۴	۸۴
		پاییز	۶	۲۰	۱۰	۷	۴۳
		زمستان	۱	۶	۲۲	۶	۳۵
		جمع	۳۱	۶۷	۴۷	۱۷	۱۶۲
	مراغه	بهار	۵۵	۶۶	۵۰	۳	۱۷۴
		پاییز	۱۲	۲۳	۳۴	۱۱	۸۰
		زمستان	۱۵	۲۱	۱۹	۷	۶۲
		جمع	۸۲	۱۱۰	۵۸	۲۰	۳۱۶
	سراب	بهار	۲۶	۵۴	۲۹	۲	۱۱۱
		پاییز	۱	۲۳	۱۱	۳	۳۸
		زمستان	۳۳	۱۳	۵	۰	۵۱
		جمع	۶۰	۹۰	۴۵	۵	۲۰۰

منحنی‌های هاف

منحنی‌های هاف مجموعه‌ای شامل نه منحنی بی‌بعد هستند که محور افقی آن‌ها زمان (بی‌بعد) و محور قائم مجموع عمق باران (بی‌بعد) است که از یک تعداد رویدادهای بارشی مستقل از هم تهیه می‌شوند. این نه منحنی هرکدام به‌ترتیب، برای احتمالات وقوع نظیر ۰/۱، ۰/۲، ... و ۰/۹ می‌باشند. در این مطالعه، این منحنی‌ها با دو روش تجربی و برازش توزیع آماری به داده‌ها رسم شد، که در ادامه شرح داده شده‌اند.

روش تجربی برای رسم منحنی‌های هاف

در هر ایستگاه، فصل و کلاس بارشی نمودار بارش تراکمی برای رویدادها رسم گردید. آنگاه منحنی‌های بی‌بعد رگبارها در هر ایستگاه و کلاس بارشی به تفکیک فصل تهیه شد. ابتدا در هر رویداد، ارقام مدت بارش‌های جزئی به کل زمان تداوم بارندگی تقسیم شد به‌طور مشابه، میزان بارش در هر زمان جزئی به مقدار کل بارش همان رویداد تقسیم شد. زمان‌های جزئی به صفر، ۱۰، ۲۰ و ...، ۱۰۰ درصد در محور افقی در نظر گرفته شدند و مقادیر بی‌بعد بارش برای هرکدام از این زمان‌های جزئی محاسبه گردید و نمودارهای همه رویدادهای آن ایستگاه و فصل در یک دیاگرام تهیه شد. این عمل برای همه ایستگاه‌ها تکرار گردید. پس از این مرحله منحنی‌های هاف تجربی برای نه احتمال معین (۱۰ درصد، ۲۰ درصد، ... و ۹۰ درصد) تهیه شد. در ادامه، منحنی‌های هاف برای فصل‌های دیگر (بجز تابستان که رویداد کافی نداشت) همان ایستگاه تهیه شدند. برای هر کلاس، در هر ایستگاه، یک سری منحنی رسم شد. سپس منحنی‌های هر ایستگاه باهم و منحنی‌های هر کلاس بارش در ایستگاه‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شدند در هر فصل (بجز تابستان)، مجموعه نه منحنی هاف (۱۰، ۲۰، ... و ۹۰ درصد) در یک دیاگرام رسم شدند.

همه منحنی‌های بی‌بعد هاف (نه منحنی) از یک مبدا شروع و در یک نقطه غایی با مختصات (۱۰۰٪ و ۱۰۰٪) به هم می‌رسند. در روش تجربی داده‌های بی‌بعد شده عمق باران در هر مقطع زمانی بی‌بعد (مانند ۱۰ درصد) بصورت صعودی (یا نزولی) مرتب شدند. چون تعداد مجموعه منحنی‌های هاف در حالت استاندارد نه تا است پس، دهک‌های اول، دوم، ... و نهم، به‌عنوان نه نقطه کلیدی، در هریک از نه مقطع زمانی با میان‌یابی مشخص شدند. مشابه این عمل، برای مقطع زمانی بی‌بعد دوم (۲۰ درصد زمان)، سوم، ... و نهم انجام شد و نقاط کلیدی (نه نقطه) برای هر مقطع زمانی مشخص گردید. این کار برای همه نه مقطع زمانی تکرار و در جمع ۸۱ نقطه کلیدی به‌اضافه نقاط مبدا و غایی در دیاگرام مشخص شدند. برای رسم هریک از نه منحنی، ابتدا منحنی پایینی (۱۰ درصد احتمال) در نظر گرفته شد. در هر یک از نه مقطع زمانی، نقطه کلیدی اول (نه نقطه) بهم وصل شدند. برای این کار، مبدا به نقطه با مختصات (۱۰٪ و ۱۰٪) با پاره خط بهم وصل شد. سپس، انتهای این پاره‌خط به نقطه مجاور با مختصات (۱۰٪ و ۲۰٪) وصل گردید. به‌همین ترتیب، با اتصال همه نقاط مجاور بهم منحنی اول از مجموعه نه منحنی رسم شد. مرحله بعدی، اقدام برای رسم منحنی هاف ۲۰ درصد است. برای رسم این منحنی، نقاط کلیدی دوم در مقاطع زمانی نه‌گانه به‌طور مشابه در همان دیاگرام، با پاره خط به هم وصل شده و منحنی هاف دوم از پایین (موسوم به منحنی هاف ۲۰ درصد) رسم می‌شود. این مراحل برای رسم منحنی‌های هاف سوم، چهارم، ... و نهم تکرار می‌گردد. به‌طور مشابه، منحنی‌های سوم تا نهم (منحنی بالایی) نیز رسم می‌شوند. با این وصف، نه منحنی با مبدا و مقصد یکسان در یک دیاگرام رسم شدند.

روش تهیه منحنی‌های هاف با توزیع‌های آماری

در این مطالعه، با استفاده از نرم افزار EasyFit^۱ مقادیر بارش جزئی (بی‌بعد شده) رگبارها در فواصل زمانی مختلف (بی‌بعد شده) به صفحه گسترده آن منتقل گردید. از کاربردهای این نرم‌افزار می‌توان به برازش مناسب‌ترین توزیع آماری به سری داده‌ها، تعیین پارامترهای توزیع منتخب و سپس تخمین میزان چندک بازاری احتمال کمتری معین می‌باشد. خروجی نرم‌افزار بفرم عدد و رقم

۱. نرم‌افزار از سایت زیر قابل دانلود است: <https://p30download.ir/fa/entry/33425/easyfit-professional>

برای پارامترهای توزیع و چندک‌های مختلف و بفرم منحنی‌ها برای تابع توزیع تراکمی و تابع چگالی احتمال می‌باشد. در هر بازه زمانی، به تعداد رویدادهای ثبت شده در ایستگاه و فصل مورد نظر داده بی بعد وارد نرم‌افزار شد. این تعداد در بازه‌های زمانی دیگر مساوی هم بودند. در هر بازه، این داده‌ها با توزیع‌های آماری مختلف (سری داده‌های بارش بی بعد به تعداد رگبارها برای زمان بی بعد معین) برازش داده شدند و مناسبترین توزیع آماری با در نظر گرفتن سه معیار ارزیابی به شرح الف) کلموگروف-اسمیرنوف ب) آندرسون-دارلینگ ج) کای-اسکوور مشخص گردید. برای این منظور، مناسب‌ترین توزیع با میانگین حسابی شماره رتبه هر توزیع برای سه معیار مذکور انتخاب شد. پس از آن، پارامترهای توزیع آماری منتخب با استفاده از روش حداکثر درست نمایی تخمین زده شدند. آنگاه، زمان بی بعد ۱۰ درصد در نظر گرفته شد و مقادیر چندک‌ها (نه رقم) متناظر با احتمالات کمتری ۰/۱، ۰/۲، ... و ۰/۹ از تابع چندک توزیع منتخب تخمین زده شدند. این کار، برای بازه‌های زمانی دیگر (۲۰، ۳۰، ... و ۹۰ درصد) نیز تکرار شد. در کل، ۸۱ چندک مختلف از نه تابع توزیع (هر تابع متناظر با یک خط قایم از زمان بی بعد به فواصل ده درصد) محاسبه شد. مشابه روش تجربی، علامتگذاری نقاط، روی نه خط قایم (هر خط قایم نه نشانه) انجام و اتصال نقاط از مبدا تا انتها برتریب، مجموعه منحنی‌های هاف تئوری را خلق نمود.

هیتوگراف رگبار

هیتوگراف رگبار، نمودار مستطیلی است که مقدار عمق بارش (بی بعد) رسیده را در مدت معینی از زمان بارش (بی بعد) نشان می‌دهد. در این مطالعه، زمان بارش بازهم در فواصل زمانی مساوی ده درصد (شامل ۰/۱، ۰/۲، ... و ۰/۹) در نظر گرفته شد. مقدار عمق بارش بی بعد رسیده به هر زمان جزئی با مستطیل قایم رسم شده از موقعیت زمانی مورد نظر نشان داده شد. در این مطالعه هیتوگراف رگبارها با توجه به منحنی هاف ۰/۵ (میان) برای یکایک ایستگاه‌ها در فصول مختلف رسم شد.

روش تهیه هیتوگراف رگبارها

در این مطالعه، با استفاده از منحنی هاف میانه برای هر فصل در هر ایستگاه هیتوگراف رگبار طرح از تفاضل مقدار ارتفاع منحنی هاف میانی در دو بازه زمانی متوالی بدست آمد. بدین ترتیب، تعداد نه تا درصد باران جزئی بی بعد در فواصل زمانی مساوی ده درصد حاصل شد. مقادیر مذکور به صورت هیستوگرام برای هر فصل و ایستگاه رسم و نشان داده شدند.

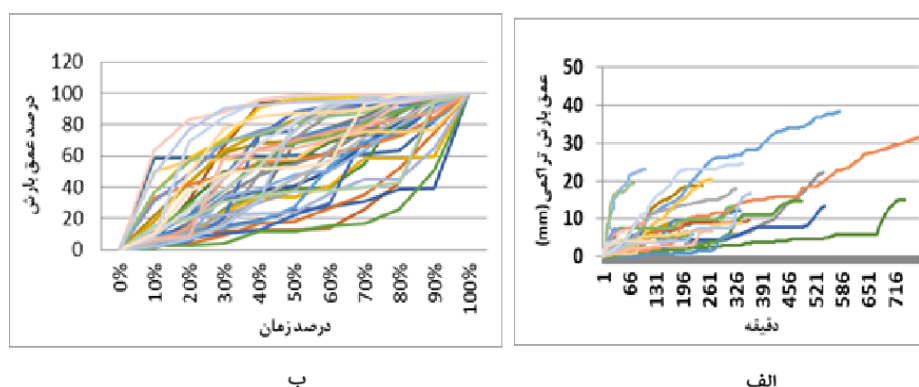
تشخیص تیپ بارش به روش چارکی

باتوجه به دوام و عمق کل بارندگی هر رویداد، چارک زمانی (۰ تا ۲۵٪)، (۲۵ تا ۵۰٪)، (۵۰ تا ۷۵٪) و (۷۵ تا ۱۰۰٪) تیپ بارش تعیین می‌شود. به این صورت که اگر مدل لاجستیک با معادله $y = \frac{a}{1+be^{-cx}}$ برازش خوبی از داده‌ها داشته باشد، می‌توان سطح زیر منحنی هاف میانه را در هر یک از چهار چارک زمانی تخمین زد. بیشترین سطح زیر منحنی در بین چهار چارک نوع الگوی بارش را مشخص می‌کند.

پس از استخراج مجموعه منحنی‌های هاف (به تعداد نه عدد) در هر ایستگاه و فصل، منحنی احتمال ۵۰ درصد (موسوم به منحنی هاف میانی) در نظر گرفته شد. مختصات x و y یازده نقطه از این منحنی، به ترتیب درصد زمان تراکمی بی بعد و درصد عمق تراکمی بارش بی بعد به صفحه گسترده نرم‌افزار Curve Export 2.7.1 منتقل و فرم ریاضی مناسب‌ترین منحنی برازش داده شده مشخص شد و ضرایب منحنی به دست آمد. آن گاه با توجه به معادله ریاضی منحنی، سطح زیر منحنی در هر یک از چهار چارک محاسبه و نتایج در جدولی ارائه گردید. این مراحل، به طور جداگانه برای هریک از فصول تکرار و نتایج در جداول ارائه گردید. بیشترین سطح زیر منحنی در بین چارک‌ها مشخص و تیپ بارشی بنام آن چارک در نظر گرفته شد. به این ترتیب، در هر ایستگاه و فصل و کلاس بارشی تیپ بارش از نظر چارکی مشخص و نتایج در جدولی درج شد. هیتوگراف رگبار طرح نیز از منحنی هاف میانه بدست آمد. برای این کار، مقدار بارش بی بعد در زمانهای متوالی ده درصد از منحنی مذکور بدست آمد. اختلاف دو رقم متوالی، مقدار عمق ریزش بی بعد را در هر یک فراهم ساخت. رسم عمق بارش بی بعد بازای زمان بی بعد هیتوگراف طرح را به دست داد.

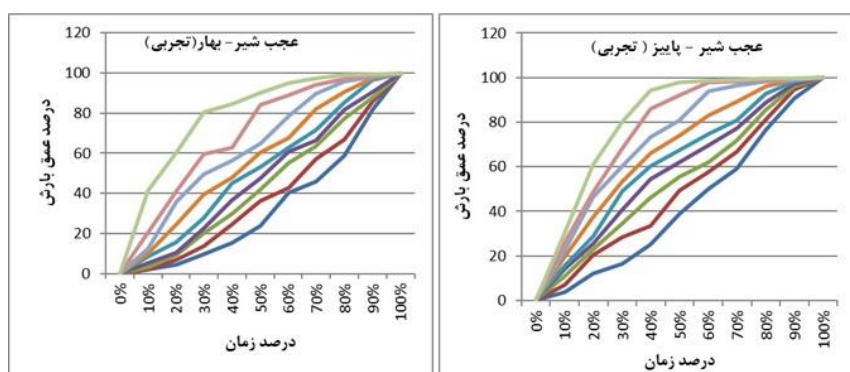
نتایج

شکل ۲ منحنی‌های بارش تراکمی رگبارهای بهار را در ایستگاه بناب (الف) و منحنی‌های بی بعد هر رگبار به‌طور منفرد (تجربی) برای رگبارهای بهار را در همان ایستگاه (ب) نشان می‌دهد. بطوریکه از شکل ۲-الف می‌توان دید، در واقع مدت دوام هر رگبار با دیگری متفاوت است. افزون بر این، منحنی‌های تراکمی عمق بارش همه رویدادها غیرنزولی می‌باشند. محور افقی در این نمودار، مدت دوام رگبار برحسب دقیقه و محور قائم عمق تراکمی بارندگی برحسب میلی‌متر می‌باشد. حتی پس از بی‌بعد کردن منحنی‌ها بازهم این منحنی‌ها بسیار نامنظم بوده و همدیگر را در نقاط متعدد قطع می‌کنند (شکل ۲-ب). به همین دلیل، جهت خلاصه کردن نتایج و تحلیل، لازم است آن‌ها را به‌نحوی منظم نمود.



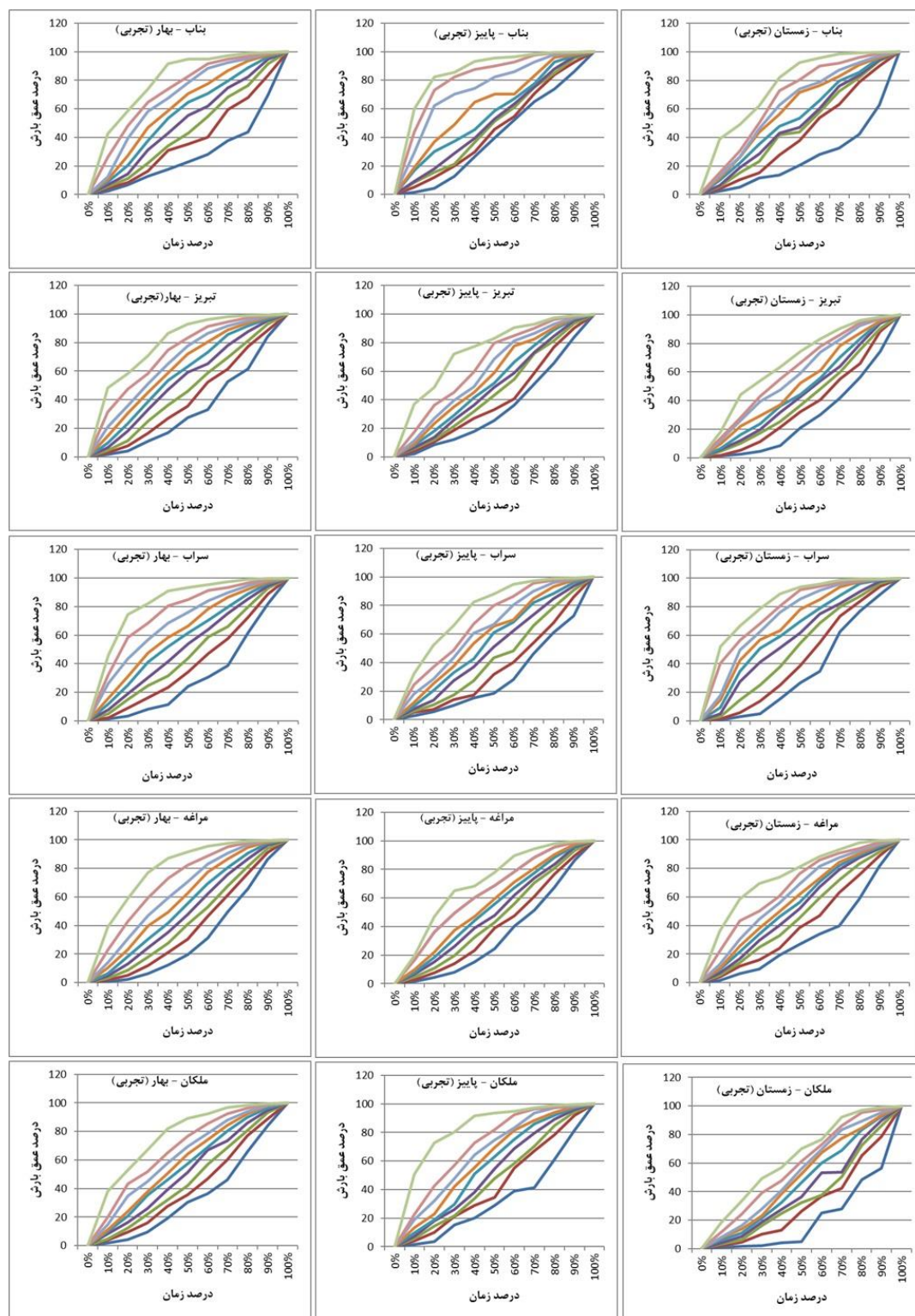
شکل ۲. منحنی‌های بارش تراکمی رگبارهای بهار در ایستگاه بناب (الف) و منحنی‌های بی‌بعد هر رگبار به‌طور منفرد (تجربی) برای رگبارهای بهار در ایستگاه بناب (ب)

شکل ۳ دو نمونه از مجموعه منحنی‌های هاف تجربی را در ایستگاه عجبشیر در دو فصل پاییز (راست) و بهار (چپ) نشان می‌دهد. همانگونه که از شکل دیده می‌شود، منحنی‌ها صورت هموار ندارند. به عبارت بهتر، هر منحنی از مجموعه پاره خط‌های شکسته متصل به هم حاصل شده است. پایین‌ترین منحنی، در این مجموعه منحنی‌های نه‌گانه مقدار عمق باران بی‌بعد را در هر مقطع زمانی بی‌بعد ازای احتمال کمتری ۱۰ درصد نشان می‌دهد. مفهوم آن این است که تنها در ده مورد از ۱۰۰ مورد رویداد بارشی مقدار عمق باران بی‌بعد از عدد مذکور (که از شکل استنباط می‌شود) کمتر است. یعنی در ۹۰ مورد از ۱۰۰ رویداد بارش عمق باران بی‌بعد از آن بیشتر است. به همین ترتیب، منحنی دوم (از پایین) متعلق به احتمال کمتری ۲۰ درصد و ... و منحنی آخر (نهم از پایین) مربوط به احتمال کمتری ۹۰ درصد است. این نه منحنی، به جز در مبدا و انتها به مختصات (۱۰۰٪ و ۱۰۰٪) که بهم می‌رسند، هیچ‌گاه همدیگر را قطع نکرده و غیر نزولی هستند. هرچه فاصله بین منحنی‌های تحتانی و فوقانی به هم نزدیک باشد نشان دهنده شباهت ریزش‌ها از یک رگبار به رگبار دیگر است. یعنی واریانس (یا انحراف معیار) داده‌های رگبارهای مختلف کم است. برعکس، هرچه فاصله بین آن‌ها از هم زیاد باشد، نشان دهنده عدم شباهت ریزش باران از یک رویداد به رویدادی دیگر است. به عبارت دیگر، واریانس داده‌های عمق بارش (بی‌بعد) در رگبارهای مختلف زیاد است.



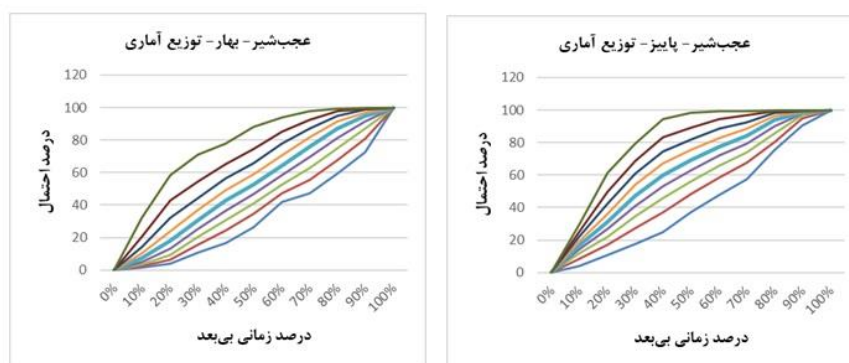
شکل ۳. منحنی‌های هاف تجربی ایستگاه عجبشیر در دو فصل پاییز (راست) و بهار (چپ)

مشابه این منحنی‌ها، برای سایر ایستگاه‌ها و فصول رسم شد. شکل ۴ این منحنی‌ها را برای ایستگاه‌های منتخب در استان آذربایجان شرقی نشان می‌دهد. به‌طوری‌که می‌توان دید، برای هر فصل (جز تابستان) و ایستگاه یک مجموعه منحنی (تعداد نه تا) رسم شده که به‌ترتیب، از پایین به بالا، به نام‌های منحنی‌های هاف ۱۰ درصد، ۲۰ درصد، ... و ۹۰ درصد موسوم هستند. با بهره گرفتن از این منحنی هاف میانی (۵۰ درصد)، هیستوگرام نظیر رگبارها در فواصل جزئی ۱۰ درصد زمانی تهیه شد.



شکل ۴. منحنی‌های هاف تجربی ایستگاه‌های منتخب در سه فصل بارانی

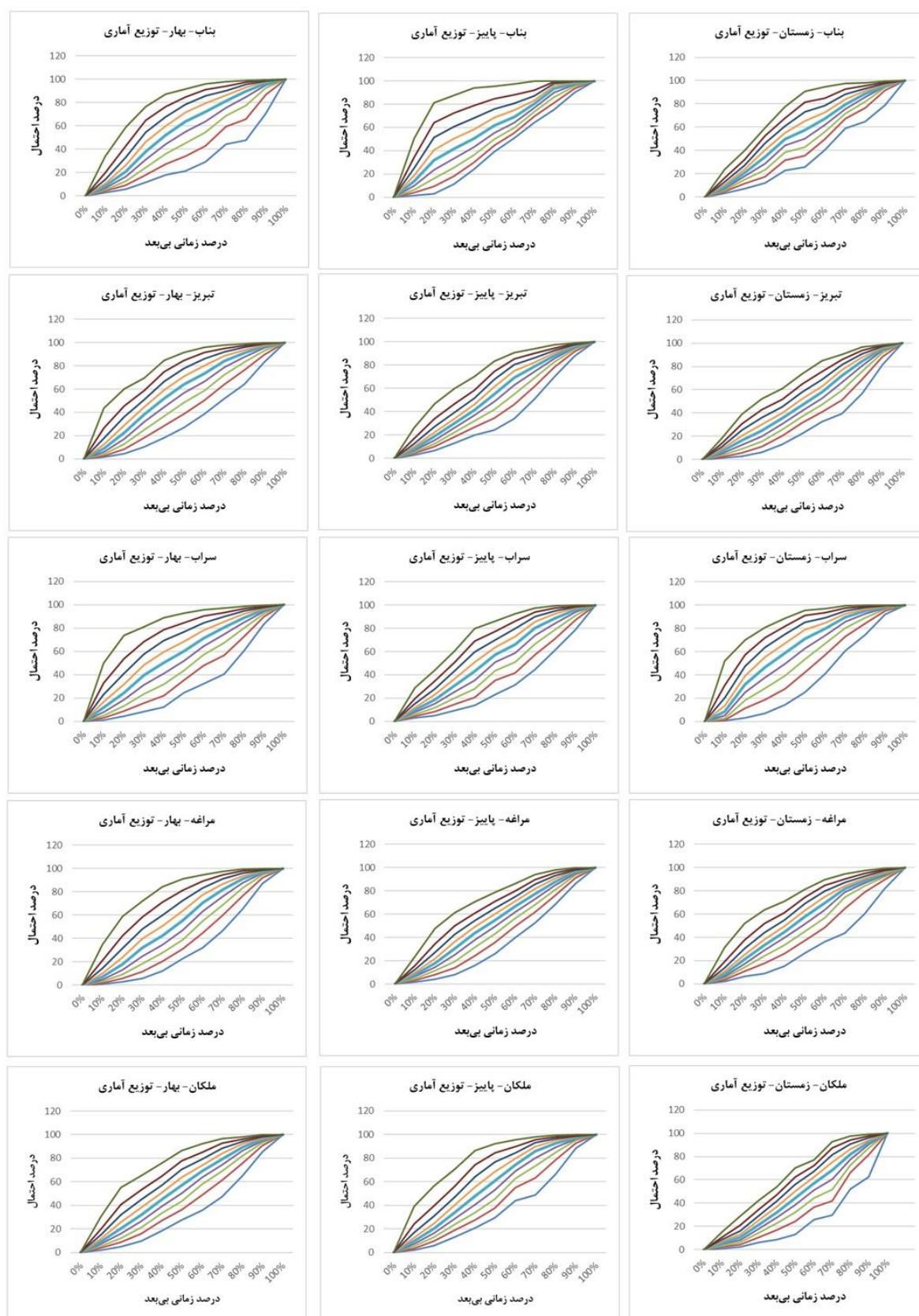
شکل ۵ دو نمونه از منحنی‌های هاف تهیه شده با روش توزیع آماری (تئوری) را برای ایستگاه عجشبیر (در بهار و پاییز) نشان می‌دهد. بطوریکه از این شکل برمی‌آید، در عجشبیر، در نیمه اول زمان بارندگی، منحنی‌های فوقانی در پاییز، در مقام مقایسه با بهار، اندکی به سمت بالا کشیده شده‌اند و در نیمه دوم شیب منحنی‌ها کاهش قابل ملاحظه دارند. این نشان می‌دهد که ریزش باران در پاییز اغلب متمرکز بر نیمه نخست زمان بارش است و ضمناً الگوی ریزش غیریکنواخت تر از فصل بهار است. در پاییز شکل منحنی فوقانی چوله‌دار تر از شکل منحنی نظیر در بهار است. شکل ۶ نیز مجموعه منحنی‌های هاف تئوری رسم شده را که با برازش توزیع‌های آماری حاصل شده برای سایر ایستگاه‌ها در سه فصل بارانی نشان می‌دهد.



شکل ۵. منحنی‌های هاف تئوری برای ایستگاه عجشبیر در پاییز (راست) و بهار (چپ) حاصل از برازش توزیع‌های آماری

بطوریکه از شکل ۶ می‌توان دید، در بناب، با توجه به منحنی فوقانی، بخش اعظم بارش‌های پاییزه در همان ابتدای زمان بارش نازل می‌شود. در بناب، بارش‌های زمستان نسبت به بهار و پاییز از یکنواختی بیشتر برخوردار است. از طرفی، در زمستان فاصله منحنی فوقانی و تحتانی در مقایسه با دو فصل دیگر کمتر است. این نشانه این حقیقت است که واریانس عمق ریزش در هر زمان بین رگبارهای زمستان در بناب کمتر از دیگر فصول است. به عبارت بهتر، هرچه فاصله منحنی پایینی از بالایی کمتر باشد، تغییر پذیری در ریزش‌ها از رویدادی به رویداد دیگر کمتر است. طوریکه اگر همه نه منحنی روی هم (روی منحنی میانه) افتند، آنگاه توزیع زمانی رگبارها از رگباری به رگبار دیگر تفاوتی نخواهد داشت.

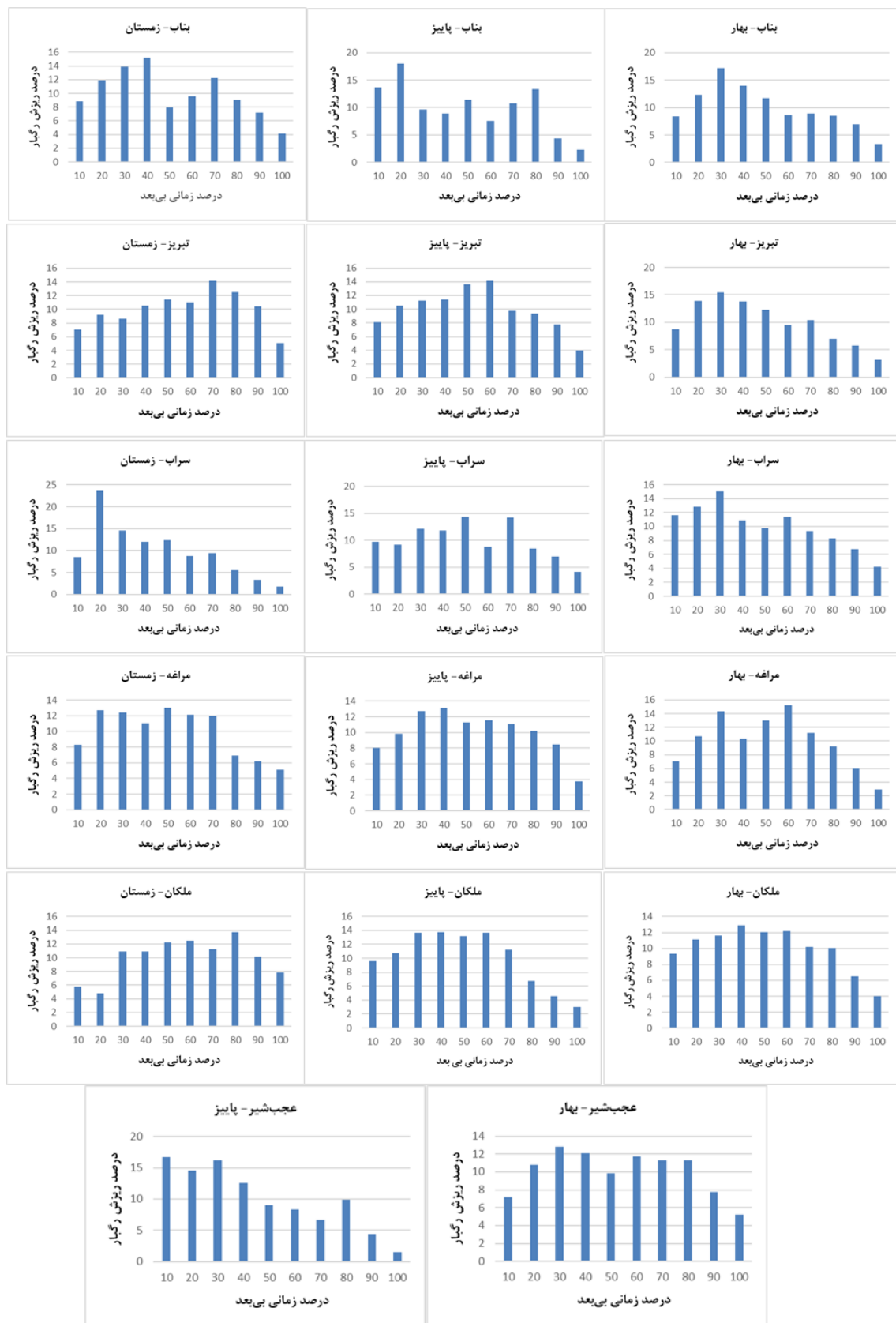
در تبریز، مشابه بناب فاصله بین منحنی بالایی و تحتانی در زمستان کمتر از بهار و پاییز است. مشابه بناب، در تبریز توزیع بارش زمستان یکنواخت‌تر از دو فصل دیگر است. در مقایسه دو ایستگاه، باید اذعان کرد که بارش‌های تبریز در زمستان نسبت به بارش‌های بناب در همان فصل یکنواخت‌تر است. در سراب، فاصله بین منحنی‌ها در هر سه فصل در مقایسه با بناب و تبریز بیشتر است. این نتیجه، متفاوت بودن شرایط بارندگی در طول ریزش آن را از یک رویداد به رویداد دیگر نشان می‌دهد. در سراب نیز شدت ریزش‌ها در نیمه اول بارندگی بیشتر از نیمه دیگر آن است. در مراغه، الگوی مجموعه نه منحنی هاف، در زمستان و بهار، مشابه هم است. حتی فاصله منحنی هاف بالایی و پایینی در این دو فصل تقریباً یکسان است. اما در پاییز، منحنی‌ها از هم باز می‌شوند که حاکی از تغییرپذیری بالای ریزش‌های پاییز در مقایسه با دو فصل دیگر است. در ملکان، فرم منحنی‌ها در زمستان بسیار متفاوت با دو فصل دیگر است. طوریکه، منحنی‌های بالاتر از منحنی هاف میانه، در مقایسه با منحنی‌های تحتانی فاصله قایم کمی دارند. این نشان می‌دهد که تغییرپذیری بالا در ریزش‌ها متمرکز بر رویدادهای با مقدار بارش کم است. برعکس، الگوی بارش‌های با عمق زیاد، اغلب شبیه بهم بوده و تغییرپذیری کمی دارند. این نتیجه برای رگبارهای دو فصل دیگر در ملکان صادق نیست.



شکل ۶. منحنی‌های هاف تنوری برای ایستگاه‌های منتخب در فصول مختلف حاصل از برازش توزیع‌های آماری

شکل ۷ هیستوگرام نظیر هیتوگراف رگبارها را برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در فواصل زمانی جزئی ۱۰ درصد در سه فصل متمایز نشان می‌دهد. این نمودارها با توجه به منحنی هاف میانه هر ایستگاه و در هر فصل رسم شده است. به‌طوری که از این نمودارها می‌توان دید، در اکثر ایستگاه‌ها در فصل بهار بیشترین درصد ریزش متعلق به بازه زمانی ۳۰ درصد می‌باشد. این ایستگاه‌ها شامل بناب، تبریز، سراب و عجب‌شیر می‌باشد. در ملکان بیشترین درصد ریزش متعلق به بازه زمانی ۴۰ درصد و در مراغه ۶۰ درصد می‌باشد. افزون بر این، در بهار کمترین مقدار ریزش در همه ایستگاه‌ها متعلق به بازه زمانی ۱۰ درصد آخر هر رویداد (بخش انتهایی بارندگی) می‌باشد. در این نمودارها می‌توان نتیجه گرفت که در فصل باران با شدت نسبتاً متوسط در اکثر ایستگاه‌ها آغاز می‌شود و به تدریج تا مدت زمان ۴۰ درصد مدت دوام بارش شدت رگبار افزایش می‌یابد و سپس تا خاتمه بارندگی شدت آن به تدریج کاهش می‌یابد. در فصل پاییز بیشترین درصد ریزش در دو ایستگاه مراغه و ملکان متعلق به بازه زمانی ۴۰ درصد می‌باشد. این رقم، برای تبریز ۶۰ درصد، برای سراب ۵۰ درصد، برای بناب ۲۰ درصد و برای عجب‌شیر ۱۰ درصد بود. در فصل زمستان بیشترین درصد ریزش در ایستگاه‌های مراغه، ملکان، بناب، تبریز و سراب به ترتیب، متعلق به بازه‌های زمانی ۵۰ درصد، ۸۰ درصد، ۴۰ درصد، ۷۰ درصد و ۲۰ درصد بود. لازم به ذکر است که هیتوگراف‌ها براساس منحنی هاف میانی (صدک پنجاهم) رسم شده‌اند که نشان دهنده میانه نظیر سری نظیر عمق بارش بی‌بعد همه رویدادهای ثبت شده می‌باشد. واضح است که شکل هیتوگراف روی منحنی حجم سیل و اوج دبی سیل تاثیر دارد. در مطالعه حاضر حساسیت حجم و دبی اوج به شکل هیتوگراف طرح بررسی نشده زیرا جزو اهداف مطالعه نبود با این حال چنین مطالعه‌ای برای بررسی‌های بیشتر اثر الگوی بارش بر شکل منحنی رواناب ناشی از بارش توصیه می‌شود.

طبیعی است که شکل هیتوگراف از یک رویداد به رویداد دیگر می‌تواند تغییر کند بنابراین حد وسط عبارت است از الگویی که از منحنی هاف میانی اشتقاق یابد که در مطالعه حاضر نیز از آن استفاده شده است. بنابراین، اگر برای عملیات شهرسازی ابعاد آبروهای کنار خیابان‌ها طراحی در نظر باشد، بهتر است از هیتوگراف‌های رسم شده در ایستگاه‌های منتخب برای تخمین حجم سیل و دبی اوج سیل بازای دوره برگشت‌های مختلف استفاده شود. پر واضح است که برای هدایت سیلاب‌های سهمگین در مسیر حرکت آن، لازم است علاوه بر هیتوگراف بارش طرح، مساحت حوضه و مدت دوام بارش در دوره بازگشت مورد نظر دخالت داده شود.



شکل ۷. هیئت‌گراف‌های رگبارهای ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصول مختلف با استفاده از روش تئوری توزیع‌های آماری

جدول ۳ خلاصه نتایج روش چارکی برای ایستگاه‌های منتخب در استان آذربایجان شرقی و در سه فصل مختلف را نشان می‌دهد. در این جدول، فرم ریاضی منحنی برازش داده شده به منحنی هاف میانه برای هر یک از ایستگاه‌ها به همراه ضرایب مدل منتخب (ستون‌های ۳ و ۴ از راست) درج شده است. در ضمن، براساس منحنی هاف میانی، مساحت زیر منحنی با مدل برای هر چهار چارک با انتگرال‌گیری محاسبه و در ستون‌های ۵ تا ۸ درج شده است. افزون بر این، ستون‌های ۹ تا ۱۲ اختلاف مساحت زیر منحنی هاف میانه با مساحت زیر خط نیمساز به‌ترتیب، در چارک‌های اول تا چهارم را نشان می‌دهد. در ردیف آخر این جدول، تیپ بارشی با توجه به بیشترین اختلاف در ستون‌های اخیر درج شده است. مثلاً برای عجب‌شیر، در بین این چهار ستون بزرگ‌ترین عدد ۱۰۰/۹۸ بوده که مربوط به اختلاف با نیمساز در چارک Q_3 است. با توجه به اینکه اختلاف نیمساز با سایر چارک‌ها کمتر از این رقم هستند بنابراین، تیپ بارشی عجب‌شیر چارک سومی بوده که در ستون آخر، برای هر فصل (در جدول ۳) درج شده است. به‌طوری که از این جدول می‌توان دریافت، در استان آذربایجان شرقی، در فصل بهار، تیپ بارشی همه ایستگاه‌ها چارک سومی می‌باشد. به‌طوری که از این جدول می‌توان استنباط کرد، در پاییز از بین شش ایستگاه استان آذربایجان شرقی چهار ایستگاه، دارای تیپ بارشی چارک سومی می‌باشند. این چهار ایستگاه شامل مراغه، بناب، سراب و ملکان می‌باشند. از طرفی، تیپ بارشی ایستگاه تبریز چارک چهارمی و ایستگاه عجب‌شیر چارک دومی تشخیص داده شد. به‌طوری که از جدول ۳ (بخش فصل زمستان) می‌توان فهمید، در زمستان دو ایستگاه مراغه و بناب دارای تیپ بارشی چارک سومی می‌باشند. دو ایستگاه تبریز و ملکان در فصل زمستان چارک چهارمی بوده و از طرفی ایستگاه سراب چارک دومی تشخیص داده شد. (توضیح اینکه ایستگاه عجب‌شیر فاقد داده کافی برای فصل زمستان بود).

جدول ۳. خلاصه نتایج روش چارکی و فرم ریاضی معادله برازش یافته به منحنی هاف ۵۰٪ و سطح زیر منحنی مربوطه و تیپ بارشی ایستگاه‌های منتخب از نظر چارکی در استان آذربایجان شرقی در فصول مختلف.

فصل بهار												
ایستگاه	فرم ریاضی منحنی	ضرایب		Q ₁ سطح	Q ₂ سطح	Q ₃ سطح	Q ₄ سطح	اختلاف با -نیمساز Q ₁	اختلاف با -نیمساز Q ₂	اختلاف با -نیمساز Q ₃	اختلاف با نیمساز Q ₄	تیپ بارشی
عجب شیر	$y = a - be^{-cx^d}$	a=159.19 b=159.05	c=0.00215 d=1.3371	261.26	955.61	1663.48	2275.54	-51.24	18.1	100.98	88.04	چارک سومی
مراغه	$y = \frac{a + bx}{1 + cx + dx^2}$	a=-0.368 b=0.736	c=-0.0113 d= 8.543E-5	264.61	981.19	1799.56	2373.13	-47.89	43.69	237.06	185.63	چارک سومی
بناب	$y = \frac{ab + cx^d}{b + x^d}$	a=-0.258 b=547.9	c=143.19 d= 1.552	319.08	1186.86	1875.71	2329.4	6.58	249.36	313.21	141.9	چارک سومی
تبریز	$y = ab^x x^c$	a=0.3635 b=0.9886	c=1.4703	341.282	1209.357	1925.161	2373.27	28.78	271.857	362.661	185.77	چارک سومی
سراب	$y = ab^x x^c$	a=0.9202 b=0.9936	c=1.1586	398.19	1198.58	1849.14	2329.26	85.69	261.08	286.64	141.76	چارک سومی
ملکان	$y = a + bx + cx^2 + \dots$	a=-0.1158 b=0.9515	c=0.00804 d=-7.501E-5	329.01	1072.47	1803.56	2346.46	16.51	134.97	241.06	158.96	چارک سومی
		a=1	b=0	312.5	937.5	1562.5	2187.5					
خط نیمساز												
فصل پاییز												
ایستگاه	فرم ریاضی منحنی	ضرایب مدل منتخب		Q ₁ سطح	Q ₂ سطح	Q ₃ سطح	Q ₄ سطح	اختلاف با -نیمساز Q ₁	اختلاف با نیمساز Q ₂	اختلاف با -نیمساز Q ₃	اختلاف با نیمساز Q ₄	تیپ بارشی
عجب شیر	$y = x / (a + bx^\gamma)$	a=0.575 b=0.0008048	γ =1.35	510.1	1358.2	1959.2	2370	197.6	420.7	396.7	182.5	چارک دومی
مراغه	$y = x / (a + bx + cx^2)$	a=1.2 b=-0.00998	c=0.000079	295.2	1001.03	1754.07	2329.7	-17.3	63.53	191.57	142.2	چارک سومی
بناب	$y = a + bx + cx^2 + \dots$	a=-0.087 b=2.15	c=-0.049 d= 0.00077 e=-0.0000039	481.9	1113	1762	2386	169.4	175.5	199.5	198.5	چارک سومی
تبریز	$y = a + bx + cx^2 + \dots$	a= -0.192 b= 0.864	c=0.00087 d= 0.000119 e= -0.00000114	279	942	1718	2351	-33.5	4.5	155.5	163.5	چارک چهارمی

سراب	$y = x / (a + bx + cx^2)$	a= 1.2 b= -0.0103	c= 0.000087	308	1047	1813	2347	-4.5	109.5	250.5	159.5	چارک سومی
ملکان	$y = ab^x x^c$	a=0.091 b=0.98	c=1.89	252	1128	1933	2393	-60.5	190.5	370.5	205.5	چارک سومی
خط نیمساز	Y=a+bx	a=1	b=0	312.5	937.5	1562.5	2187.5					
فصل زمستان												
ایستگاه	فرم ریاضی منحنی	ضرایب	Q ₁ سطح	Q ₂ سطح	Q ₃ سطح	Q ₄ سطح	اختلاف با -نیمساز Q ₁	اختلاف با نیمساز Q ₂	اختلاف با -نیمساز Q ₃	اختلاف با نیمساز Q ₄	تیپ بارشی	
عجب شیر	داده کافی نداشت	داده کافی نداشت										
مراغه	$y = x / (a + bx + cx^2)$	a=1.09 b=-0.0085	c=0.000076	322	1067	1814	2341	9.5	129.5	251.5	153.5	چارک سومی
بناب	$y = ab^x x^c$	a=0.71 b=0.995	c=1.19	338	1076	1743	2297	25.5	138.5	180.5	109.5	چارک سومی
تبریز	$y = a + bx + cx^2 + \dots$	a=-0.709 b=0.95	c=-0.0121 d=0.00032 e=-0.000002	245	791	1519	2267	-67.5	-146.5	-43.5	79.5	چارک چهارمی
سراب	$y = \frac{ab + cx^d}{b + x^d}$	a=-1.17 b=224.06	c=133.67 d=1.43	455	1439	2052	2411	142.5	501.5	489.5	223.5	چارک دومی
ملکان	$y = a + b\cos(cx + d)$	a=52.72 b=53.6	c=0.024 d=3.36	176	758	1541	2244	-136.5	-179.5	-21.5	56.5	چارک چهارمی
خط نیمساز	Y=a+bx	a=1	b=0	312.5	937.5	1562.5	2187.5					

بحث و نتیجه‌گیری

بارش یکی از مولفه‌های مهم چرخه آب در طبیعت محسوب می‌شود. در استان آذربایجان شرقی، قسمت اعظم بارش به صورت باران و برف نازل می‌شود. هرچند ثبت عمق بارش برف در زمان‌های جزئی مانند یک دقیقه امکان‌پذیر نیست، ولی رسم نمودار بارش تراکمی در فواصل زمانی جزئی (مانند یک دقیقه) با باران نگار ثبات توسط سازمان آب منطقه‌ای استان انجام می‌گیرد. در این مطالعه، بجز تابستان که تعداد رویدادهای بارشی در استان برای تحلیل کافی نبود، در سایر فصول، رگبارها تحلیل شد. چون حتی در یک ایستگاه، الگوی رویدادهای بارشی از نظر مدت زمان تداوم رگبارها با همدیگر متفاوت گزارش شده است (دین‌پژوه و علوی، ۱۴۰۳). به همین دلیل، برای مطالعه الگوی ریزش رگبارها از داده‌های بی‌بعد شده (نسبت عمق باران در زمان جزئی مانند یک دقیقه به عمق کل باران در همان رویداد تابعی از نسبت زمان جزئی به زمان کل بارش همان رویداد) استفاده می‌شود. رسم این دو نسبت در محورهای متعامد، الگوی رگبار را مشخص می‌کند (چاو و همکاران، ۱۹۸۸). این الگو از یک رویداد به رویداد دیگر مشابه نیست. برای درک بهتر، لازم است کل رویدادهای رگبارهای ثبت شده در یک ایستگاه باهم مطالعه شود. برای این کار، ابزاری به اسم دسته منحنی‌های هاف ابداع شده است (هاف، ۱۹۶۷) که الگوی ریزش را با لحاظ کردن همه رویدادهای ثبت شده در یک مجموعه دیاگرام منحنی‌ها نشان می‌دهد.

در مجموعه منحنی‌های هاف، احتمالات مختلفی برای ریزش از ۱۰ درصد تا ۹۰ درصد در نظر گرفته می‌شود. به این ترتیب، در منحنی‌های هاف مربوط به یک ایستگاه معین تعداد نه منحنی دیده می‌شود که به ترتیب، متعلق به رویدادهای با درصد احتمال وقوع ده درصد، بیست درصد، ... و نود درصد است. همچنین، نظر به اینکه ممکن است، بارش‌های یک ایستگاه در فصول مختلف از سامانه‌های بارشی متفاوت نازل شود، بنابراین، مجموعه منحنی‌ها بهتر است در صورت کافی بودن رویدادها، برای هر فصل، بطور جداگانه تهیه شود. از دیگر سو، الگوی ریزشی بارش‌های کوتاه مدت (مانند یک ساعت) معمولاً با الگوی ریزشی رگبارهای طولانی مدت، مانند ۴۸ ساعت، می‌تواند متفاوت باشد. روی این اصل، بهتر است که در صورت وجود داده کافی، منحنی‌های هاف برای رگبارهای کوتاه مدت، میان مدت و طولانی مدت بطور جداگانه در هر ایستگاه رسم شود. با این وصف، در مطالعه حاضر، نظر به اینکه تعداد کافی رویدادها در هر ایستگاه برای دسته‌های مذکور فراهم نبود، بنابراین، ناگزیر برای بررسی رویدادها در هر ایستگاه از همه رویدادها، صرف‌نظر از مدت دوام بارش، بهره گرفته شد.

در این مطالعه، از اطلاعات ۹۲۳ رگبار ثبت شده در شش ایستگاه استان آذربایجان شرقی (۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵) برای تحلیل استفاده شد. نظر به اینکه فصل تابستان غالباً خشک بوده و فاقد تعداد کافی رویداد بارشی در منطقه است، بنابراین، تلاش شد که رگبارها برای سه فصل متمایز (بهار، پاییز و زمستان) بطور جداگانه در هر ایستگاه تحلیل شود. از سویی، با توجه به جدول ۲ معلوم شد که تعداد رویدادها برای دسته‌های مختلف بارشی (با مدت دوام‌های مختلف) کافی نیست. مثلاً در ایستگاه عجب‌شیر، هیچ رویدادی برای فصل زمستان ثبت نشده (یا حداقل در اختیار محققین قرار داده نشده) بود. از طرفی، در همان ایستگاه، برای فصل پاییز فقط ده رویداد به ثبت رسیده (در اختیار پژوهشگر بود). واضح است که با این تعداد کم رویدادها، امکان رسم منحنی هاف معتبر وجود ندارد. حتی در مواردی، در یک فصل (مانند زمستان در ایستگاه عجب‌شیر) هیچ رویدادی ثبت نشده بود. لاجرم، در این ایستگاه، کل رگبارها صرف نظر از فصل ریزش باران، در کل سال بطور یک‌جا تحلیل شد. برای هر کدام، هیتوگراف بارش طرح با توجه به منحنی هاف میانی رسم گردید. آن‌گاه منحنی‌های بی‌بعد رگبارها در هر ایستگاه به تفکیک فصل تهیه شد (شکل ۴).

همین‌که دسته منحنی‌های هاف برای یک ایستگاه در یک دیاگرام رسم شدند، منحنی میانی هاف در نظر گرفته شد و هیتوگراف رگبارهای آن ایستگاه از کم کردن عمق تجمعی (بی‌بعد) ریزش باران در هر زمان بی‌بعد (مانند ۲۰٪) از زمان بی‌بعد قبلی (مانند ده درصد) به دست آمد. این ارقام، به صورت هیستوگرام برای هر ایستگاه نمایش داده شد (شکل ۵). در این مطالعه،

منحنی‌های هاف به دو روش شامل الف) استفاده از روش تجربی و ب) برازش توزیع آماری به داده‌های بی‌بعد رسم شدند. نتایج حاکی از آن بود که فرم ظاهری دسته منحنی‌های رسم شده با روش دوم، هموارتر از روش اول بود. می‌توان نتیجه گرفت که در هر ایستگاه، کلیه منحنی‌های هاف را می‌توان به‌طور یک‌جا (بدون دسته‌بندی) مطالعه کرد، با این حال، اگر منطقه مود مطالعه وسیع باشد، ریزش‌ها در منطقه از سامانه‌های متفاوت ممکن است متاثر شده و در این شرایط بررسی منطقه‌ای با تجمیع رویدادهای همه ایستگاه‌های منطقه منجر به نتایج گمراه‌کننده خواهد بود. نتایج نشان داد، در فصل بهار، تیپ بارشی همه ایستگاه‌ها چارک سومی می‌باشد (جدول ۳). در پاییز از بین شش ایستگاه استان آذربایجان شرقی چهار ایستگاه (شامل مراغه، بناب، سراب و ملکان) دارای تیپ بارشی چارک سومی می‌باشند. تیپ بارشی ایستگاه تبریز چارک چهارمی و ایستگاه عجب‌شیر چارک دومی تشخیص داده شد. در زمستان دو ایستگاه مراغه و بناب دارای تیپ بارشی چارک سومی و دو ایستگاه تبریز و ملکان چارک چهارمی و سراب چارک دومی بود. (عجب‌شیر داده کافی برای زمستان نداشت). شاید دلیل تفاوت بیشترین میزان بارش دریافت شده در یک ایستگاه در فصول مختلف به سامانه بارشی (جبهه‌ای با منشاهای متفاوت مانند خزری، قطبی، مدیترانه‌ای، بارش‌های اوروگرافیک^۱، و غیره مربوط شود. با این حال، یادآوری می‌شود که در مطالعه فعلی، الگوی بارشی همه رویدادهای به ثبت رسیده در ایستگاه‌ها، بدون تفکیک آن‌ها از نظر منشأ بارش، تحلیل شده است. بنابراین در ادامه همین کار، انجام مطالعه مشابه با ترکیب الگوی ریزش‌ها با نوع سامانه‌های بارشی توصیه می‌شود. به‌نظر می‌رسد، تحلیل منحنی‌های هاف در ایستگاه‌های پر بارش، که تعداد رویدادهای باران در مقایسه با تعداد نظیر برف بیشتر است، کارایی و اعتبار بیشتری دارد. دین‌پژوه و وکیلی‌آذر (۱۴۰۴) بارش‌های استان گیلان را چارک دومی گزارش نموده‌اند. این نتیجه با یافته‌های حاضر در مورد رگبارهای زمستان در ایستگاه سراب همخوانی داشته ولی با سایر ایستگاه‌ها مغایرت دارد.

به‌نظر می‌رسد، تاکنون برای منطقه مورد مطالعه منحنی‌های هاف با دو روش مذکور در فصول مختلف رسم نشده بود. از این نظر، تحقیق حاضر برای اولین بار در منطقه اجرا شد. افزون بر این، برای منحنی هاف میانی هر ایستگاه رابطه ریاضی برازش داده شد (ستون سوم، جدول ۳) که در مطالعات مرتبط تاکنون این کار انجام نشده بود. نظر به اینکه بارش مهمترین مولفه موثر بر سیلاب شناخته شده (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۰)، بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت شکل هیئتوگراف‌های رسم شده با توجه به منحنی هاف میانه (با رنگ آبی در دسته منحنی‌های هاف، در محاسبه عرض‌های هیدروگراف ناشی از رگبار (جهانبخش اصل و همکاران، ۱۳۹۱)، در طراحی کانال‌های زهکشی، آبروها، پل‌ها، کالورت‌ها^۲، کاربرد داشته باشد. افزون بر این، نتایج مطالعه حاضر در طرح‌های جمع‌آوری آب باران به‌منظور توسعه باغات، مزارع و گلخانه کاربرد دارد.

احتمالا فاصله قایم بین دو منحنی هاف بالایی و پایینی در موقعیت‌های مختلف زمانی (بی‌بعد) می‌تواند معیار مناسبی برای تمایز الگوی بارشی ایستگاه‌ها باشد (دین‌پژوه و همکاران، ۲۰۲۴). از سویی مساحت محصور بین دو منحنی بالایی و میانی در هر چارک می‌توان به‌عنوان معیار مناسب تمایز الگوی ریزش‌ها باشد. بنابراین، هر یک از این معیارها را می‌توان به‌عنوان ادامه این کار پیشنهاد کرد.

سپاسگزاری

از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی جهت تامین داده‌های مورد نیاز این پژوهش سپاسگزاری می‌شود. از داوران محترم، به‌خاطر ارائه نظرات سازنده در جهت ارتقای کیفیت مقاله، صمیمانه قدردانی می‌گردد.

منابع

- بابایی، جواد؛ نوری، محسن و نارانی، مسلم (۱۳۹۶)، سیلاب: پدیده‌های شایع در ایران؛ گزارش سیلاب در آذربایجان شرقی، ایران، چهارمین کنفرانس جامع مدیریت بحران و HSE، تهران، <https://civilica.com/doc/696956>
- جهانبخش اصل، سعید؛ رضایی بنفشه، مجید، گودرزی، مسعود، غفوری روزبهانی، عبدالمحمد، و مهدیان، محمد حسین (۱۳۹۱) ارزیابی کاربرد روش زمان - سطح و هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک در برآورد دبی سیلاب بازفت کارون. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۶(۴۱)، ۴۹-۶۶
- حاتمی‌یزد، ابوذ؛ تقوایی ابریشمی، علی‌اصغر و قهرمان، بیژن (۱۳۸۴). الگوی توزیع زمانی بارش استان خراسان بزرگ. *تحقیقات منابع آب ایران*، ۳(۳)، ۵۴-۶۴
- دین پژوه، یعقوب و وکیلی آذر، سائنا (۱۴۰۴) ارائه یک روش جدید برای مطالعه تغییرپذیری رگبارها (مطالعه موردی: استان گیلان). *جغرافیا و برنامه‌ریزی* (آماده انتشار (Doi: 10.22034/gp.2024.62377.3274
- عساکره، حسین و رزمی‌قلندری، رباب (۱۳۹۳). توزیع زمانی و رژیم بارش در شمال غرب ایران. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، ۱۱۲(۱۱۲)، ۱۴۵-۱۶۰
- کریمی، ولی‌الله؛ سلیمانی، کریم؛ حبیب‌نژادروشن، محمود و شاهدی، کاکا (۱۳۹۲). مقایسه برخی روش‌های تعیین الگوی توزیع زمانی بارش جهت برآورد سیلاب‌های شهری؛ مطالعه موردی بابلسر. *فصلنامه علمی- پژوهشی مهندسی آبیاری و آب*، ۱۳(۱۳)، ۱۱۲-۱۰۲
- گلکار، فروغ؛ حجام، سهراب و خلیلی، علی (۱۳۹۰). توزیع فراوانی رگبار و الگوهای زمانی بارش در چند نمونه اقلیمی ایران. *مجله مهندسی منابع آب*، ۴(۴)، ۳۹-۴۹
- گودرزی، مسعود، جهانبخش اصل، سعید و رضائی بنفشه، مجید (۱۳۹۰). تهیه و بررسی منحنی‌های عمق - سطح - تداوم بارش در استان اصفهان. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۶(۳۷)، ۱۳۳-۱۴۹
- ملائی، علی و تلوری، عبدالرسول (۱۳۸۸). بررسی و تعیین الگوی توزیع زمانی بارش در استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از روش محاسباتی پیل‌گریم. *مجله مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۲(۲)، ۷۰-۷۷
- نورا، نادر؛ خاکسپیدی، عباس و رضیئی، طیب (۱۳۸۹). مقایسه روش‌های پیل‌گریم و هاف برای تعیین الگوی توزیع زمانی بارش در ایستگاه سینوپتیک زابل. *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۳(۳)، ۱۴۳-۱۶۰

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. Doi: 10.22108/gep.2019.116484.1141 (In Persian with English Abstract)
- Alfa, B., Hasholt, B., Jorgensen, N. O., & Banoeng-Yakubo, B. (2011). Rainfall and water resources of a coastal basin of Ghana. *American Society Journal of Hydrologic Engineering*, 316-323. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000314](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000314)
- Asakereh, H. & Razmi Ghalandari, R. (2014). Temporal Distribution and Regime of Precipitation of Northwest of Iran. *Geographical Research*, 29(112), 145-160. [In Persian]
- Azli, M., & Rao, R. (2010). Development of Huff curves for Peninsular Malaysia. *Journal of Hydrology*, 388, 77-84. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.04.030
- Babaei, J., Nouri, M., & Narani, M. (2017). Flood, the prevalent phenomenon in Iran, flood report

- from East Azarbayejan, Iran. The fourth conference on comprehensive crisis management and HSE. Held in Tehran, Iran.
- Bonaccorso, B., Brigandi, G., & Aronica, G.T. (2017). Combining regional rainfall frequency analysis and rainfall-runoff modeling to derive frequency distributions of peak flows in ungauged basins: a proposal for Sicily region (Italy). *Advance in Geosciences*, 44, 15-22.
- Bonta, J.V. (1997) Proposed use of Huff curves for hyetograph characterization. *Workshop on Climate and Weather Research. USDA-ARS. Denver, Colorado, USA, USDA-Agricultural Research Service* 111-124.
- Bustami, R. A., Rosli, N. A., Adam, J. H., & Li, K. P. (2012). Development of temporal rainfall pattern for Southern Region of Sarawak. UNIMA E. *Journal of Civil Engineering*, 3, 17-23. <https://doi.org/10.33736/jcest.98.2012>
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L.W. (1988) *Applied Hydrology*. McGraw-Hill. 572 pages
- Dinpashoh, Y, & Alavi, E. S. (2024) Derivation of Huff curves for the four stations in Great Karun River in Khuzestan province. *Journal of Civil and Environmental Engineering* 54(1), 115-130. Doi: [10.22034/jcee.2022.28050.1678](https://doi.org/10.22034/jcee.2022.28050.1678) (In Persian with English Abstract)
- Dinpashoh, Y. and Vakili Azar, S. (2024). Presentation of innovative method for study of storms variability (case study: Gilan Province). *Journal of Geography and Planning*, (accepted), doi: [10.22034/gp.2024.62377.3274](https://doi.org/10.22034/gp.2024.62377.3274) (In Persian with English Abstract)
- Dinpashoh, Y., & Vakili Azar, S. (2019) Temporal analysis of storms in East of Urmia Lake using the Huff curves. *Journal of Water and Soil Resources Conservation* 8(3), 27-44. (In Persian with English Abstract)
- Dinpashoh, Y., Fakheri-Fard, A., Moghaddam, M., Jahanbakhsh, S., & Mirnia, M. (2004) Selection of variables for the purpose of regionalization of Iran's precipitation climates using multivariate methods. *Journal of Hydrology* 297:109-123. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.04.009>
- Dinpashoh, Y., Vakili Azar, S. & Jahanbakhsh Asl, S. (2024). Analysis of Internal Pattern of Storms Using the Gordji Method (Case Study: Golestan Province). *Journal of Water and Soil Resources Conservation* 15(1), 47-57. (In Persian with English Abstract)
- 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>
- Eslahi, M., Pourasghar, F., Akbarzadeh, Y., Omidfar, M., Mansouri Derakhshan, N., and Shahmary, A. (2022). Determining the areas most affected by flood and statistical-synoptic analysis of flood events in East Azerbaijan province. *Nivar*, 46(118-119), 85-94. doi: 10.30467/nivar.2023.364239.1227. [In Persian]
- Ewea, A. Elfeki, A. Bahrawi, J. & AL-Amri, N. (2016). Sensitivity analysis of runoff hydrographs due to temporal rainfall patterns in Makkah Al-Mukkramah region: Saudi Arabia. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 424-435. DOI: [10.1007/s12517-016-2443-5](https://doi.org/10.1007/s12517-016-2443-5)
- Golkar, F., Hajjam, S., & Khalili, A. (2011). Storm frequency distribution and rainfall time patterns in some representative climates. *Water Resources Engineering*, 4(10), 39-49. [In Persian]
- Goodarzi, M., Jahanbakhsh Asl, S. & Rezaee Banafsheh, M. (2011). Preparation and Assessment of Rainfall Depth-Area-Duration Curves in Esfahan Province. *Journal of Geography and Planning*, 16(37), 133-149. [In Persian]
- 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. Tagh-Abrishami, AA. & Ghahraman, B. (2005). Rainfall temporal pattern for Khorasan province, Iran. *Iran Water Resources Research* 1(3): 54-64. [In Persian]
- Huff, F. A. (1967) Time distribution of rainfall in heavy storms. *Water Resources Research* 3(4), 1007- 1019. <https://doi.org/10.1029/WR003i004p01007>
- Huff, F. A. (1990). Time Distributions of Heavy Rainstorms in Illinois. *Department of energy and natural resources, Illinois State Water Survey Champaign*, 173, 1-23.
- Jahanbakhshasl, S , Rezaeebanafsheh, M, Godarzy, M, Ghaforyrozbehany, A. & Mahdiyan, M. (2012). The assessment of Time–Area and Clark instantaneous unit hydrograph models in estimating flood discharge in Bazoft Karoon. *Journal of Geography and Planning*, 16(41), 49-66. [In Persian]
- Jiang, P. Yu, Z. Gautam, M. R. Yuan, F. & Acharya, K. (2016). Changes of storm properties in the United States: Observations and multimodel ensemble projections. *Global and Planetary change*, 142, 41-52. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.05.001>
- Karimi, V.A., Solaimani, K., Habib nejad roshan, M., & Shahedi, K. (2013). Comparison of Some Rainfall Temporal Pattern Determination for Urban Flood Estimation (Case Study: Babolsar). *Irrigation and Water Engineering* 4(1), 102-112 [In Persian]
- Kottogoda, N.T. Natale, L. & Raiteri, E. (2014). Monte Carlo Simulation of rainfall hyetographs for analysis and design. *Journal of Hydrology*, 519, 1-11. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.06.041
- Lee, K.T. & Ho, J.Y. (2008). Design hyetograph for typhoon rainstorms in Taiwan. *Journal of Hydrologic Engineering*, 13, 647-651. [Doi: 10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2008\)13:7\(647\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2008)13:7(647))
- Liao, D., Zhang, Q., Wang, Y., Zhu, H., & Sun, J. (2021). Study of the rainstorm design methods in Chongqing. *Frontiers in Environmental Science*, 306-315 [Doi:10.3389/fenvs.2021.639931](https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.639931)
- Liao, D., Zhu, H., Zhou, J., Wang, Y., & Sun, J. (2019). Study of the natural rainstorm moving regularity method for hyetograph design. *Theoretical and Applied Climatology*, 138(2), 1311-1321. [Doi:10.1007/s00704-019-02890-0](https://doi.org/10.1007/s00704-019-02890-0)
- Mollaie, A. and 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]
- Noura, N., Khaksafidi, A., & Razei, T. (2012). Comparison of Pilgrim and Huff methods for derivation of time distribution of rainfall in Zabol station (Iran). *Journal of Water and Soil Conservation* 17(3), 143-160. [Doi: 20.1001.1.23222069.1389.17.3.8.9](https://doi.org/10.1001.1.23222069.1389.17.3.8.9) [In Persian]
- 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(6), 102-120. doi.org/10.3390/w9060411
- Pourjavad Asl, K., & Arkian, F., (2013). The study of two cases of severe flooding over the Eastern Azerbaijan Province from the synoptical and kinematic view and coincident of these events with GFS precipitation forecast (period on 2000-2010). *Journal of Marine Science & Technology Research* 8(2): 77-95. [In Persian]
- Terranova, O. G., Iaquina, P. (2011) Temporal properties of rainfall events in Calabria (Southern Italy). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 11, 751–757. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-751-2011>
- Vakili Azar, S., Dinpashoh, Y., Jahanbakhsh Asl, S. (2025). Analysis of the temporal pattern of storms in three different climates of Iran. *Acta Geophysica* (Accepted)

- Vakili Azar, S., Dinpazhoh, Y. (2019) Development of Huff curves for the five selected stations in the east of Urmia Lake. *Journal of Water and Soil* 32(6), 1109-1123. (In Persian with English Abstract).
- Wang, W., Yin, S., Xie, Y., Liu, B., & Liu, Y. (2016). Effects of four storm patterns on soil loss from five soils under natural rainfall. *Catena*, 141, 56-65. [Doi: 10.1016/j.catena.2016.02.019](https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.02.019)
- Wartalska, K., Kazmierczak, B., Nowakowska, M., & Kotowski, A. (2020). Analysis of hyetographs for drainage system modeling. *Water*, 149, 1-21. [Doi: 10.3390/w12010149](https://doi.org/10.3390/w12010149)
- Wu, S. J., Yang, J. C., & Tung, Y. K. (2006). Identification and stochastic generation of representative rainfall temporal patterns in Hong Kong territory. *Stoch Environ Res Risk Assess*, 20, 171-183. [Doi:10.1007/s00477-005-0245-5](https://doi.org/10.1007/s00477-005-0245-5)
- Yang, J., Xiang, Y., Xu, X., & Sun, J. (2022). Design hyetograph for short-duration rainstorm in Jiangsu. *Atmosphere*, 13(6), 252-269. [Doi: 10.3390/atmos13060899](https://doi.org/10.3390/atmos13060899)