

Analysis of Hourly Storms for the Purpose of Extracting Design Hyetographs using the Huff Method

Esmat Sadat Alavi ¹, Yagob Dinpashoh ^{2*}, Esmaeel Asadi ³

¹ Ph.D Student of Water Resources Engineering, Department of Water Eng., Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

² Associate Professor, Department of Water Eng., Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

³ Associate Professor, Department of Water Eng., Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Abstract

This study aims at plotting the Huff curves and designing storm hyetographs in the stations of Izeh, Idonak, Abdolkhan and Ahvaz. A total of 1811 recorded storms in the period 1966-2016 in different seasons were classified into five distinct time groups according to their rainfall duration. The Huff curves were plotted for each class in each of the seasons using the whole set of storms. Results showed that classification of storms led to a better distinction of rainfall pattern in different seasons and durations. In order to compare the time distribution of rainfalls, three indices of S, I, and Q were defined that consider the ratios of non-dimensional cumulative rainfall curves from the 10% probability Huff curve obtained in the 25%, 50%, and 75% of time durations to their corresponding values from the 50% probability Huff curve. The results showed that in the four mentioned stations, the values of S index were greater than I, and both of them were greater than Q. The range of S index varied from 1.47 (in Idonak station for spring storms having the duration between 12-24 hours) to 9.63 (in Abdolkhan station for spring storms with the duration of less than 2 hours). Whereas the range of Q index varied from 1.03 (in Ahvaz station for spring and winter rainfalls having the duration of less than two hours, and in Idonak station for spring storms with the duration of less than two hours) to 1.44 (in Abdolkhan station for spring storms with the duration of 6-12 hours). The range of I index varied from 1.07 (in Ahvaz for spring storms with the duration of 2-6 hours) to 2.12 (in Abdolkhan for winter storms with the duration of less than two hours). For each of the Huff curves, design storm hyetographs were derived and presented using the 50% probability Huff curve.

Key words: Design Storm, Rainfall Time Distribution, Design Flood, Huff Curves, Hyetograph.



تحلیل رگبارهای ساعتی به منظور استخراج هیتوگراف طرح به روش هاف مطالعه موردی: استان خوزستان

عصمت السادات علوی، دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
یعقوب دین پژوه^{*}، دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
اسماعیل اسدی، دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

چکیده

نخستین گام در مدیریت علمی منابع آب، شناخت دقیق جنبه‌های مختلف بارش است. یکی از جنبه‌های اصلی مطالعات مربوط به بارندگی، تهیه منحنی هاف در هر منطقه، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. این کار به تصمیم‌گیرندگان در مدیریت مؤثر منابع آب کمک می‌کند که به‌نوبه خود به مدیریت مؤثر منابع آب شیرین منتهی می‌شود. هدف پژوهش حاضر، رسم منحنی‌های هاف و هیتوگراف رگبار در استان خوزستان است. بدین منظور از داده‌های باران‌نگار ثبات در ایستگاه‌های ایذه، ایدنک، عبدالخان و اهواز استفاده شد. در کل تعداد ۱۸۱۱ رگبار ثبت شده در بازه زمانی ۱۳۴۵ تا ۱۳۹۵ در فصول مختلف در ۵ کلاس زمانی دسته‌بندی شدند. برای هر دسته، در هر فصل، منحنی‌های هاف با استفاده از تجمیع رگبارها رسم شد. نتایج نشان داد دسته‌بندی در فصول و در کلاس‌های زمانی، معنادار است. منظور مقایسه الگوی ریزش رگبارهای ایستگاه‌ها، سه شاخص S ، I و Q تعریف شدند که نسبت بارش تجمعی را (به ترتیب در ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد مدت دوام رگبار) از منحنی احتمال $0/1$ به مقدار نظیر احتمال $0/5$ در نظر می‌گیرند. نتایج نشان داد شاخص S بیش از I و هر دو بیش از شاخص Q بوده است. بازه تغییرات شاخص S ، از $9/63$ (برای مدت دوام کمتر از ۲ ساعت در بهار و ایستگاه عبدالخان) تا $1/47$ (برای بارش‌های ۱۲ تا ۲۴ ساعت فصل بهار در ایستگاه ایدنک) بود؛ در حالی که شاخص Q از $1/44$ (برای بارش‌های ۶ تا ۱۲ ساعت در بهار و ایستگاه عبدالخان) تا $1/03$ (برای بارش‌های با مدت دوام کمتر از ۲ ساعت در بهار و زمستان در ایستگاه اهواز و بهار در ایدنک) تغییر می‌کند. تغییرات مقدار شاخص I در بازه $2/12$ (۰ تا ۲ ساعت در زمستان و در عبدالخان) تا $1/07$ (۲ تا ۶ ساعت بهار اهواز) بود. برای هر منحنی هاف، هیتوگراف رگبار طرح با استفاده از منحنی احتمال $0/50$ استخراج و ارائه شد.

واژه‌های کلیدی: رگبار طرح، توزیع زمانی بارش، سیلاب طرح، منحنی‌های هاف، هیتوگراف.

مقدمه

به کل زمان تداوم بارش، هیتوگرافی مصنوعی در آمریکا تهیه کردند.

هرشفیلد^۳ (۱۹۶۲) روش میانگین ترسیمی را معرفی کرد و ۴۰۰ طوفان باران‌زا را از ۵۰ ایستگاه هواشناسی در ایالات متحده برگزید. همچنین هیتوگراف بارش طرح را با دوام‌های ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعته استخراج کرد.

هاف (۱۹۶۷) تعداد ۲۶۱ رگبار ثبت شده در ۱۱ سال را در ایالت ایلینویز در ۴۹ ایستگاه باران‌سنجی ثبات مطالعه کرد. او بعدها (۱۹۹۰) پیشنهاد داد نوع چارک رگبارها تعیین و بر این اساس تقسیم‌بندی شوند؛ به بیان بهتر بیشترین درصد عمق بارش رخ داده در یکی از چارک‌های زمانی رگبار مشخص شود و در هر ایستگاه نوع چارک، مبنای طبقه‌بندی قرار گیرد؛ سپس برای هر دسته نمودارهای احتمال تجربی بی‌بعد تجمعی بارش رسم شود.

ین و چاو^۴ (۱۹۸۰) ۲۵۰ هزار رگبار ثبت شده در ایالات متحده را با روش هیتوگراف مثلثی تحلیل کردند.

شوکوما و شواب^۵ (۱۹۸۳) ۴۵۴ رگبار ثبت شده در ایالت اوهایو را با روش هاف تحلیل کردند. در این روش، رگبارها به سه تیپ پیشرو، میانی و تأخیری تقسیم شدند.

دفتر حفاظت خاک ایالات متحده^۶ (SCS) (۱۹۸۶) با کمک اطلاعات باران‌نگارها، الگوی تیپ ۶ و ۲۴ ساعته را برای شرایط جغرافیایی و اقلیمی مختلف آمریکا ارائه داد و نقشه‌های مربوط به آن را برای

تغییر اقلیم ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، تغییرات زیادی را در مؤلفه‌های هیدرواقلمی ایجاد کرده است. بارش، یکی از این مؤلفه‌هاست که به‌طور انکارناپذیری از تغییر اقلیم متأثر شده است. این تغییر در مناطق مختلف به شکل‌های مختلف پدیدار شده است؛ برای نمونه در بعضی مناطق مقدار بارش، در بعضی دیگر نوع ریزش (باران یا برف) و در بعضی شدت آن دگرگون شده است. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های بارش، الگوی ریزش آن در حین بارندگی است. شناخت الگوی رگبار در بهره‌برداری درست از منابع آب، به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک ایران ضروری است.

یکی از ابزارهای شناخت الگوی توزیع رگبار در حین ریزش آن، رسم منحنی‌های هاف^۱ است. منحنی‌های هاف نمودار تغییرات بارش تراکمی را تابعی از زمان تراکمی بارش در حالت بی‌بعد نشان می‌دهند. برای رسم این منحنی‌ها به اطلاعات رگبارهای ثبت شده با باران‌نگار خودکار نیاز است.

پیشینه پژوهش

تعیین الگوی توزیع عمق بارش در مدت دوام آن، سابقه‌ای طولانی دارد و پژوهشگران مطالعات زیادی را در نواحی مختلف جهان انجام داده‌اند.

کیفر و چو^۲ (۱۹۵۷) با استفاده از متوسط شدت بارش و زمان تداوم و ضریب وزنی نسبت زمان اوج

³ Hershfield

⁴ Yen and Chow

⁵ Chuckwuma and Schwab

⁶ Soil Conservation Service

¹ Huff Curves

² Keifer and Chu

همکاران^{۱۵} (۲۰۱۶) در مطالعات مختلف از روش هاف استفاده کردند.

بوستانی و همکاران^{۱۶} (۲۰۱۲) رگبارهای هفت ایستگاه هواشناسی سارواک اندونزی را در تداوم‌های مختلف بارش تحلیل کردند.

دولساک و همکاران^{۱۷} (۲۰۱۶) نیز رگبارهای ۳۰ ایستگاه کشور اسلونی را به روش هاف مدل کردند.

اوی و همکاران^{۱۸} (۲۰۱۶) الگوی زمانی بارش را در مکه عربستان سعودی بررسی کردند.

ایمان^{۱۹} (۲۰۱۸) با کمک ۱۲۷ رویداد بارش، الگوی بارش در صحرای سینا را در ۴ دسته متمایز دسته‌بندی کرد و نتایج هر کدام را جداگانه با الگوهای SCS تطبیق داد.

بیزاک و همکاران (۲۰۱۸) در حوضه‌ای از اسلونی با استفاده از هیتوگراف طرح منتج از منحنی‌های هاف ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد به‌مثابه ورودی، سیلاب ناشی از بارش را در پایین‌دست این حوضه مدل کردند. آنها برای حالات مختلف، (خطرات و بحران‌های سیل با شدت‌های مختلف) طرح‌های پیشگیرانه ارائه دادند.

در ایران نیز مطالعات پراکنده‌ای در زمینه توزیع زمانی رگبارها انجام شده است؛ بزرگ‌زاده^{۲۰} (۱۹۹۵) الگوی بارش‌های ۲۴ ساعته شمال کشور را مطالعه کرد. او دریافت رگبارهای شمال کشور عموماً از نوع I یا IV (براساس تقسیم‌بندی SCS) هستند.

آمریکای شمالی رسم کرد. نتایج نشان داد این نمودارها برای دیگر نقاط نیز قابل استفاده است.

الگوهای احتمالاتی توزیع زمانی بارش لوکاس و کوئیک^۱ (۱۹۹۴) در جنوب غرب بریتیش کلمبیا^۲ و وو و همکاران^۳ (۲۰۰۶) در هنگ‌کنگ مطالعه شد. وو و همکاران از اطلاعات ۱۶ ایستگاه و ۸۲۸۹ رگبار استفاده و در نهایت الگوی معرف زمانی بارندگی در هنگ‌کنگ را به تفکیک مدت بارش، عمق و فصل بارش ارائه کردند. آنها نتیجه گرفتند الگوها مستقل از موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها هستند.

کائو و گوینداراژو^۴ (۲۰۰۷ و ۲۰۰۸) و ورنیوی و همکاران^۵ (۲۰۱۵) با استفاده از روش مفصل، مدل‌های احتمالاتی چندبعدی را از توزیع‌های بارش به دست آوردند.

عزلی و راثو^۶ (۲۰۱۰) برای شبه‌جزیره مالزی منحنی‌های هاف ۱۳ ایستگاه (کلاً ۵۸۰۰ رویداد) را رسم و الگوی بارش طرح را استخراج کردند.

افزون بر این، کانگ و همکاران^۷ (۲۰۰۹)، گلیان و همکاران^۸ (۲۰۱۰)، آواداله و یونان^۹ (۲۰۱۲)، تودیسکو^{۱۰} (۲۰۱۴)، وانگ و همکاران^{۱۱} (۲۰۱۶)، یزدی و همکاران^{۱۲} (۲۰۱۶)، بائک و همکاران^{۱۳} (۲۰۱۵)، ژیانگ و همکاران^{۱۴} (۲۰۱۶) و بیزاک و

¹ Loukas and Quick

² British Columbia

³ Wu et al

⁴ Kao and Govindaraju

⁵ Vernieuwe et al

⁶ Azli and Rao

⁷ Kang et al

⁸ Golian et al

⁹ Awadallah and Younan

¹⁰ Todisco

¹¹ Wang et al

¹² Yazdi et al

¹³ Baek et al

¹⁴ Jiang et al

¹⁵ Bezak et al

¹⁶ Bustami et al

¹⁷ Dolšak et al

¹⁸ Ewea et al

¹⁹ Eman

²⁰ -Bozorgzadeh

بوده است. بارش‌هایی که فاصله زمانی بین خاتمه آنها تا آغاز بارش‌های بعدی کمتر از یک‌پنجم زمان هریک از بارش‌ها بود، با هم تلفیق و به‌مثابه رویدادی منفرد در نظر گرفته شدند. رویدادها برای هریک از فصول سال به‌طور مجزا در نظر گرفته و براساس طول مدت بارش به ۵ دسته متمایز به شرح کمتر از ۲، ۲ تا ۶، ۶ تا ۱۲، ۱۲ تا ۲۴ و بیش از ۲۴ ساعت دسته‌بندی و از هم تفکیک شدند.

جدول (۱) نتایج حاصل از این تفکیک را برای هریک از ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که در داده‌های جدول مشخص است، برای فصل تابستان رگبار ثبت‌شده‌ای وجود نداشته که این احتمالاً به دلیل موقعیت اقلیمی ایستگاه‌ها و نبود بارش در تابستان است. در هر چهار ایستگاه، بیشترین تعداد رگبار در فصل زمستان رخ داده و در تمام ایستگاه‌ها، بیشترین تعداد رگبار ثبت‌شده متعلق به کلاس زمانی ۲-۶ یا ۶-۱۲ ساعت است. بیشترین رگبار ثبت‌شده متعلق به ایستگاه ایذه و کمترین آن متعلق به ایستگاه عبدالخان است. تعداد کل رگبارهای مطالعه‌شده، ۱۸۱۱ رویداد است.

اسکندری^۱ (۱۹۹۶) با روش پیلگریم و آزمون آماری χ^2 ، الگوی توزیع زمانی بارش ایستگاه همدید مهرآباد را مطالعه کرد.

قصابی و همکاران^۲ (۲۰۱۶) تعداد ۳۵ رگبار را در ناحیه جنوب غرب ایران به روش SCS تحلیل کردند.

مطالعات پیشین در کشور ما، برای مقایسه الگوی رگبارهای ایستگاه‌ها از میزان درصد ریزش رگبار در چارک‌های مختلف استفاده و بیشتر مطالعات پیشین ریزش رگبارها را با الگوهای از پیش تعیین شده سرویس حفاظت خاک SCS مقایسه کرده‌اند.

در این مطالعه تلاش شده است برای مقایسه الگوی ریزش‌ها، شاخص‌های جدید (با توجه به فاصله قائم منحنی‌های هاف ۱۰ و ۵۰ درصد، در انتهای چارک‌های اول، دوم و سوم) ارائه شود. هدف این پژوهش، رسم و تحلیل منحنی‌های هاف و هیتوگراف رگبار در چهار ایستگاه واقع در استان خوزستان شامل ایذه، ایدنک، اهواز و عبدالخان است.

روش‌شناسی پژوهش

داده‌ها

داده‌های مربوط به ایستگاه‌های مطالعه‌شده از مقادیر بارش رسیده در هر رویداد، در فواصل زمانی مشخص در نظر گرفته شدند. در این مطالعه رویدادهایی انتخاب شد که کمترین عمق بارش آن، ۳ میلی‌متر و مدت دوام آن نیز، دست‌کم ۲۰ دقیقه

¹ Eskandari

² Ghassabi et al

جدول ۱. تعداد رگبارهای بررسی شده در پژوهش حاضر

فصل	ایستگاه	بازه زمانی بارش (ساعت)					مجموع
		۰ تا ۲	۲ تا ۶	۶ تا ۱۲	۱۲ تا ۲۴	بیش از ۲۴	
ایذه	بهار	۱۹	۶۱	۳۶	۱۴	۳	۱۳۳
	پاییز	۱۶	۵۴	۶۷	۳۸	۷	۱۸۲
	زمستان	۲۴	۱۰۵	۱۱۲	۸۹	۱۷	۳۴۷
	جمع	۵۹	۲۲۰	۲۱۵	۱۴۱	۲۷	۶۶۲
عبدالحان	بهار	۱۰	۱۳	۷	۵	۰	۳۵
	پاییز	۱۱	۲۳	۲۱	۱۰	۲	۶۷
	زمستان	۱۰	۴۶	۴۲	۲۸	۳	۱۲۹
	جمع	۳۱	۸۲	۷۰	۴۳	۵	۲۳۱
ایدنک	بهار	۲۳	۴۵	۲۶	۱۲	۰	۱۰۹
	پاییز	۱۰	۳۸	۴۳	۴۲	۱۴	۱۴۷
	زمستان	۱۳	۷۵	۹۵	۸۹	۲۰	۲۹۲
	جمع	۴۶	۱۵۷	۱۶۷	۱۴۳	۳۴	۵۴۸
اهواز	بهار	۱۸	۱۵	۱۲	۱	۰	۴۶
	پاییز	۳۱	۴۶	۴۲	۱۹	۰	۱۳۸
	زمستان	۲۲	۷۲	۶۷	۲۳	۲	۱۸۶
	جمع	۷۱	۱۳۳	۱۲۱	۴۳	۲	۳۷۰

روش پژوهش

درصد زمان بارش متناظر با $P_i\%$ نیز از رابطه زیر به دست آمد.

$$\%t_i = \frac{i}{n} \times 100 \quad (2)$$

مقادیر درصد بارش رسیده به زمین برای هر رویداد در هر کلاس زمانی و هر فصل براساس جدول (۲) به دست آمد. جدول (۳) برای هر رویداد، درصد عمق بارش رسیده به زمین را به صورت تجمعی برای درصدهای زمانی ۱۰ تا ۱۰۰ درصد (با گام‌های ۱۰ درصد) نشان می‌دهد.

در هر ایستگاه برای رویداد z ام، تعداد n_z بازه زمانی وجود دارد که مقادیر جزئی بارش (در فواصل زمانی مساوی) ثبت شده است. اگر عمق کلی بارندگی (به میلی‌متر) در یک رویداد معین با R_t و عمق بارش رسیده به زمین از ابتدای بارش تا انتهای بازه زمانی t ام با r_i نشان داده شود، درصد بارش تجمعی رسیده به زمین تا انتهای بازه زمانی مربوط برای این رویداد از رابطه ۱ تخمین زده می‌شود.

$$\%P_i = \frac{r_i}{R_t} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه، $\%P_i$ ، درصد بارش تجمعی رسیده به زمین تا انتهای بازه زمانی t ام (n و ... و ۲ و ۱) است.

جدول ۲. درصد بارش رسیده به زمین در هر بازه زمانی برای یک رویداد بارشی

i	$\%t_i$	$\%P_i$
۱	$\frac{1}{n} \times 100$	$\%P_1$
۲	$\frac{2}{n} \times 100$	$\%P_2$
...
n	۱۰۰	۱۰۰

جدول ۳. درصد بارش تجمعی رسیده به زمین برای یک رویداد خاص در گام‌های ۱۰٪ زمانی

K	$\%t_k$	$\%P_k$
۱	۱۰	$\%P_1$
۲	۲۰	$\%P_2$
...
۱۰	۱۰۰	۱۰۰

برمبنای جدول (۴)، مقادیر بارش رسیده به زمین برای کل رگبارها محاسبه شد. در این جدول، درصد بارش‌های تجمعی با دو اندیس مانند $\%P_{ak}$ مشخص شده‌اند. در آن a ، شماره رویداد (از ۱ تا l) و k ، شماره گام زمانی مربوط به رویداد a است؛ برای نمونه $\%P_{35}$ درصد تجمعی بارش رسیده به زمین برای رویداد شماره سوم در انتهای گام زمانی پنجم است. در ردیف اول این جدول، ارقام داخل پرانتز شماره ستون‌ها، ردیف دوم درصد زمان بارش (از آغاز آن) و ستون اول از چپ، شماره رگبار است.

جدول ۴. مقادیر درصد بارش رسیده به زمین در ایستگاه‌های معین برای همه رگبارهای منتخب

(۱)	(۲)	(۳)	(...)	($k+1$)	(...)	(۱۱)
رویداد	۱۰	۲۰	...	$\%t_k$	...	۱۰۰
۱	$\%P_{11}$	$\%P_{12}$	...	$\%P_{1k}$	...	۱۰۰
۲	$\%P_{21}$	$\%P_{22}$	...	$\%P_{2k}$	...	۱۰۰
...
l	$\%P_{l1}$	$\%P_{l2}$	...	$\%P_{lk}$	...	۱۰۰

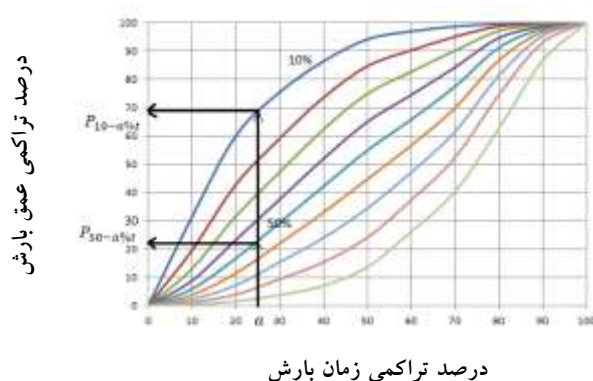
تکرار شد. تابع کوانتایل هر ستون ممکن است با ستون‌های دیگر متفاوت باشد (دست‌کم پارامترهای توزیع متفاوت باشد). به این ترتیب ۹ نقطه برای منحنی احتمال ۱۰ درصد، متناظر با درصد گام زمانی نظیر ۱۰، ۲۰، ... و ۹۰ درصد به دست آمد. با اتصال نقاط بالایی به همدیگر، منحنی احتمال کمتری ۱۰ درصد برای نمودار هاف حاصل شد. به همین ترتیب برای منحنی‌های احتمالاتی ۲۰، ۳۰، ... و ۹۰ درصد به ترتیب با قراردادن مقادیر ۰/۲، ۰/۳، ... و ۰/۹ به جای F در تابع مربوط، مقدار چندک برای آنها

مناسب‌ترین توزیع آماری برای هریک از ستون‌های دوم تا دهم جدول (۴) تعیین، تابع کوانتایل مربوط در نظر گرفته و به‌ازای درصد احتمالات مختلف (در اینجا ۱۰ تا ۹۰ درصد با گام‌های مساوی ۱۰ درصد) رسم شد. برای این کار، برای نمونه در تابع کوانتایل نظیر ستون ۲ جدول (۵) به جای احتمال کمتری^۱ (F) عدد ۰/۱ قرار داده و مقدار درصد بارش تجمعی در ۱۰ درصد زمان بارش تخمین زده شد. همین کار درباره ستون‌های سوم و چهارم تا دهم نیز

¹ Non-Exceedence Probability

برای شرایط میانگین از روی منحنی ۵۰٪ قرائت و نیز برای شرایط حدی این رقم از روی منحنی هاف بالای ۱۰٪ استخراج شد. این امر در شکل (۱) با پیکان نشان داده شده است.

به دست آمد و مشابه شکل (۲)، مجموعه منحنی‌های هاف (نه منحنی) در یک دیاگرام رسم شد (مشابه شکل ۱). با توجه به این نمودارها، درصد تراکمی ریزش رگبار به‌ازای زمان a درصد (از آغاز بارش)



شکل ۱. منحنی‌های هاف شماتیکی برای استخراج مقادیر $P_{10-a\%t}$ ، به‌ازای $a=25, 50, 75$ درصد در مطالعه حاضر

$$Q = \frac{P_{10-75\%t}}{P_{50-75\%t}} \quad (5)$$

در این روابط $P_{10-a\%t}$ ، میزان بارندگی تجمعی قرائت‌شده از نمودار احتمال ۱۰ درصد در فاصله a درصد از ابتدای زمان بارش و $P_{50-a\%t}$ ، معادل میزان بارندگی تجمعی در نمودار احتمال ۵۰ درصد در فاصله a درصد از ابتدای زمان بارش است. مقادیر a برای فرمول‌های ۳، ۴ و ۵ به ترتیب ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد در نظر گرفته شد. برای استخراج مقادیر اندیس‌ها، مقادیر $P_{10-a\%t}$ به‌ازای $a=25, 50, 75$ درصد از محور افقی منحنی‌های هاف مربوط بر مبنای شکل (۱) استفاده شد. با استفاده از مقادیر این شاخص‌ها، نوع الگوی ریزش بارش یک ایستگاه از بقیه تمیز داده می‌شود؛ به طوری که برای نمونه دو ایستگاه چنانچه S مشابه داشته باشند، الگوی ریزش آنها یکسان است؛ اما مقادیر کم شاخص S نشان‌دهنده این واقعیت است که اختلاف عمق ریزش رگبارها

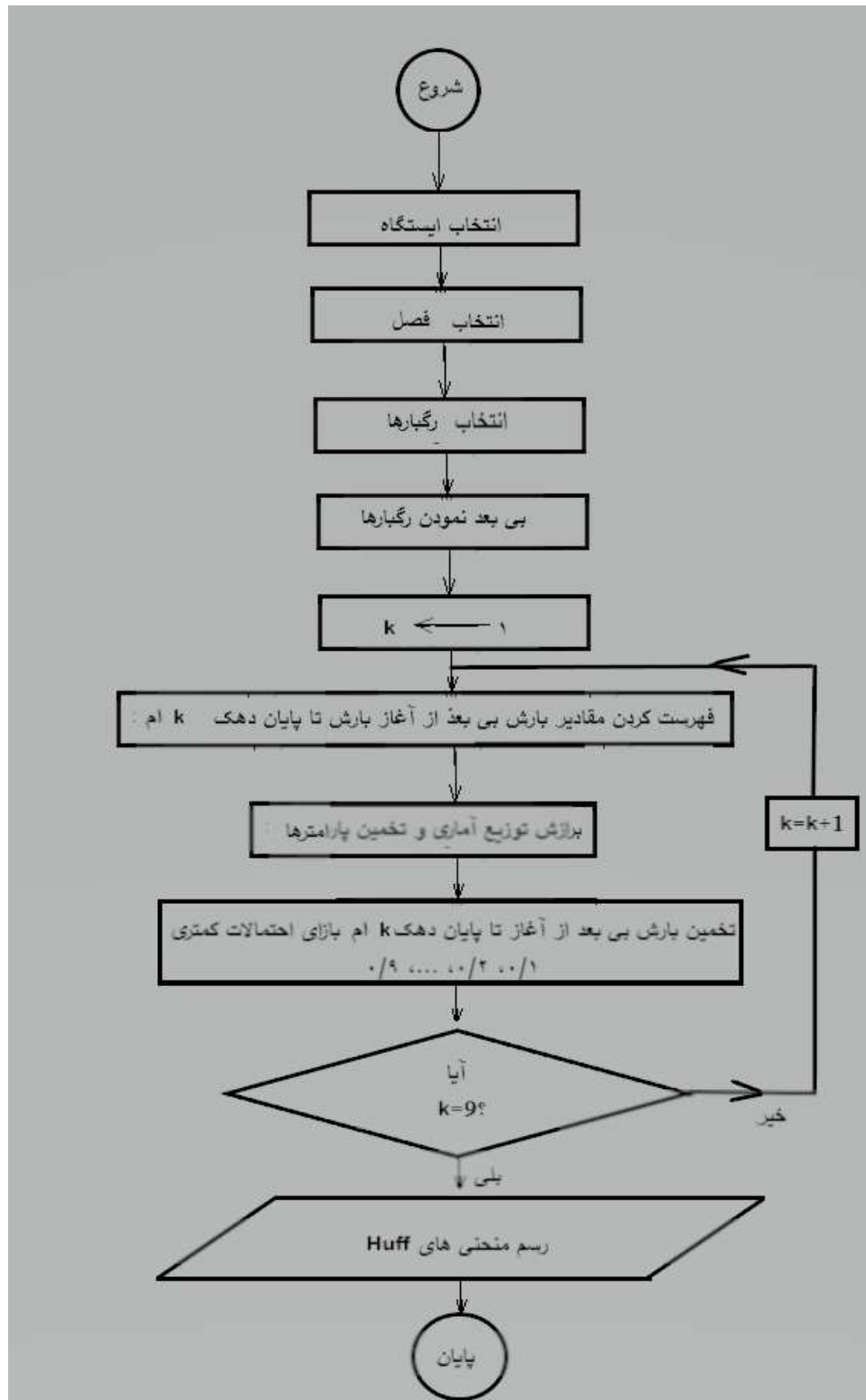
شکل (۲) طرح‌واره تهیه و رسم منحنی‌های هاف را درباره بارش‌های واقع در دسته‌ای معین (با زمان تداوم مشخص) نشان می‌دهد.

برای ایستگاه‌های باران‌سنج ثابت (چهار ایستگاه) در هر فصل و هر کلاس زمانی (مربوط به مدت دوام بارش)، هیئوگراف توزیع بارش بی‌بعد با درصد احتمال ۵۰ درصد رسم شد. این نمودار، الگوی ریزش رگبار را به‌طور میانگین برای ایستگاه معین در فصل مشخص و دسته زمانی مربوط به مدت دوام بارش معلوم نشان می‌دهد. سه شاخص جدید S ، I و Q به منظور یافتن راهی برای امکان مقایسه الگوی ریزش رگبارها با توجه به تفاوت بین احتمال تجمعی ۱۰٪ با احتمال ۵۰٪ به شرح زیر تعریف شدند:

$$S = \frac{P_{10-25\%t}}{P_{50-25\%t}} \quad (3)$$

$$I = \frac{P_{10-50\%t}}{P_{50-50\%t}} \quad (4)$$

به‌صورت بی‌بعد از رگباری به رگبار دیگر ناچیز است که واریانس عمق بارش بی‌بعد بین رگبارها زیاد است؛ برعکس مقادیر بزرگ S نشان‌دهنده این واقعیت است.



شکل ۲. طرح‌واره تهیه و رسم منحنی‌های هاف برای بارش‌های واقع در دسته‌ای معین (با زمان تداوم مشخص)

منطقه پژوهش

منطقه پژوهش، بخشی از حوضه آبریز رودخانه کارون در استان خوزستان شامل دو قسمت متفاوت کوهستانی و جلگه‌ای این استان است. به دلیل وجود منابع غنی آب و خاک مناسب، جلگه خوزستان و دشت‌های قسمت کوهستانی و کوهپایه‌ها، محل‌های مناسبی برای کشاورزی و طرح‌های بزرگ کشت و صنعت به‌ویژه نیشکر، گندم و صیفی‌جات محسوب می‌شوند. همچنین در قسمت‌هایی از شمال خوزستان، باغ‌های مرکبات و در قسمت‌های جنوبی، نخلستان‌های وسیع وجود دارد.

شکل (۳)، نقشه منطقه پژوهش و موقعیت ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. چهار ایستگاه با مشخصات یادشده در جدول (۵) انتخاب شدند. خوزستان و نواحی جنوبی آن میانگین دمای سالیانه ۲۴ تا ۲۸ درجه سلسیوس دارند. بیشترین و کمترین درجه حرارت ثبت شده در این استان به ترتیب معادل ۵۶ و ۷- درجه سلسیوس است. میانگین بارش سالیانه در استان ۲۵۰ میلی‌متر است. تفاوت بارش در بین ایستگاه‌های استان، بیشتر به دلیل توپوگرافی منطقه است.



شکل ۳. منطقه پژوهش و موقعیت ایستگاه‌های منتخب

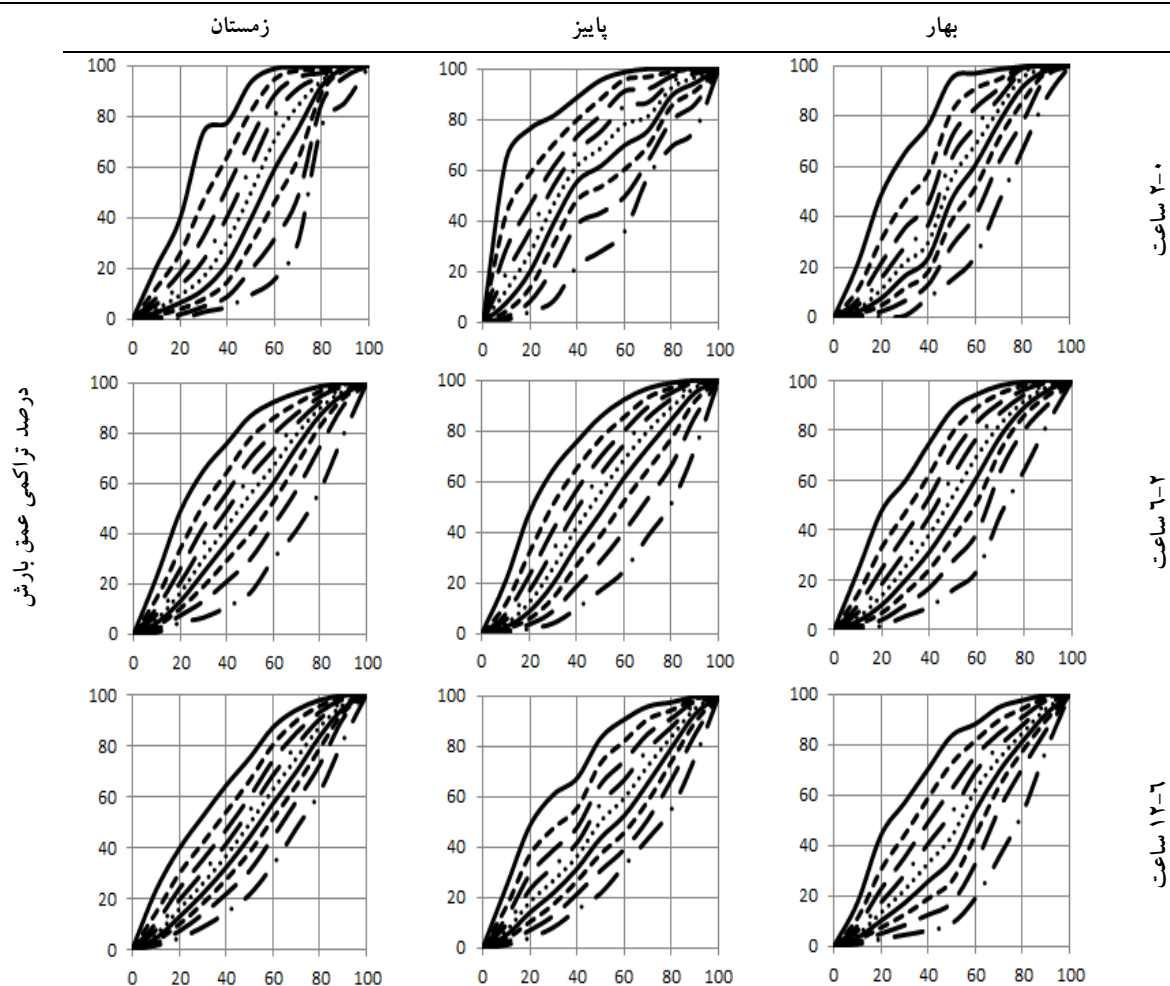
جدول ۵. مشخصات ایستگاه‌های مطالعه شده

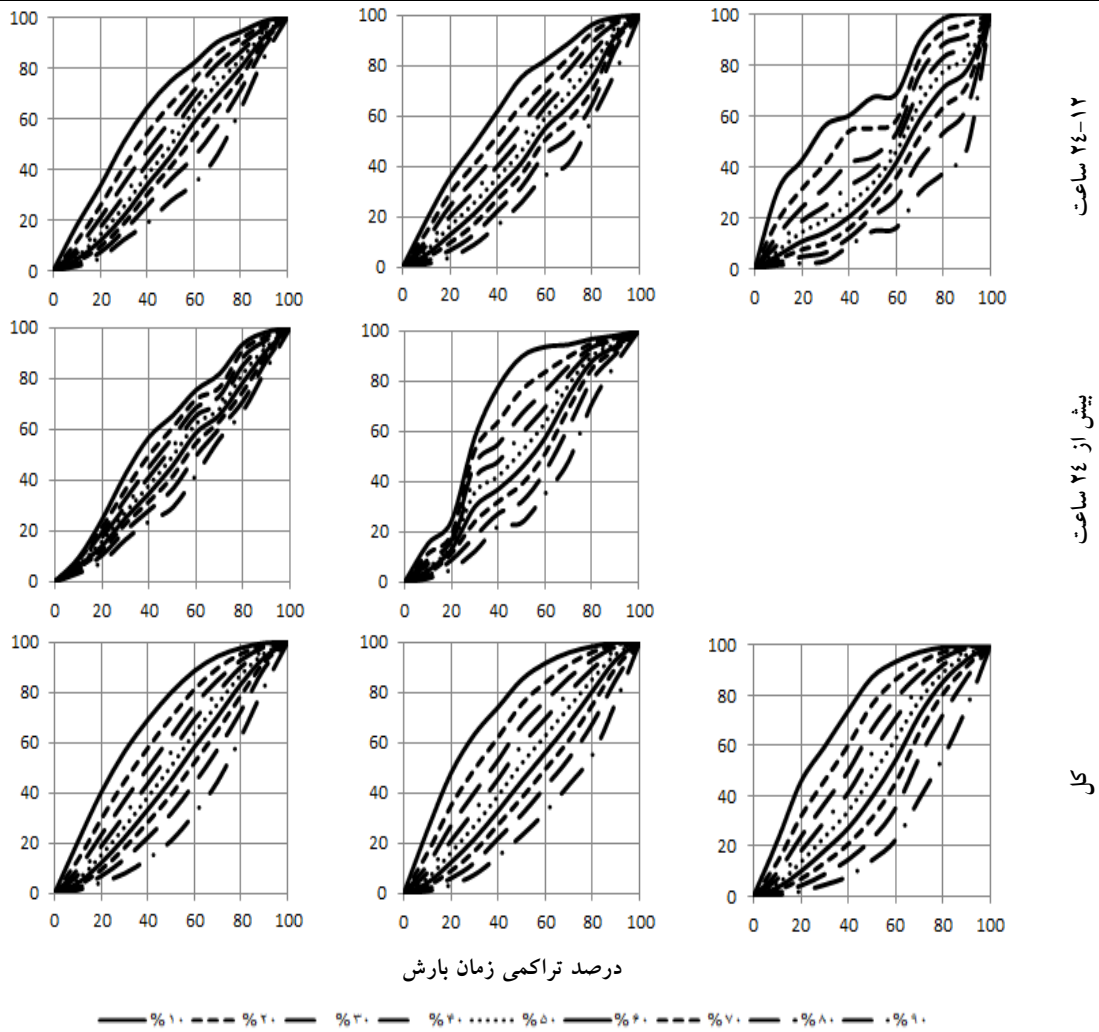
ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (m)	دوره آماری
ایذه	۳۱-۴۹	۴۹-۵۱	۷۶۴	۹۵-۱۳۵۷
عبدالخان	۳۱-۵۰	۴۸-۲۳	۴۰	۹۵-۱۳۵۸
ایدنک	۳۰-۵۶	۵۰-۲۴	۵۶۰	۹۵-۱۳۶۰
اهواز	۳۱-۲۰	۴۸-۴۱	۱۰	۹۵-۱۳۴۵

یافته‌های پژوهش

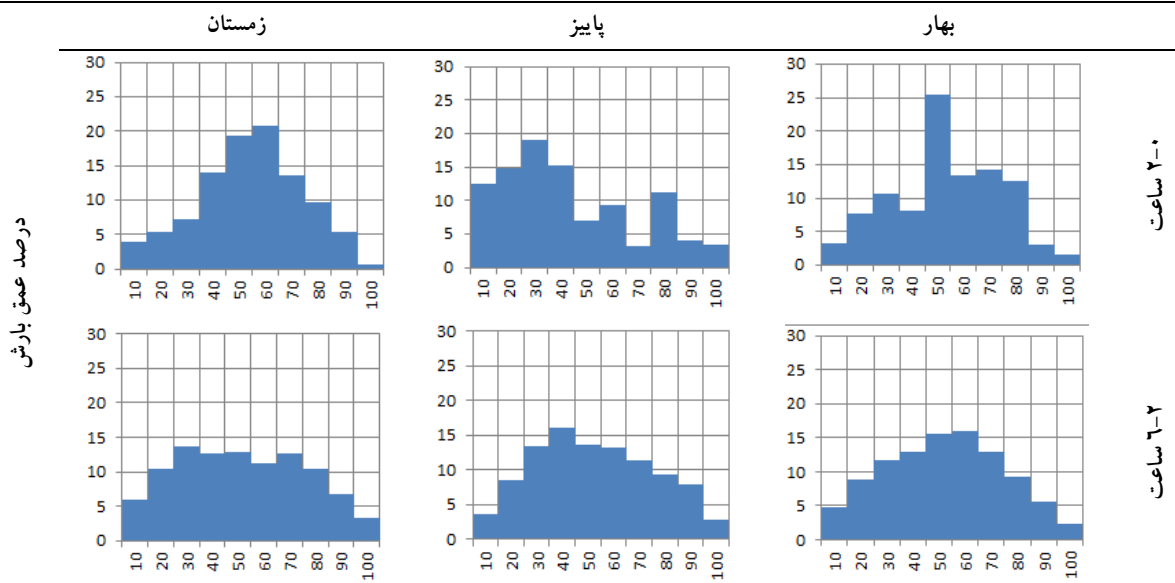
منحنی‌های هاف در ایستگاه ایزده به تفکیک فصل و زمان‌های تداوم مختلف در شکل (۴) نشان داده شده است. شکل (۵) نیز، هیتوگراف‌های بارش طرح را برای احتمال ۵۰ درصد در ایستگاه ایزده نشان می‌دهد. مشابه شکل‌های یادشده برای ۳ ایستگاه دیگر نیز تهیه شد (نشان داده نشده است). با توجه به این نمودارها، در هر چهار ایستگاه، مرکز ثقل هیتوگراف بارش از چارک دوم (در بارش‌های کوتاه‌مدت) به چارک سوم (در بارش‌های طولانی‌مدت) جابه‌جا شده است. همچنین با افزایش مدت‌زمان بارش، شدت

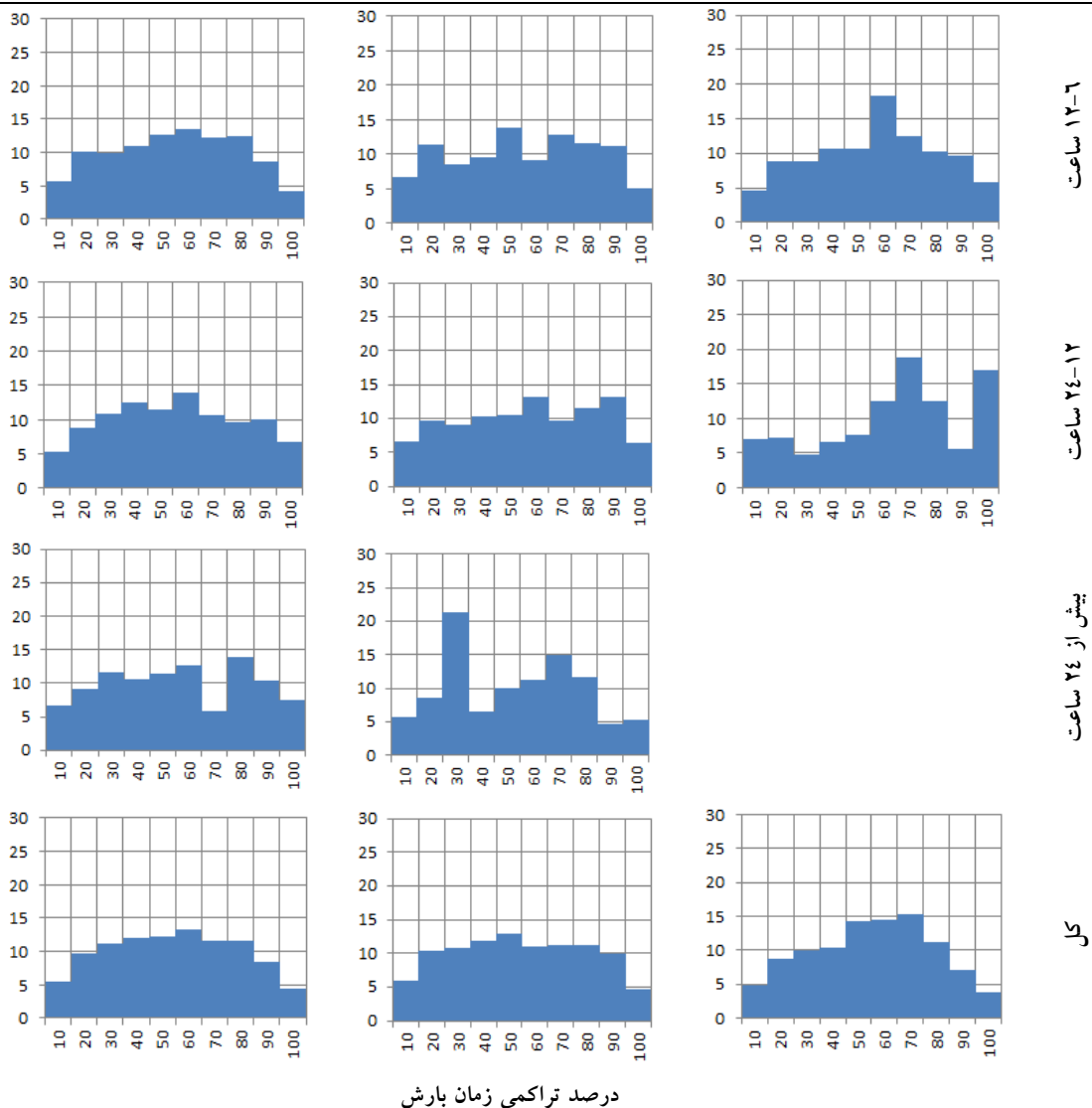
بارش‌ها در طول مدت دوام آن نسبتاً ثابت می‌شود. این نتیجه در فصل زمستان نسبت به پاییز و بهار درست‌تر است. بارش‌های بیش از ۲۴ ساعت در ایزده و ۱۲ تا ۲۴ ساعت در عبدالخان از این روند مستثنی هستند. تجمیع بارش‌ها در هر فصل برای هر چهار ایستگاه نمودار را تقریباً یکنواخت و به حالت زنگوله‌ای متقارن درمی‌آورد. در تمام ایستگاه‌ها و در تمام فصول، کمترین عمق بارش در بازه انتهایی آن رخ می‌دهد. بارش‌های ۶-۱۲ ساعت زمستان و ۱۲-۲۴ ساعت پاییز عبدالخان و ۱۲-۲۴ ساعت بهار ایزده در این زمینه استثنا هستند.





شکل ۴. منحنی‌های هاف در فصول مختلف (جز تابستان) و کلاس‌های مختلف دوام بارش در ایستگاه ایذه





شکل ۵. هیتوگراف‌های بارش طرح با احتمال ۵۰ درصد فصول مختلف سال و کلاس‌های مختلف مدت دوام بارش در ایستگاه ایذه

تقریباً شرایط مشابهی دارد؛ اگرچه بارش بلندمدت به تعداد کافی را برای رسم نمودار در کلاس زمانی ۱۲-۲۴ ساعت تجربه کرده است، تعداد این بارش‌ها نسبت به تعداد نظیر بارش‌های کوتاه‌مدت همان ایستگاه کمتر بود.

دو ایستگاه ایذه و ایدنک به دلیل قرارگرفتن در ارتفاع بالاتر و کوهستانی‌بودن، بارش با مدت دوام

در فصل بهار برای اهواز بارش طولانی‌مدت ثبت‌شده (کلاس زمانی ۱۲-۲۴ ساعت) در دسترس نبود؛ بنابراین نمودارهای هاف در کلاس یادشده برای ایستگاه مدنظر قابل رسم نبود. شاید دلیل این امر، ماهیت گرم و خشک‌بودن اقلیم منطقه است که در فصل بهار بارش‌ها به حالت رگباری با شدت زیاد و مدت دوام کوتاه رخ می‌دهد. ایستگاه عبدالخان نیز

یکنواخت شدن میل می‌کند که با نتایج حاصل از پژوهش اسکندری^۲ (۱۹۹۶) در تهران مغایر است. نمودارها و محاسبه مقدار بارش چارک‌ها در این مطالعه با نتایج پژوهش حاتمی‌یزد و همکاران^۳ (۲۰۰۵) در خراسان نیز تفاوت عمده داشت. شباهت‌هایی بین نتایج این مطالعه با مطالعات ملایی و تلوری^۴ (۲۰۰۹) در استان کهگیلویه و بویراحمد دیده شد. در هر دو مطالعه با افزایش مدت دوام بارش، اوج آن از چارک دوم به سوم متمایل می‌شود؛ هرچند در منطقه مطالعه شده آنها، اثری از استهلاک میزان اوج و میل به سمت یکنواختی بارش نیست.

نتایج مطالعه حاضر برای ایستگاه ایدنک واقع در استان خوزستان مشابه یافته‌های شگری کوچک و همکاران^۵ (۲۰۱۱) است که در آن بارش‌های با مدت دوام کمتر از ۶ ساعت چارک دومی بوده است و با افزایش تداوم بارش به سمت چارک سوم منتقل می‌شود.

شاخص‌های S، I و Q برای شناسایی شکل نمودارهای هاف ایستگاه‌های مختلف در کنار هم تعریف شده‌اند. این شاخص‌ها بازشدگی باند قرارگیری نمودار ۱۰٪ را نسبت به نمودار ۵۰٪ در مقاطع زمانی ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد زمانی نشان می‌دهند. مقادیر این شاخص‌ها به تفکیک فصل و کلاس زمانی بارش برای هر ایستگاه در جدول (۶) آمده است. هرچه شاخص S بیشتر باشد، میزان بازشدگی منحنی در ۲۵ درصد اول زمان ریزش بیشتر است که بیشتر بودن واریانس شدت ریزش رگبار را از

طولانی‌تری داشتند. در این دو ایستگاه، حتی تعداد رگبارهای با مدت دوام بیش از ۲۴ ساعت برای فصول پاییز و زمستان (برعکس بهار) به حد کافی به‌منظور تهیه نمودارهای هاف موجود بود. در ایستگاه ایدنک و در فصول یادشده، تعداد رگبارها با دوام بیش از ۲۴ ساعت در مقایسه با تعداد نظیر برای بارش‌های با دوام کمتر از دو ساعت، به مراتب بیشتر بوده است. با مقایسه نمودارهای رگبارهای مربوط به کلاس‌های مختلف زمانی، با نمودار کلی در هر فصل، می‌توان نتیجه گرفت تفکیک‌نشدن بارش‌ها براساس مدت دوام آنها موجب می‌شود هیتوگراف حاصل شده برای این ایستگاهها به‌صورت زنگوله‌ای نسبتاً متقارن یا یکنواخت باشد؛ در حالی که شکل هیتوگراف‌ها با مدت دوام کم، چولگی به چپ داشتند و بیشتر از نوع چارک دومی بودند؛ برعکس بارش‌های با مدت دوام بیشتر، عموماً چارک سوم با چولگی به راست بودند. در هر چهار ایستگاه، توزیع بارش‌های زمستانه در طول مدت دوام آن نسبت به بهار و پاییز متعادل‌تر بوده است و روند ثابت‌تری دارند.

براساس دانش فعلی نویسنده‌گان، بررسی الگوی توزیع رگبارها به تفکیک فصل تاکنون انجام نشده است. در این پژوهش برای نخستین بار، مطالعه الگوی توزیع رگبارها هم به‌صورت کلی (ادغام همه رگبارهای ثبت شده در یک دسته) و هم به‌صورت فصلی انجام شد. نتایج مطالعه حاضر برای کلاس کمتر از ۲ ساعت مشابه یافته‌های عزلی و رائو^۱ (۲۰۱۰) در مالزی بود.

در دیگر کلاس‌های زمانی، نتایج نشان داد درصد ریزش بارش در فواصل زمانی مساوی بیشتر به سمت

² Eskandari

³ Hatami Yazd et al

⁴ Mollaie & Telvari

⁵ Shokri koochak et al

¹ Azli & Rao

مساوی (در همان زمان) دارند که البته در عالم واقع تقریباً محال به نظر می‌رسد؛ زیرا بارندگی از فرایندهای استوکاستیک هیدرولوژیکی است که پیش‌بینی قطعی زمان وقوع، مقدار، مدت و شدت آن میسر نیست. این مطالب برای شاخص‌های I و Q نیز صادق است. با این تفاوت که این دو شاخص مخصوص زمان‌های نسبی ۵۰ و ۷۵ درصد مدت تداوم بارش (به جای ۲۵ درصد) هستند.

رویدادی به رویدادی دیگر نشان می‌دهد. برعکس هرچه میزان شاخص S کمتر باشد، دو منحنی هاف ۵۰ و ۱۰ درصد در ۲۵ درصد آغازین زمان بارش به یکدیگر نزدیک می‌شوند؛ این امر نشان می‌دهد در این نقطه زمانی، شدت ریزش باران از یک رگبار به رگباری دیگر تقریباً مشابه است و تغییرات کمی با همدیگر دارند؛ به طوری که اگر این دو منحنی در ۲۵ درصد اول رگبار بر هم منطبق شوند، به این معناست که همه رگبارهای این ایستگاه شدت ریزش

جدول ۶. مقادیر شاخص‌های S، I و Q محاسبه شده برای هر سری از منحنی‌های هاف

مقدار	بازه زمانی بارش (ساعت)	عبدالخانی			اهواز			ایذه			ایدنگ		
		Q	I	S	Q	I	S	Q	I	S	Q	I	S
نظر	۰ تا ۲	۱/۱۳	۱/۷۶	۹/۶۳	۱/۰۳	۱/۳۷	۲/۴۴	۱/۱۱	۱/۷۲	۳/۴۸	۱/۰۳	۱/۲۴	۲/۵۳
	۲ تا ۶	۱/۰۹	۱/۳۶	۳/۱۳	۱/۰۴	۱/۰۷	۱/۶۴	۱/۱۳	۱/۶۵	۲/۷۷	۱/۱۶	۱/۶۸	۲/۸۹
	۶ تا ۱۲	۱/۴۴	۱/۸۱	۲/۶۱	۱/۲	۱/۳۸	۲/۳	۱/۲۱	۱/۹۲	۲/۸۳	۱/۱	۱/۵۴	۲/۴۱
	۱۲ تا ۲۴	۱/۲۷	۱/۳۹	۱/۴۹				۱/۳۲	۲/۰۱	۲/۹۷	۱/۱۷	۱/۳	۱/۴۷
	بیش از ۲۴												
	کل	۱/۱۳	۱/۶۵	۲/۹۹	۱/۰۷	۱/۳۳	۲/۱۲	۱/۱۷	۱/۸۱	۲/۸۴	۱/۱۳	۱/۶	۲/۶۴
مستقل	۰ تا ۲	۱/۰۸	۱/۳۹	۱/۹۴	۱/۰۵	۱/۲۱	۳/۲۵	۱/۱۵	۱/۳۹	۲/۱۴	۱/۰۴	۱/۵۴	۴/۲
	۲ تا ۶	۱/۱۵	۱/۶۶	۲/۶۸	۱/۲	۱/۷۹	۳	۱/۱۶	۱/۵۴	۲/۹۶	۱/۱۴	۱/۴۶	۲/۰۲
	۶ تا ۱۲	۱/۱۱	۱/۳۶	۲/۷۲	۱/۲۱	۱/۸۱	۲/۲۲	۱/۲۴	۱/۶۶	۲/۴۳	۱/۱۹	۱/۶۳	۲/۳۹
	۱۲ تا ۲۴	۱/۵۱	۱/۸۶	۱/۸۷	۱/۱۸	۱/۵۴	۱/۹۴	۱/۲۴	۱/۶۴	۲/۰۲	۱/۲	۱/۶۹	۲/۶
	بیش از ۲۴							۱/۲۸	۱/۷۲	۱/۶۴	۱/۲۸	۱/۶۸	۱/۷۸
	کل	۱/۱۷	۱/۶	۲/۷۲	۱/۱۸	۱/۷۱	۲/۹۴	۱/۲۲	۱/۶۵	۲/۵۷	۱/۲	۱/۶۳	۲/۳۷
زمان	۰ تا ۲	۱/۱	۲/۱۲	۱/۸۹	۱/۰۳	۱/۴	۲/۰۶	۱/۱۲	۱/۸۷	۴/۳۵	۱/۰۶	۱/۳۷	۲/۸۳
	۲ تا ۶	۱/۱۳	۱/۷۱	۲/۶۴	۱/۱۵	۱/۵۷	۲/۴۳	۱/۱۵	۱/۵۶	۲/۴۶	۱/۱۵	۱/۶۸	۲/۴۱
	۶ تا ۱۲	۱/۱۴	۱/۵۷	۲/۴۷	۱/۲۲	۱/۴۸	۲/۲۶	۱/۱۸	۱/۵۲	۲/۲۱	۱/۲	۱/۶	۲/۵۳
	۱۲ تا ۲۴	۱/۱۵	۱/۵۱	۲/۲۷	۱/۲۴	۱/۳۸	۲/۰۵	۱/۱۷	۱/۵۲	۲/۱۴	۱/۱۵	۱/۵۴	۲/۱
	بیش از ۲۴							۱/۱۲	۱/۳۲	۱/۵۵	۱/۱۲	۱/۳۹	۱/۸
	کل	۱/۱۶	۱/۶	۲/۶۱	۱/۱۹	۱/۶۲	۲/۵۹	۱/۱۷	۱/۵۸	۲/۳۳	۱/۱۷	۱/۶	۲/۳۴
همه رویدادها	۱/۱۶	۱/۶۴	۲/۷۳	۱/۱۷	۱/۶۴	۲/۶۶	۱/۱۷	۱/۶۵	۲/۴۶	۱/۱۷	۱/۶۲	۲/۴۴	

این است که منحنی هاف ۱۰٪ در ۲۵ درصد ابتدای بارش، بیشترین فاصله قائم را با منحنی هاف ۵۰٪

به طور کلی نتایج نشان داد مقدار شاخص S بیش از I و این دو نیز بیش از شاخص Q بود. مفهوم آن

۰ تا ۲۰ درصد، ۲۵ تا ۵۰ درصد، ۵۰ تا ۷۵ درصد و بیش از ۷۵ درصد) برای مقایسه الگوهای بارشی در نظر گرفت که این مهم جزو اهداف این مطالعه نیست و برای مطالعات بعدی توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری

با استفاده از شاخص‌های معرفی شده (S, I و Q)، تیپ الگوی رگبارها در هر منطقه مشخص می‌شود. این شاخص‌ها، ایده‌ای اولیه در تشخیص تیپ‌های مختلف رگبار به شمار می‌آیند؛ لیکن می‌توان نتیجه گرفت آنها که فاصله قائم بین دو منحنی هاف ۱۰ و ۵۰ درصد را در سه مقطع زمانی در نظر می‌گیرند، ممکن است مبنای مقایسه بین تیپ‌های مختلف رگبارها در ایستگاه‌های مختلف قرار گیرند. همچنین بدون بررسی دقیق الگوی ریزش بارش، هرگونه تصمیم‌گیری درباره طراحی سازه‌های آبی گمراه‌کننده است.

ویژگی مهم شاخص‌های معرفی شده در مطالعه فعلی، در این نکته نهفته است که این شاخص‌ها براساس مقادیر دو منحنی هاف با احتمالات متفاوت (۱۰ و ۵۰ درصد) تعریف شده‌اند؛ در حالی که در مطالعات پیشین با توجه به تنها منحنی ۵۰ درصد، معیار مقایسه تیپ رگبارها، درصد ریزش در چهار چارک زمانی مختلف است که فقط میانگینی از کل رگبارهای مشاهداتی یک ایستگاه را لحاظ می‌کند؛ اما در مطالعه فعلی با دخالت دادن منحنی هاف ۱۰ درصد (علاوه بر منحنی ۵۰ درصد)، میانگین کل رگبارهای مشاهداتی و به‌نوعی واریانس رگبارها نیز معیار تفکیک تیپ آنها قرار گرفته است. چه بسا مقدار درصد ریزش در ایستگاهی با ایستگاه دیگر در هر چهار

دارد. مقادیر کم به دست آمده برای شاخص Q نشان می‌دهد در چارک سوم زمانی، فاصله قائم بین منحنی هاف ۱۰٪ و ۵۰٪ به کمترین مقدار ممکن کاهش یافته است. تنها استثنا درباره بارش‌های کمتر از ۲ ساعت در زمستان برای ایستگاه عبدالخان بوده است که شاخص I بیش از شاخص S به دست آمد (۲/۰۲ در مقابل ۱/۸۹).

بر مبنای شکل (۴) (ردیف چهارم، ستون اول)، برای بازه زمانی یادشده، شکل منحنی‌های هاف ایستگاه عبدالخان (در فصل زمستان) با دیگر نمودارها متفاوت است. بازه تغییرات شاخص S از ۹/۶۳ (برای مدت دوام کمتر از ۲ ساعت در بهار و ایستگاه عبدالخان) تا ۱/۴۷ (برای بارش‌های ۱۲ تا ۲۴ ساعت فصل بهار در ایستگاه ایدنک) بود؛ در حالی که شاخص Q از ۱/۴۴ (برای بارش‌های ۶ تا ۱۲ ساعت در بهار و ایستگاه عبدالخان) تا ۱/۰۳ (برای بارش‌های با مدت دوام کمتر از ۲ ساعت در بهار و زمستان در ایستگاه اهواز و بهار در ایدنک) تغییر می‌کند. تغییرات مقدار شاخص I در بازه ۲/۱۲ (۰ تا ۲ ساعت در زمستان و در عبدالخان) تا ۱/۰۷ (۲ تا ۶ ساعت بهار اهواز) به دست آمد.

در این مطالعه برای مقایسه الگوی ریزش رگبارها بین ایستگاه‌های مختلف شاخص‌هایی تعریف شد که اساس و پایه آنها بازشدگی دو منحنی هاف ۵۰ و ۱۰ درصد در سه نقطه زمانی متفاوت بود. این سه نقطه شامل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد زمان تداوم رگبار بود. البته می‌توان در ادامه این مطالعه، به جای مقدار فاصله قائم (بازشدگی) دو منحنی هاف ۵۰ و ۱۰ درصد در ۳ زمان معین در طول بارش، سطح واقع بین دو منحنی یادشده را در ۴ بازه زمانی متمایز (برای نمونه

- Azli, M., Rao, R., (2010). **Development of Huff Curves for Peninsular Malaysia**, Journal of Hydrology, Vol 388, Pp 77-84.
- 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, Vol 86, Pp 122-131.
- Bezak, N., Šraj, M., Mikoš, M., (2016). **Copula-based IDF Curves and Empirical Rainfall Thresholds for Flash Floods and Rainfall-induced Landslides**, Journal of Hydrology, Vol 541, Pp 272-284.
- Bezak, N., Šraj, M., Rusjan, S., Mikoš, M., (2018). **Impact of the Rainfall Duration and Temporal Rainfall Distribution Defined Using the Huff Curves on the Hydraulic Flood Modelling Results**, Geosciences, Vol 2, No 8, 69 p; doi:10.3390/geosciences8020069.
- Bozorgzadeh, M., (1995). **Temporal Distribution of Rainfall Used for Design Flood**, Water and Development, Vol 1, No 3, Pp 35-49 (in Persian).
- 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, Vol 3 (Special Issue), Pp 17-23.
- Chuckwuma, G.O., Schwab, G.O., (1983). **Procedure for Developing Design Hyetographs for Small Watersheds**, Transactions of the ASAE, Vol 5, No 26, Pp 1386-1389.
- Dolšak, D., Bezak, N., Šraj, M., (2016). **Temporal Characteristics of Rainfall Events under Three Climate Types in Slovenia**, Journal of Hydrology, Vol 541, Pp 1395-1405.
- Eman, A., (2018). **Development of Synthetic Rainfall Distribution Curves for Sinai Area**, Ain Shams Engineering Journal, Vol 9, Pp 1949-1957

چارک زمانی کاملاً مشابه باشد، لیکن این درصدها در یک ایستگاه از رگباری به رگبار دیگر تفاوت زیادی داشته باشد؛ در این صورت روش مرسوم هاف یا SCS، تیپ رگبارهای این دو ایستگاه را مشابه هم قلمداد می‌کند؛ در حالی که در معیار معرفی‌شده در این مطالعه، تیپ رگبارهای این دو ایستگاه متفاوت خواهد بود.

منحنی‌های هاف و هیتوگراف‌های بارش طرح در تبدیل بارندگی به رواناب و طراحی ابعاد زهکش‌های سطحی و آبروها و سازه‌های کنترل سیلاب کاربرد دارند. برای تبدیل بارش به رواناب با استفاده از اصل پیچش، مقادیر بارش از حالت بی‌بعد با توجه به عمق کل بارش (در یک رویداد همزمان) به حالت بابعدها تبدیل می‌شود؛ آنگاه با استفاده از اصل پیچش و با توجه به عرض‌های هیدروگراف واحد با زمان معین (برای نمونه هیدروگراف واحد یک‌ساعته)، مقادیر دبی سیلاب ناشی از بارش به دست می‌آید.

تشکر و قدردانی

نگارندگان از نکات سازنده داوران مقاله و مدیر محترم مجله سپاسگزاری می‌کنند که باعث بهبود کیفیت این متن شد. از کارکنان محترم سازمان آب و برق استان خوزستان برای در اختیار قرار دادن داده‌های لازم صمیمانه قدردانی می‌شود.

منابع

- Awadallah, A. G., Younan, N.S., (2012). **Conservative Design Rainfall Distribution for Application in Arid Regions with Sparse Data**, Journal of Arid Environments, Vol 79, Pp 66-75.

- Kang, M.S., Koo, J.H., Chun, J.A., Her, Y.G., Park, S.W., Yoo, K., (2009). **Design of Drainage Culverts Considering Critical Storm Duration**, Biosystems Engineering, Vol 104, Pp 425-434.
- Kao, S.C., Govindaraju, R.S., (2007). **A Bivariate Frequency Analysis of Extreme Rainfall with Implications for Design**, Journal of Geophysical Research, Vol 112, d13119, doi: 10.1029/2007JD008522.
- Kao, S.C., Govindaraju, R.S., (2008). **Trivariate Statistical Analysis of Extreme Rainfall Events via the Plackett Family of Copulas**, Water Resources Research, Vol 44, w02415, doi:10.1029/2007WR006261.
- Keifer, C.J., Chu, H.H., (1957). **Synthetic Storm Pattern for Drainage Design**, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol 83 (HY4), Pp 1-25.
- Loukas, A., Quick, M.C., (1994). **Precipitation Distribution in Coastal British Columbia**, Water Resources Bulletin, Vol 4, No 30, Pp 705-727.
- Mollaie, A., Telvari, A., (2009). **Determination of Rainfall Temporal Pattern in Kohkiluyeh va Boyerahmad Province by Pilgrim Method**, Journal of Watershed Engineering and Management, Vol 1, No 2, Pp 70-78 (In Persian).
- SCS., (1986). **Urban Hydrology for Small Watersheds, Tech. Bul. 55**, Appendix B: B-1 and B-2.
- Shokri-Koochak, S., Radmanesh, F., Behnia, A.K., Akhond-Ali, A., (2011). **Rainfall Time-Distribution Pattern Determination (Case study: Idanak Rain Gage Recording Station)**, The First Natural of Conference of Meteorology and Agricultural Water Management (In Persian).
- Todisco, F., (2014). **The Internal Structure of Erosive and Non-erosive Storm Events for Interpretation of Erosive Processes and Rainfall Simulation**, Journal of Hydrology, Vol 519, Pp 3651-3663.
- Vernieuwe, H., Vandenbergh, S., De Baets, B., Verhoest, N., (2015). **A Continuous**
- Eskandari, A., (1996). **Determination the Type of Temporal Rainfall Distribution Using the χ^2 and Its Application in Iran Cities**, MSc Thesis, University of Sharif, I.R. Iran. (In Persian).
- Ewea, H.A., Elfeki, A.M., Bahrawi, J.A., (2016). **Sensitivity Analysis of Runoff Hydrographs Due to Temporal Rainfall Patterns in Makkah Al-Mukkramah Region, Saudi Arabia**, Arabian Journal of Geosciences, Vol 9, Pp 424-429.
- Ghassabi, Z., Kamali, G.A., Meshkati, A.H., Hajam, S., Javaheri, N., (2016). **Time Distribution of Heavy Rainfall Events in South West of Iran**, Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics, Vol 145, Pp 53-60.
- Golian, S., Saghafian, B., Maknoon, R., (2010). **Derivation of Probabilistic Thresholds of Spatially Distributed Rainfall for Flood Forecasting**, Water Resources Management, Vol 13, No 26, Pp 3547-3559.
- Hatami-Yazd, H., Taghvaei-Abrishami, A., Ghahraman, B., (2005). **Rainfall Temporal Pattern for Khorasan Province, Iran**, Iran-Water Resources Research, Vol 1, No 3, Pp 61-71 (In Persian).
- Hershfield, D.M., (1962). **Extreme Rainfall Relationship**, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol 88 (HY6), Pp 73-92.
- Huff, F.A., (1967). **Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms**, Water Resources Research, Vol 4, No 3, Pp 1007-1019.
- Huff, F.A., (1990). **Time Distribution of Heavy Rainstorms in Illinois**, Illinois State Water Survey, Champaign, Circular, 173 p.
- 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, Vol 142, Pp 41-52.

Research for Risk Assessment, Vol 20, Pp 171-183.

Yazdi, J., Choi, H.S., Kim, J.H., (2016). **A Methodology for Optimal Operation of Pumping Stations in Urban Drainage Systems**, Journal of Hydro-environment Research, Vol 11, Pp 101-112.

Yen, B.C., Chow, V.T., (1980). **Design Hyetographs for Small Drainage Structures**, Journal Hydraulic Division, ASCE, Vol 106 (HY6), Pp 1055-1076.

Rainfall Model Based on Vine Copulas, Hydrology & Earth System Sciences, Vol 19, Pp 2685–2699.

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, Vol 141, Pp 56-65.

Wu, S.J., Yang, J.C., Tung, Y.K., (2006). **Identification and Stochastic Generation of Representative Rainfall Temporal Patterns in Hong Kong Territory**, Journal of Stochastic Environmental