

## تحلیل رگبارهای حوضه سد کرخه و استخراج هیتوگراف طرح به روش هاف

عصمت السادات علوی\*<sup>۱</sup>، یعقوب دین پژوه<sup>۲</sup>، اسماعیل اسدی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۷/۰۱ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۹/۲۵

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه آب دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

۲- دانشیار، گروه آب دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

۳- استادیار، گروه آب دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

\* مسئول مکاتبات [esmat.s.alavi@gmail.com](mailto:esmat.s.alavi@gmail.com)

### چکیده

تهیه هیتوگراف طرح در تعیین دقیق ابعاد شبکه‌های زهکش‌های شهری مهم است. یکی از مسائل مهم مرتبط با سیلاب‌ها، انتقال آب ناشی از آن بدون آسیب زدن به تأسیسات، مزارع، مناطق مسکونی و... است. این کار مستلزم تخمین دقیق مقدار سیل و سپس ابعاد مجاری آبروها، پل‌ها، دیواره سیل‌بند، کالورت و ... می‌باشد. هدف این تحقیق، رسم منحنی‌های هاف و هیتوگراف رگبار در شش ایستگاه در حوضه بالادست سد کرخه است. برای رسم منحنی‌های هاف از داده‌های باران‌نگار ثبات در ایستگاه‌های کامیاران، آبدانان، دره‌شهر، آران، کرد و کرمانشاه استفاده شد. برای این منظور، تعداد ۱۱۹۱ رگبار ثبت شده، در فصول مختلف و در ۵ کلاس زمانی دسته‌بندی گردید. منحنی‌های هاف با استفاده از اطلاعات مذکور برای هر دسته، در هر فصل، رسم گردید. همچنین، رویدادهای هر دسته در یک فصل مشخص در یک گروه کلی ادغام و منحنی هاف هر کدام رسم گردید. به منظور مقایسه توزیع زمانی بارش ایستگاه‌های مختلف، سه شاخص جدید  $S$ ،  $I$  و  $Q$  تعریف گردید که هر کدام به ترتیب، نسبت بارش جمع‌ی رسیده به ترتیب، در ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد مدت زمان بارش قرائت شده از منحنی هاف ۱۰٪ به مقدار نظیر در منحنی ۵۰٪ تعریف گردید. نتایج نشان داد، تقریباً در همه ایستگاه‌ها، مقدار کمیت شاخص  $S$  بیشتر از  $I$  و هر دو، بیش از شاخص  $Q$  بود. در ادامه، برای هر منحنی هاف، هیتوگراف رگبار طرح با استفاده از منحنی احتمال ۵۰٪ استخراج شد. نتایج این مطالعه در مدیریت آب‌های سطحی در حوضه مورد مطالعه کاربرد دارد.

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

## Analysis of storms of Karkheh dam basin and extraction of design hyetographs using the Huff method

Esmat Sadat Alavi<sup>1</sup>, Yagob Dinpashoh<sup>2</sup>, Esmaeel Asadi<sup>3</sup>

Received: August 23, 2017 Accepted: December 16, 2018

<sup>1</sup>Ph.D student of Water Recourses Engineering, Department of Water Eng., Faculty of Agriculture, University of Tabriz.

<sup>2</sup>Associate Professor, Department of Department of Water Eng., Faculty of Agriculture, University of Tabriz.

<sup>3</sup>Assistant Professor, Department of Department of Water Eng., Faculty of Agriculture, University of Tabriz.

### Abstract

Providing design hyetograph is an important issue in accurate determination of urban drainage networks. One of the important relevant problems of floods, is its safe transmittion without any damage to facilities, farms, habitat buildings and so on. This needs accurate determination of flood quantity and then dimensions of water pass ways, bridges, flash walls, culverts, and so on. The aim of this research is plotting the Huff curves and design storm hyetographs in the six selected stations in upstream of Karkheh dam watershed. In order to design of Huff curves, the recorded date of Kamiaran, Abdanan, Darreh-shahr, Kernal, and Kermanshah were used. For this purpose, the 1191 recorded storms classified in different seasons and in five classes of rainfall durations. The Huff curves were illustrated using the mentioned information for each of the classes as well as the seasons. Furthermore, all the events in a given class and season merged in a universal distinct class and then their Huff curves were plotted too. In order to possibility of comparison of temporal distribution of rainfalls in stations, three new indices denoted by S, I, and Q were defined, each of them shows the ratio of cumulative rain depths received in 25, 50 and 75 percentages of storm durations extracted from the 10 percent Huff curves to the corresponding values obtained from the 50 percent Huff curve. Results showed that nearly in all the stations the quantity of S-index was greater than I-index, and both of them were greater than Q-index. Results of this study have practical application in surface water management in the watershed area.

**Keywords:** Design Hyetograph, Design storm, Design flood, Huff curve, Temporal distribution of rainfall

### مقدمه

ساعته استخراج کرد. هاف (۱۹۶۷) تعداد ۲۶۱ رگبار ثبت شده در ۱۱ سال را در ایالت ایلینویز، در ۴۹ ایستگاه باران‌سنجی ثبات مطالعه نمود. بعدها هاف (۱۹۹۰) پیشنهاد کرد که نوع چارک رگبارها تعیین و بر این اساس تقسیم‌بندی گردند به عبارت بهتر، بیشترین درصد عمق بارش که در یکی از چارک‌های زمانی رگبار رخ می‌دهد، مشخص گردد و در هر ایستگاه نوع چارک، مبنای طبقه‌بندی قرار گیرد. سپس برای هر دسته، نمودارهای احتمال تجربی بی‌بعد تجمعی بارش رسم گردد. ین و چاو (۱۹۸۰) ۲۵۰ هزار رگبار ثبت شده در ایالات متحده را با روش هیئوگراف مثلثی تحلیل نمود. چاکوما و شوآب (۱۹۸۳) ۴۵۴ رگبار در ایالت اوهایو را با روش هاف تحلیل

الگوی رگبار، در بهره‌برداری صحیح از منابع آب، بخصوص نواحی خشک و نیمه‌خشک ایران، ضروری است. تعیین الگوی توزیع عمق بارش در مدت دوام آن سابقه طولانی دارد و محققین مطالعات زیادی را در نواحی مختلف جهان انجام داده‌اند. کيفر و چو (۱۹۷۵) با استفاده از متوسط شدت بارش و زمان تداوم و ضریب وزنی نسبت زمان اوج به کل زمان تداوم بارش اقدام به تهیه هیئوگراف مصنوعی در امریکا نمودند. هرشفیلد (۱۹۶۲) روش میانگین ترسیمی را معرفی و ۴۰۰ طوفان باران‌زا را از ۵۰ ایستگاه هواشناسی در ایالات متحده برگزید و هیئوگراف بارش طرح را با دوام‌های ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴

کردند. در این روش، رگبارها به سه تیپ پیشرو، میانی و تأخیری تقسیم شدند. دفتر حفاظت خاک ایالات متحده SCS (۱۹۸۶) با کمک اطلاعات باران‌نگارها الگوی تیپ ۶ و ۲۴ ساعته برای شرایط جغرافیایی و اقلیمی مختلف آمریکا ارائه داده و نقشه‌های مربوطه به آن را برای امریکای شمالی رسم کردند. نتایج نشان داد که این نمودارها برای دیگر نقاط نیز قابل استفاده است. الگوهای احتمالاتی توزیع زمانی بارش توسط لوکاس و کوئیک (۱۹۹۴) در جنوب غرب بریتیش کلمبیا مطالعه شد. وو و همکاران (۲۰۰۶) نیز مطالعه مشابهی در هنگ‌کنگ با استفاده از اطلاعات ۱۶ ایستگاه و ۸۲۸۹ رگبار انجام دادند و در نهایت، الگوی معرف توزیع زمانی بارندگی در هنگ‌کنگ را به تفکیک مدت بارش، عمق و فصل بارش ارائه نمودند و نتیجه گرفتند که الگوها مستقل از موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها می‌باشد. کائو و گوانداراجو (۲۰۰۷ و ۲۰۰۸) و ورنیو و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از روش مفصل، مدل‌های احتمالاتی چند بعدی از توزیع‌های بارش را بدست آوردند. عزلی و رائو (۲۰۱۰) برای شبه‌جزیره مالزی، منحنی‌های هاف ۱۳ ایستگاه (کلاً ۵۸۰۰ رویداد) را رسم و الگوی بارش طرح را استخراج کردند. افزون بر این، در مطالعات مختلف مانند کانگ و همکاران (۲۰۰۹)، گلیان و همکاران (۲۰۱۰)، آوادلاه و یونان (۲۰۱۲)، تودیسکو (۲۰۱۴)، وانگ و همکاران (۲۰۱۶)، یزدی و همکاران (۲۰۱۶)، بئک و همکاران (۲۰۱۵)، جیانگ و همکاران (۲۰۱۶) و بیزاک و همکاران (۲۰۱۶) از روش هاف استفاده کردند. بوستامی و همکاران (۲۰۱۲) رگبارهای هفت ایستگاه هواشناسی را در سارواک اندونزی برای تداوم‌های مختلف بارش تحلیل نمودند. دولساک و همکاران (۲۰۱۶) نیز رگبارهای ۳۰ ایستگاه کشور اسلوانی را به روش هاف مدل کردند. الگوی زمانی بارش شهر مکه در عربستان سعودی توسط ایوا و همکاران (۲۰۱۶) بررسی شد. در ایران نیز مطالعات پراکنده‌ای در زمینه توزیع زمانی رگبارها انجام شده است، در ادامه به تعدادی از تحقیقات انجام یافته در مورد

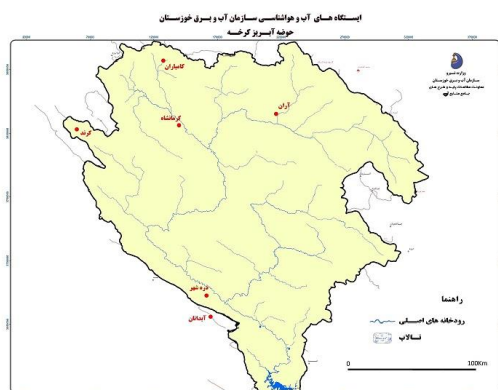
توزیع زمانی بارش در ایران اشاره می‌شود. بزرگ‌زاده (۱۹۹۵) الگوی بارش‌های ۲۴ ساعته شمال کشور را مطالعه نمود. او دریافت که رگبارها عموماً تیپ I یا IV (براساس تقسیم‌بندی SCS) می‌باشند. اسکندری (۱۹۹۶) با روش پیلگریم و آزمون آماری  $\chi^2$  الگوی توزیع زمانی بارش ایستگاه همدید مهرآباد را مطالعه کرد. گلکار (۲۰۰۷) برای تداوم‌های مختلف بارش در شهرهای بم، تهران، شیراز و گرگان روش هاف را به کار برد و نتیجه گرفت که به جز الگوی بارش‌های ۴۸ ساعته تهران، دیگر الگوهای این شهرها به‌همدیگر شباهت نداشته و باید به تفکیک از هم استفاده شوند. قصابی و همکاران (۲۰۱۶) ۳۵ رگبار مولد سیلاب‌های بزرگ را در سال‌های اخیر در ناحیه جنوب غرب ایران به روش SCS تحلیل کردند. به طوری که از پیشینه تحقیق می‌توان استنباط کرد، برای مقایسه الگوی رگبارهای ایستگاه‌ها از میزان درصد ریزش رگبار در چارک‌های مختلف استفاده شده است و اکثر مطالعات قبلی ریزش رگبارها را با الگوهای از پیش تعیین شده‌ی سرویس حفاظت خاک امریکا SCS مقایسه می‌کنند، که این روش فقط نمودار هاف ۵۰ درصد را ملاک تفکیک چارک‌ها قرار می‌دهد. در این مطالعه تلاش شده است که با توجه به فاصله قائم منحنی‌های هاف ۱۰ و ۵۰ درصد، در انتهای چارک‌های اول، دوم و سوم، برای مقایسه الگوی ریزش‌ها شاخص‌های جدید ابداع شود. شرح این شاخص‌ها در بخش بعدی آمده است. هدف این تحقیق رسم و تحلیل منحنی‌های هاف و هیتوگراف رگبار طرح در شش ایستگاه واقع در حوضه بالادست سد کرخه شامل آبدانان، آران، دره‌شهر، کامیاران، کرمانشاه و کرد می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

##### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، بخشی از حوضه آبریز رودخانه کرخه، در بالادست سد کرخه، شامل بخش‌هایی از استان‌های ایلام، کرمانشاه، کردستان، لرستان و همدان می‌باشد. این محدوده بین طول‌های جغرافیایی ۴۶ درجه

انتخاب شد. میانگین بارش در حوضه کرخه ۵۳۹ میلیمتر با دامنه نوسان ۳۰۰ تا نزدیک ۱۰۰۰ میلیمتر گزارش شده است. میانگین دما برای این ناحیه از ۱۰ تا ۲۴ درجه سانتیگراد در ایستگاه‌های مختلف گزارش شده است (جهانبخش و همکاران ۲۰۱۰).



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های منتخب

بارش در بهار و در کرمانشاه در پاییز ثبت شده است. در تمام ایستگاه‌ها بیشترین تعداد رگبار ثبت شده متعلق به کلاس زمانی ۲-۶ و یا ۶-۱۲ ساعت است. بیشترین رگبار ثبت شده متعلق به ایستگاه کامیاران و کمترین آن متعلق به ایستگاه کردستان می‌باشد. تعداد کل رگبارهای مورد مطالعه ۱۱۹۱ رویداد است. طبق روشی که در ادامه ذکر خواهد شد، برای تمام کلاس‌های زمانی مختلف، به شرط وجود بیش از ۵ رگبار (با شرایط ذکر شده) منحنی‌های هاف ترسیم شد. علت آن این است که نتایج حاصل از تحلیل اطلاعات با داده‌های کمتر از قابلیت اعتماد خوبی برخوردار نیست. تمام این ایستگاه‌ها در منطقه کوهستانی ایران قرار گرفته و تقریباً آب و هوایی مشابه یکدیگر دارند. میانگین بارندگی در حوضه آبریز کرخه از حدود ۱۵۰ میلیمتر در سال در مناطق جنوبی تا فراتر از ۱۰۰۰ میلیمتر در سال در ارتفاعات شمالی و مناطق شرقی کرخه تغییر می‌نماید و رژیم بارش آن مدیترانه‌ای است (ظهرابی و همکاران ۱۳۹۵).

و ۴ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۸ دقیقه شمالی قرار دارد. شکل ۱ نقشه منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. شش ایستگاه با مشخصات ذکر شده در جدول ۱ برای مطالعه حاضر

جدول ۱ - مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

دوره آماری	ارتفاع (m)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	استان	ایستگاه
۱۳۶۹-۸۱	۷۱۰	۴۸-۲۲-۴۷	۴۳-۰۸-۳۳	ایلام	دره شهر
۱۳۷۱-۸۰	۹۰۰	۴۸-۲۴-۴۸	۳۱-۵۹-۳۲	ایلام	آبدانان
۱۳۶۳-۸۳	۱۴۱۵	۰۰-۵۳-۴۶	۰۰-۴۷-۳۴	کردستان	کامیاران
۱۳۷۱-۸۳	۱۸۳	۱۰-۲۴-۴۹	۰۱-۲۴-۳۳	لرستان	آران
۱۳۷۰-۸۰	۲۰۴۸	۱۹-۱۵-۴۶	۲۹-۱۷-۳۴	کرمانشاه	کرد
۱۳۵۰-۸۲	۱۳۴۰	۰۰-۰۴-۴۷	۰۰-۱۹-۳۴	کرمانشاه	کرمانشاه

#### داده‌ها

داده‌های مربوط به ایستگاه‌های مورد مطالعه از مقادیر بارش رسیده در هر رویداد در فواصل زمانی مشخص در نظر گرفته شدند. در این مطالعه، رویدادهایی انتخاب شدند که حداقل عمق بارش آن ۳ میلیمتر بوده و نیز مدت دوام آن حداقل ۲۰ دقیقه بود. بارش‌هایی که فاصله زمانی بین خاتمه بارش تا آغاز بارش بعدی کمتر از یک‌پنجم زمان هر یک از بارش‌ها بود باهم تلفیق و به‌عنوان یک رویداد منفرد در نظر گرفته شدند. رویدادها برای هر یک از فصول سال به طور مجزا در نظر گرفته شدند و براساس طول مدت بارش به ۵ دسته متمایز به‌شرح کمتر از ۲، ۲ تا ۶، ۶ تا ۱۲، ۱۲ تا ۲۴ و بیش از ۲۴ ساعت دسته‌بندی و از هم تفکیک شدند. جدول ۲ نتایج حاصل این تفکیک را برای هر یک از ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که از جدول مشخص است، برای فصل تابستان رگبار ثبت شده‌ای وجود نداشت که این احتمالاً به دلیل موقعیت اقلیمی ایستگاه‌ها و عدم نزول باران در تابستان است. در هر چهار ایستگاه از مجموع ۶ ایستگاه بیشترین تعداد رگبار در فصل زمستان رخ داده است. در ایستگاه آران بیشترین

جدول ۲- تعداد رگبارهای مورد استفاده در مطالعه حاضر

ایستگاه	فصل	بازه زمانی مدت دوام بارش (ساعت)				مجموع
		۰ تا ۲	۲ تا ۶	۶ تا ۱۲	بیش از ۲۴	
دره شهر	بهار	۱۵	۲۰	۹	۶	۵۰
	پاییز	۹	۱۲	۱۴	۸	۴۵
	زمستان	۸	۲۱	۲۷	۱۹	۷۹
	کل	۳۲	۵۳	۵۰	۳۳	۱۷۴
آبدانان	بهار	۱۷	۱۷	۱۷	۷	۶۰
	پاییز	۸	۱۲	۱۸	۱۲	۵۳
	زمستان	۶	۲۵	۳۲	۲۴	۹۶
	کل	۳۱	۵۴	۶۷	۴۳	۲۰۹
کامیاران	بهار	۲۲	۴۹	۳۳	۱۳	۱۱۸
	پاییز	۹	۲۷	۵۲	۳۴	۱۲۵
	زمستان	۰	۲۹	۶۹	۶۲	۱۶۹
	کل	۳۱	۱۰۵	۱۵۴	۱۰۹	۴۱۲
آران	بهار	۹	۲۸	۱۶	۳	۵۶
	پاییز	۴	۹	۱۴	۹	۳۹
	زمستان	۱	۱۶	۲۰	۱۶	۵۴
	کل	۱۴	۵۴	۵۰	۲۸	۱۴۹
کرد	بهار	۹	۱۵	۷	۲	۳۴
	پاییز	۳	۱۰	۷	۴	۲۵
	زمستان	۱	۱۴	۲۱	۱۱	۴۸
	کل	۱۳	۳۹	۳۵	۱۷	۱۰۷
کرمانشاه	بهار	۳	۱۴	۱۰	۶	۳۳
	پاییز	۹	۱۶	۲۳	۱۱	۶۰
	زمستان	۳	۱۰	۱۹	۱۳	۴۷
	کل	۱۵	۴۰	۵۲	۳۰	۱۴۰

$$\%P_i = \frac{r_i}{R_t} \times 100 \quad [1]$$

که در آن  $\%P_i$  درصد بارش تجمعی رسیده به زمین تا انتهای بازه زمانی  $i$ ام ( $n$  و ... و ۲ و ۱) می باشد. 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 مطابق جدول ۳ به

### روش مورد مطالعه

در هر ایستگاه برای رویداد  $n_j$  بازه زمانی وجود دارد که در واقع 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  $i$ ام با  $r_i$  نشان داده شود، درصد بارش تجمعی رسیده به زمین تا انتهای بازه زمانی مربوطه برای این رویداد از رابطه ۱ تخمین زده شد:

زمانی ۱۰ الی ۱۰۰ درصد (با گام‌های ۱۰ درصد) نشان می‌دهد.

جدول ۴- 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

گام زمانی مربوط به رویداد  $a$  می‌باشد. مثلاً  $\%P_{35}$  درصد تجمعی بارش رسیده به زمین برای رویداد شماره سوم در انتهای گام زمانی پنجم است.

دست آمد. جدول ۴، برای هر رویداد، درصد عمق بارش رسیده به زمین را به صورت تجمعی برای درصدهای جدول ۳- 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

مطابق جدول ۵ مقادیر بارش رسیده بر زمین برای کل رگبارها محاسبه می‌شود. در این جدول، درصد بارش‌های تجمعی با دو اندیس مانند  $\%P_{ak}$  مشخص شده‌اند که در آن  $a$  شماره رویداد (از ۱ تا  $l$ ) و  $k$  شماره

جدول ۵- مقادیر درصد بارش رسیده به زمین در یک ایستگاه معین برای همه رگبارهای منتخب

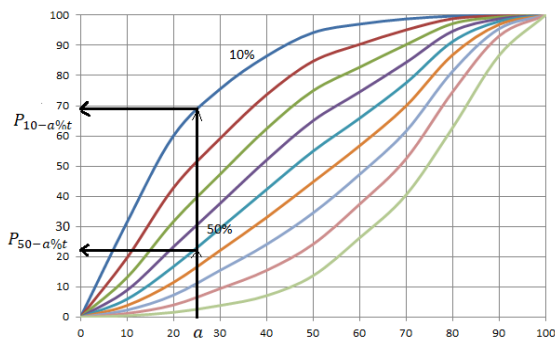
(۱)	(۲)	(۳)	(...)	(k+1)	(...)	(۱۱)
رویداد	۱۰	۲۰	...	$\%t_k$	...	۱۰۰
۱	$\%P_{11}$	$\%P_{12}$	...	$\%P_{1k}$	...	۱۰۰
۲	$\%P_{21}$	$\%P_{22}$	...	$\%P_{2k}$	...	۱۰۰
...	...	...	...	...	...	...
$l$	$\%P_{l1}$	$\%P_{l2}$	...	$\%P_{lk}$	...	۱۰۰

پارامترهای توزیع متفاوت باشد). به این ترتیب، ۹ نقطه برای منحنی احتمال کمتری ده درصد (ستون دوم تا دهم) متناظر با درصد گام زمانی نظیر ۱۰، ۲۰، ... و ۹۰ درصد به دست آمد. با وصل نقاط پایینی به همدیگر، منحنی‌های احتمال کمتری ده درصد برای نمودار هاف حاصل شد. به همین ترتیب، برای منحنی‌های احتمالاتی ۲۰، ۳۰، ... و ۹۰ درصد، به ترتیب، با قرار دادن مقادیر ۰/۲، ۰/۳، ... و ۰/۹ به جای  $F$  در تابع مربوطه، مقدار چندک برای آنها به دست آمد و به طور مشابه منحنی‌های مذکور (نه منحنی) در یک دیاگرام رسم شدند (مشابه شکل ۲). با توجه به این نمودارها می‌توان درصد تراکمی ریزش رگبار به ازای  $a$

بهترین توزیع آماری برای هر یک از ستون‌های دوم تا دهم جدول ۵، تعیین و تابع کوانتایل مربوطه در نظر گرفته شد و به ازای درصد احتمالات کمتری<sup>۱</sup> متفاوت (در اینجا ۱۰ تا ۹۰ درصد با گام‌های مساوی ۱۰ درصد) رسم گردید. برای این کار، مثلاً در تابع کوانتایل مربوط به ستون ۲ از جدول ۴ به جای احتمال کمتری یا  $F$  عدد ۰/۱ قرار داده و مقدار چندک (درصد بارش تجمعی رسیده به زمین) نظیر آن محاسبه شد. همین کار، در مورد ستون‌های سوم، چهارم، ... تا دهم جدول ۴ نیز تکرار گردید. لازم به اشاره است که تابع کوانتایل هر ستون می‌تواند با ستون‌های دیگر متفاوت باشد (یا حداقل

<sup>1</sup> Non-Exceedance Probability

مربوطه مطابق شکل ۲ استفاده شد. با استفاده از مقادیر این شاخص‌ها می‌توان نوع الگوی ریزش بارش یک ایستگاه را از بقیه تمییز داد. به طوری که برای مثال، دو ایستگاه چنانچه دارای شاخص S مشابه باشند الگوی ریزش آن یکسان است اما مقادیر کم شاخص S نشان دهنده این واقعیت است که اختلاف عمق ریزش رگبارها، به صورت بی‌بعد از رگباری به رگبار دیگر ناچیز است. برعکس مقادیر بزرگ S نشان دهنده این واقعیت است که واریانس عمق بارش بی‌بعد بین رگبارهای ثبت شده زیاد می‌باشد.



شکل ۲- منحنی‌های هاف شماتیکی برای استخراج مقادیر  $P_{10-a\%t}$ ، بازای  $a=25, 50, 75$  درصد.

### نتایج و بحث

منحنی‌های هاف در ایستگاه کامیاران، به تفکیک فصل، در حالت کلی و تداوم زمانی مختلف در شکل ۳ ارائه شده است. شکل ۴ نیز هیتوگراف‌های بارش طرح را برای احتمال ۵۰ درصد در ایستگاه کامیاران نشان می‌دهد. لازم به یادآوری است که مشابه این هیتوگراف‌ها برای ایستگاه‌های دیگر نیز تهیه شده ولی نشان داده نشده است.

درصد از ابتدای بارش برای شرایط میانگین از روی منحنی ۵۰٪ قرائت نمود و نیز برای شرایط حدی می‌توان از روی منحنی‌های ۹۰ و ۱۰٪ رقم مشابه را استخراج کرد. این امر در شکل مذکور توسط پیکان نشان داده شده است. مقادیر درصد‌های تراکمی بارش با توجه به منحنی ۵۰٪ برای فواصل زمانی ۱۰ درصد از ابتدای شروع رگبار قرائت شد. سپس با کم کردن دو مقدار متوالی از هم درصد‌های جزئی بارش به دست آمد که هیتوگراف بارش طرح با احتمال وقوع ۵۰ درصد رسم گردید.

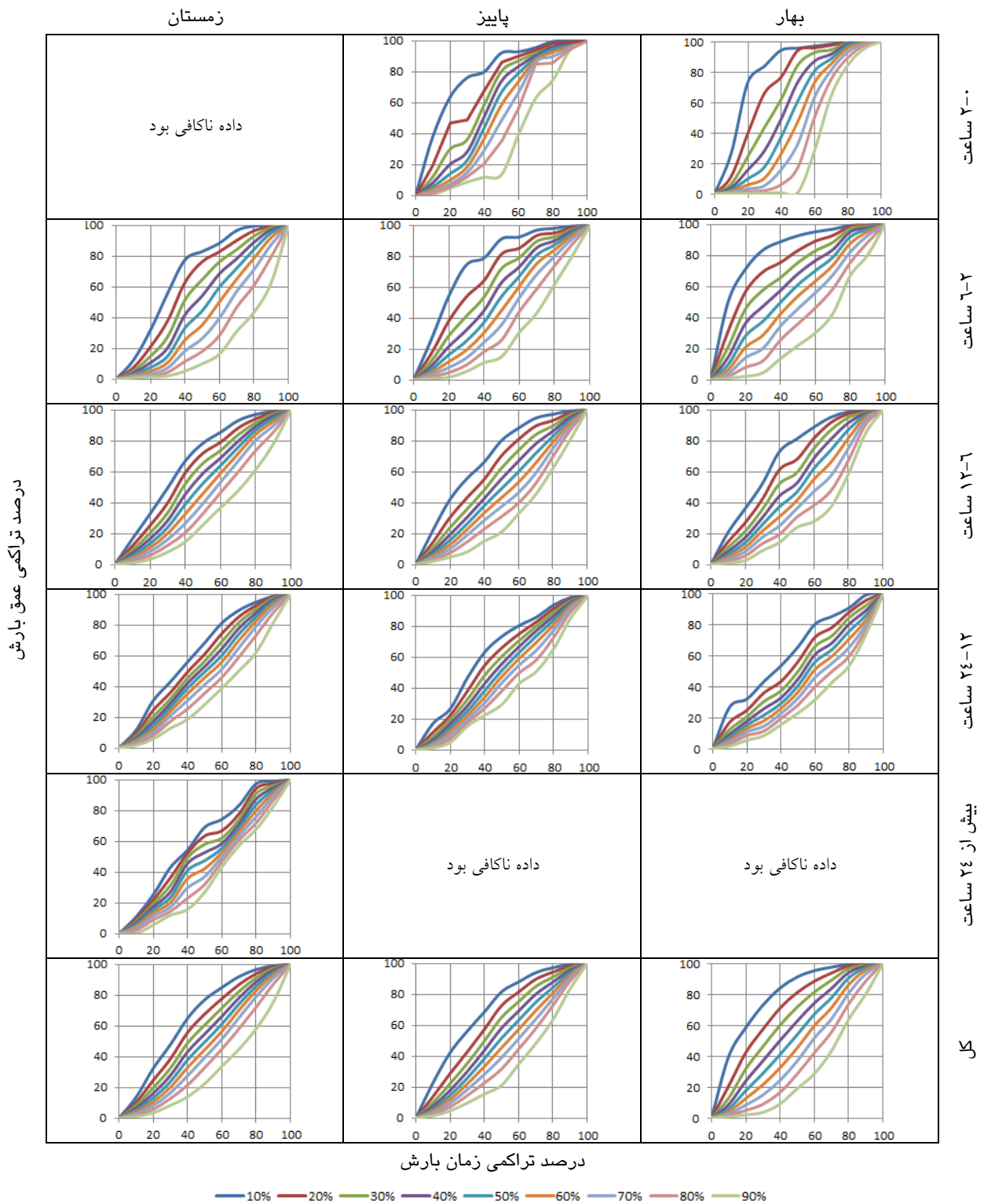
برای ایستگاه‌های باران‌سنج ثبات (چهار ایستگاه)، در هر دسته فصلی و هر کلاس زمانی (مربوط به مدت دوام بارش)، هیتوگراف توزیع بارش بی‌بعد با درصد احتمال ۵۰ درصد رسم شد. این نمودار، الگوی ریزش رگبار را به طور میانگین برای ایستگاه معین، در فصل مشخص و دسته زمانی مربوط به مدت دوام بارش معلوم نشان می‌دهد. سه شاخص جدید S و 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.

$$S = \frac{P_{10-25\%t}}{P_{50-25\%t}} \quad [۳]$$

$$I = \frac{P_{10-50\%t}}{P_{50-50\%t}} \quad [۴]$$

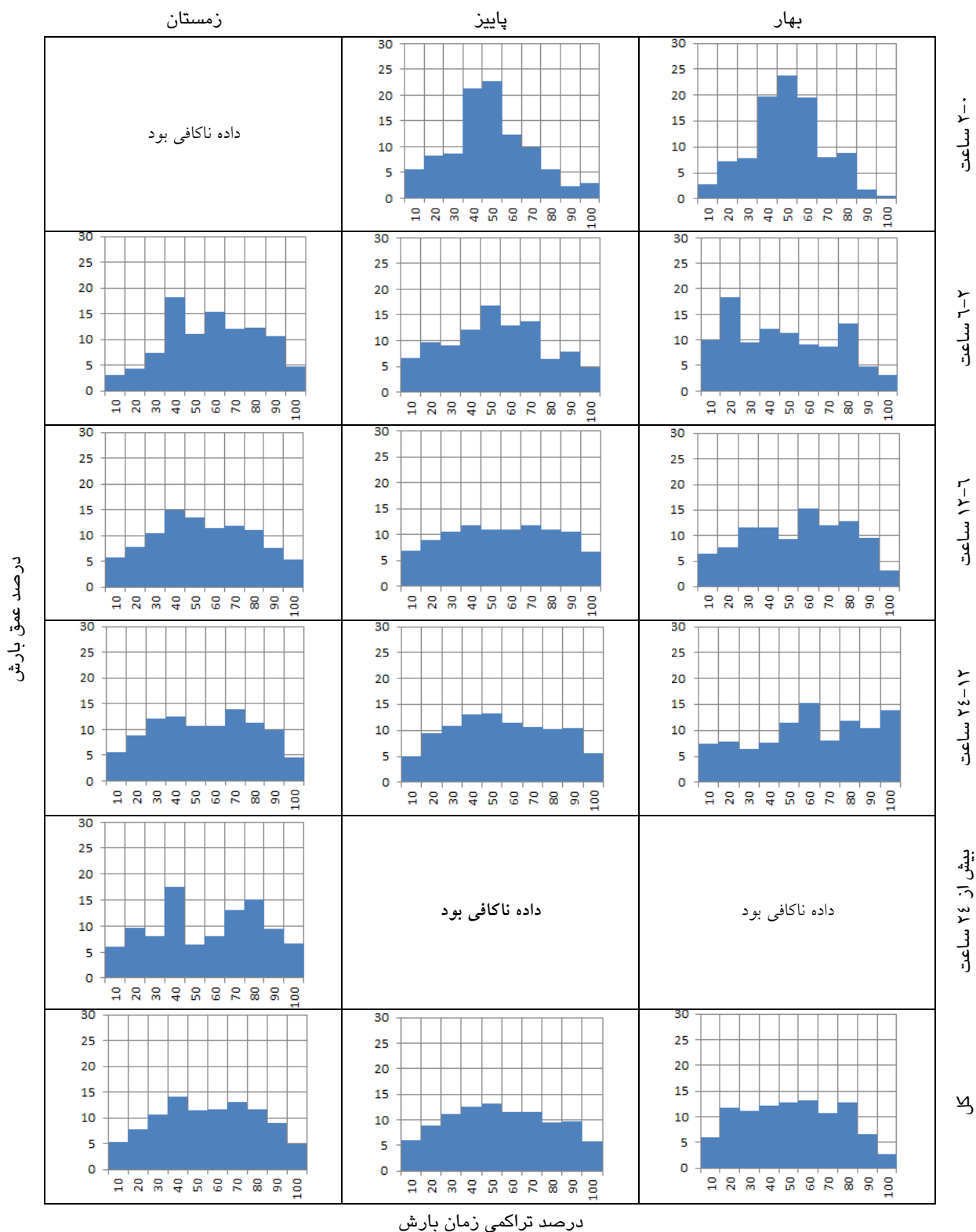
$$Q = \frac{P_{10-75\%t}}{P_{50-75\%t}} \quad [۵]$$

که در این روابط  $P_{10-a\%t}$  میزان بارندگی تجمعی قرائت شده 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



شکل ۳- منحنی‌های هاف در فصول مختلف (بجز تابستان) و کلاس‌های مختلف دوام بارش در ایستگاه کامیاران





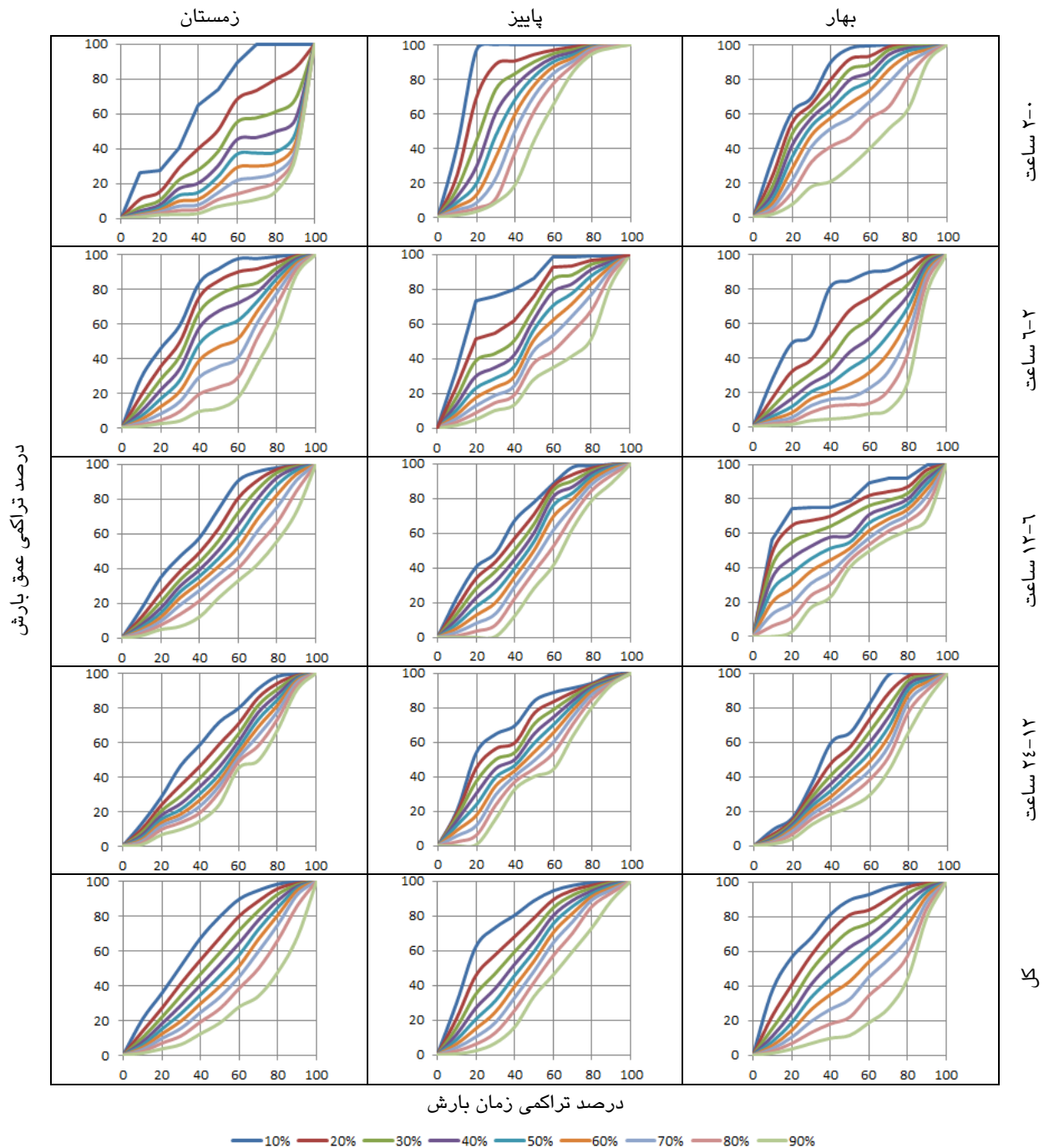
شکل ۴- هیئوگراف‌های بارش طرح با احتمال ۵۰ درصد برای فصول مختلف سال و کلاس‌های مختلف مدت دوام بارش در ایستگاه کامیاران

و زمان‌های تداوم مختلف نشان می‌دهد. مشابه این شکل برای همه ایستگاه‌های منتخب تهیه شد که برای رعایت

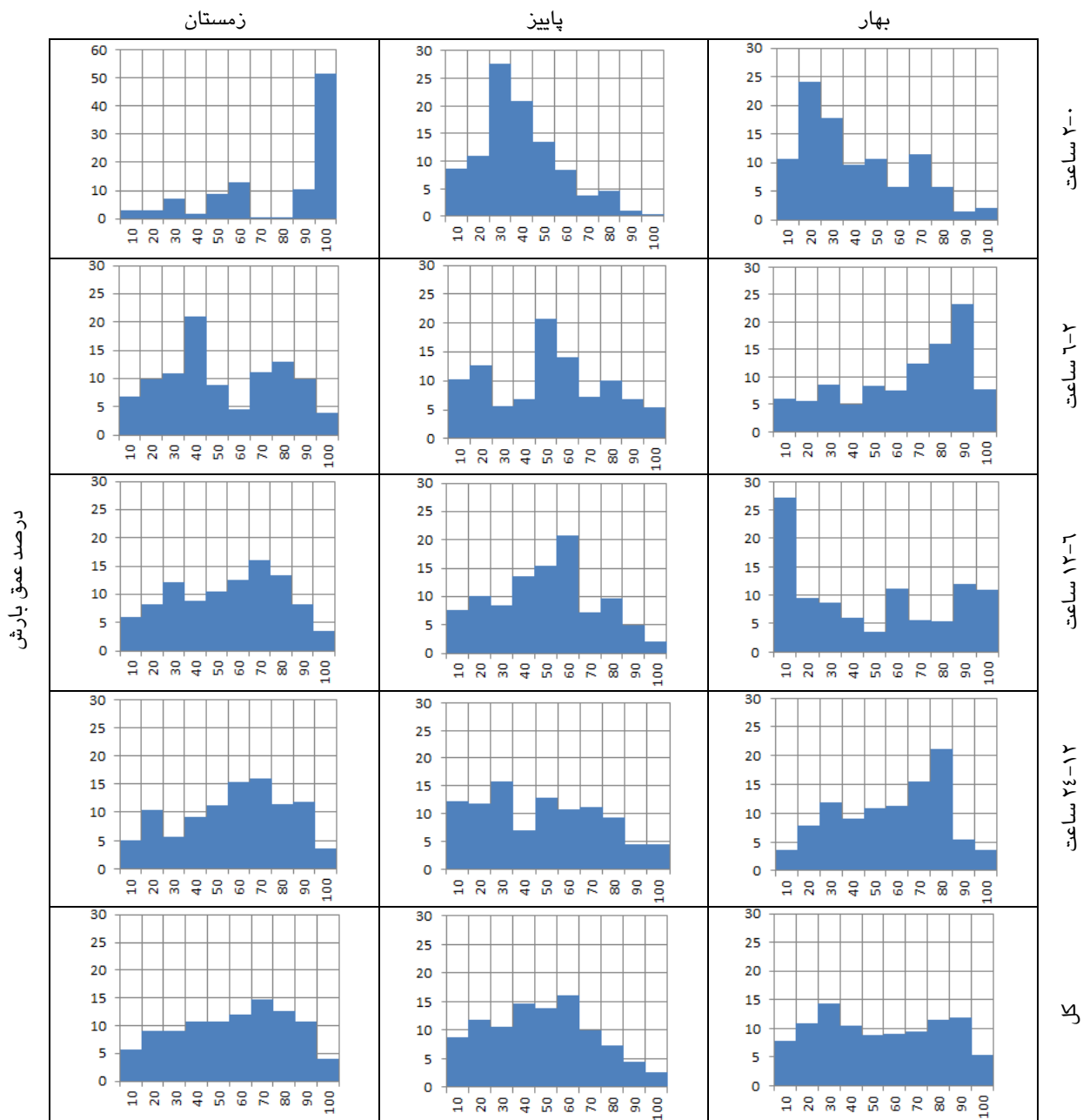
در شکل ۵ منحنی‌های هاف را در ایستگاه دره‌شهر، به تفکیک فصل، به حالت کلی (کل رگبارها در یک ایستگاه)

هیتوگراف‌ها برای ایستگاه‌های دیگر نیز تهیه شده ولی برای رعایت اختصار نشان داده نشده است.

اختصار نشان داده نشده است. شکل ۶ نیز هیتوگراف‌های بارش طرح را برای احتمال ۵۰ درصد در ایستگاه دره‌شهر نشان می‌دهد. لازم به یادآوری است که مشابه این



شکل ۵- منحنی‌های هاف در فصول مختلف (بجز تابستان) و کلاس‌های مختلف دوام بارش در ایستگاه دره‌شهر



درصد تراکمی زمان بارش

شکل ۶- هیتوگرافهای بارش طرح با احتمال ۵۰ درصد برای فصول مختلف سال و کلاسهای مختلف مدت دوام بارش در ایستگاه دره شهر

غیریکنواخت بوده و هیتوگرافها در بازه‌های زمانی ۱۰ درصد تا ۲۵ درصد بارش را نیز دریافت می‌کنند. در حالی که در فصل زمستان بارش‌های کوتاه مدت کاهش یافته و رویدادهای بلندمدت نیز حالت یکنواخت‌تری دارند. بارش‌های کمتر از ۲ ساعت زمستان دره شهر متفاوت با دیگر رویدادها، در آخرین بازه ده درصدی از زمان بارش،

با توجه به این نمودارها، می‌توان نتیجه گرفت که در هر شش ایستگاه، بارش‌ها از حالت غیریکنواخت و دارای چولگی در بارش‌های کوتاه مدت، به حالت تقریباً یکنواخت در بارش‌های طولانی مدت تغییر شکل داده‌اند. در این ایستگاه‌ها بارش‌ها در فصل بهار مدت کوتاه‌تری داشته و رگباری هستند. در این فصل بارش‌ها دارای حالت

چهارک سوم زمان میل می‌کند. گرچه در منطقه مورد مطالعه آنان، اثر از استهلاک میزان اوج و میل به سمت یکنواختی بارش نیست.

شاخص‌های S و I و Q برای شناسایی شکل نمودارهای هاف در کنار هم تعریف شده‌اند. این شاخص‌ها بازشدگی باند قرارگیری نمودار هاف ۱۰٪ را نسبت به نمودار نظیر ۵۰٪ در مقاطع زمانی ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد زمانی نشان می‌دهد. مقادیر این شاخص‌ها به تفکیک فصل و کلاس زمانی بارش برای هر ایستگاه در جدول ۶ آمده است. به طور کلی، نتایج نشان داد که مقدار شاخص S بیشتر از I و این دو نیز بیش از شاخص Q بود. مفهوم آن این است که منحنی هاف ۱۰٪ در ۲۵ درصد ابتدای بارش بیشترین فاصله قائم را با منحنی هاف ۵۰٪ دارد. مقادیر پایین به دست آمده برای شاخص Q نشان می‌دهد که در چارک سوم زمانی، فاصله قائم بین منحنی هاف ۱۰٪ و ۵۰٪ به کمترین مقدار ممکن تقلیل یافته است. تنها استثناء در مورد بارش‌های ۲-۶ و ۶-۱۲ ساعت در فصل پاییز برای ایستگاه آران بوده که شاخص I بیشتر از شاخص S به دست آمد. و همچنین در بارش‌های ۶-۱۲ ساعت فصل بهار کرمانشاه، شاخص Q بیش از I شد. بازه تغییرات شاخص S، از ۵/۶۷ برای مدت دوام کمتر از ۲ ساعت در فصل بهار کرمانشاه، تا ۱/۴۷ برای بارش‌های ۱۲ تا ۲۴ ساعت فصل پاییز در ایستگاه آران، بیشترین تغییرات را دارا بود. در حالی که شاخص Q، از ۲/۶۴ برای بارش‌های کمتر از ۲ ساعت در فصل بهار ایستگاه‌های آران و آبدانان تا ۱/۰۳ بارش‌های مدت دوام کمتر از ۲ ساعت در زمستان در ایستگاه دره‌شهر، کمترین بازه تغییرات را دارد. تغییرات مقدار شاخص I در بازه ۳/۰۹ (۰ تا ۲ ساعت در زمستان و در دره‌شهر) تا ۱/۱۹ (کمتر از ۲ ساعت پاییز آبدانان) بود. بازه تغییرات این سه شاخص در فصول مختلف و کلاس‌های زمانی متفاوت از روند خاصی پیروی نمی‌کرد.

بیش از نیمی از حجم رگبار به زمین رسیده است. در دیگر ایستگاه‌ها بارش‌های کوتاه‌مدت غالباً چارک دومی بوده، و بارش‌های میان‌مدت چارک سوم با کاهش تفاوت میان درصد چارک‌ها هستند. بارش‌های بلندمدت ۱۲ تا ۲۴ ساعت و بیش از ۲۴ ساعت در صورت وجود بیشتر یکنواخت هستند. سرعت این یکنواخت شدن در فصل زمستان بیشتر از پاییز و در بهار از دو فصل دیگر کندتر است. حالت کلی هر فصل به دلیل ایجاد برآیند بین این بارش‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت، به شکل یکنواخت در آمده است. ایستگاه دره‌شهر بیشترین تفاوت شکل هیتوگراف بارش طرح را بین فصول و بازه‌های زمانی مختلف از خود نشان داد. اما در این ایستگاه نیز با جمع بارش‌ها در فصول مختلف این تفاوت‌ها به دلیل تأثیرگذاری بر یکدیگر، حذف شده در حالت کلی به صورت یکنواخت در می‌آید.

بر اساس دانش فعلی نویسندگان و با بررسی پیشینه مطالعات انجام شده، معلوم گردید که بررسی الگوی توزیع رگبارها به تفکیک فصل تا کنون در حوضه کرخه انجام نشده است. بنابراین، در این مطالعه برای اولین بار مطالعه الگوی توزیع رگبارها هم به صورت کلی و هم به صورت فصلی انجام شد. نتایج مطالعه حاضر برای کلاس کمتر از ۲ ساعت مشابه یافته‌های عزلی و رائو (۲۰۱۰) در مالزی بود که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. در دیگر کلاس‌های زمانی، نتایج نشان داد که درصد ریزش بارش در فواصل زمانی مساوی بیشتر به سمت یکنواخت شدن میل می‌کند که با نتایج حاصل از اسکندری (۱۹۹۶) در تهران کاملاً مغایر است. نمودارها و محاسبه مقدار بارش چارک‌ها در این مطالعه با نتایج حاتمی‌یزد و همکاران (۲۰۰۵) در خراسان نیز تفاوت عمده داشت. شباهت‌هایی بین نتایج این مطالعه با مطالعات مولایی و تلوری (۲۰۰۹) در استان کهگیلویه و بویراحمد مشاهده شد. در هر دو مطالعه، با افزایش مدت دوام بارش، میزان اوج عمق بارش رسیده به زمین، از چهارک دوم به سمت

جدول ۶- مقادیر شاخص‌های S، I و Q برای شش ایستگاه مورد مطالعه

کرد			کرمانشاه			کامیاران			دره‌شهر			آران			آبدانان			
Q	I	S	Q	I	S	Q	I	S	Q	I	S	Q	I	S	Q	I	S	
۱/۰۴	۱/۲۹	۲/۵۳				۱/۰۶	۱/۵۶	۵/۶۷	۱/۰۷	۱/۳۴	۱/۴۸	۱/۰۳	۱/۲۴	۱/۷۸	۱/۰۳	۱/۳	۲/۳۲	۲-۰
۱/۱۵	۱/۴۴	۱/۹۱	۱/۲۱	۱/۸۹	۲/۷۹	۱/۱۵	۱/۵۱	۲/۳۴	۱/۵۲	۲/۵۳	۲/۱۸	۱/۱۴	۱/۷۵	۲/۹۸	۱/۱۷	۱/۷۳	۲/۱	۶-۲
۱/۲	۲/۲۵	۳/۴۷	۱/۲	۱/۱۹	۱/۶۶	۱/۲	۱/۷۳	۲/۲۱	۱/۲۴	۱/۴۴	۱/۸۳	۱/۳	۱/۷۴	۲/۷۸	۱/۲۷	۱/۴۲	۲/۱۵	۱۲-۶
			۱/۰۹	۱/۳۴	۱/۷۷	۱/۲۶	۱/۶۱	۲/۰۳	۱/۲۴	۱/۵۳	۱/۵۳				۱/۱۸	۱/۳۹	۱/۷۹	۲۴-۱۲
																		۲۴<
۱/۱۶	۱/۶۸	۲/۷۷	۱/۱۶	۱/۵۱	۲/۶۶	۱/۱۷	۱/۶۹	۲/۸۲	۱/۲۷	۱/۷	۲/۳۸	۱/۱۷	۱/۶۶	۲/۸۸	۱/۱۹	۱/۶	۲/۷۷	کل
			۱/۲۴	۱/۶۹	۲/۴	۱/۰۶	۱/۳۸	۳/۸۱	۱/۰۴	۱/۲۲	۲/۹۴				۱/۰۳	۱/۱۹	۲/۵	۲-۰
۱/۲۳	۱/۵۹	۲/۷۶	۱/۱۷	۱/۶	۲/۴۴	۱/۱۶	۱/۶۸	۳/۱	۱/۲	۱/۵۳	۲/۹	۱/۲	۱/۵۷	۱/۸۷	۱/۲۶	۱/۸۲	۲/۶۲	۶-۲
۱/۰۸	۱/۷۲	۲/۲۸	۱/۲۴	۱/۶۸	۱/۹۴	۱/۲۴	۱/۶۳	۲/۳۲	۱/۱۲	۱/۴۱	۲/۰۳	۱/۲۸	۲/۲۱	۲/۰۳	۱/۰۸	۱/۲	۲/۷۶	۱۲-۶
			۱/۱۴	۱/۴۵	۱/۸۶	۱/۱۴	۱/۴۲	۱/۸۵	۱/۰۸	۱/۴۱	۱/۸۷	۱/۱۶	۱/۴۹	۱/۴۷	۱/۱۲	۱/۲۲	۱/۶۱	۲۴-۱۲
																		۲۴<
۱/۱۶	۱/۵۸	۲/۱۲	۱/۲	۱/۶۱	۲/۱	۱/۲	۱/۵۸	۲/۴۳	۱/۱	۱/۴۹	۲/۲۶	۱/۲۵	۱/۶۸	۲/۱۵	۱/۱۲	۱/۴۴	۲/۴۵	کل
									۲/۶۴	۳/۰۹	۳/۵۴				۱/۰۷	۱/۶۳	۱/۷	۲-۰
۱/۰۸	۱/۳۷	۱/۶۷	۱/۱۵	۱/۴۷	۱/۵۷	۱/۲۵	۱/۸۷	۳/۸۷	۱/۲۳	۱/۶	۲/۳۸	۱/۲۱	۱/۴۴	۲/۲۸	۱/۲۳	۲/۵۳	۴/۹	۶-۲
۱/۱۴	۱/۶۹	۲/۶۶	۱/۱۶	۱/۵۷	۲/۰۵	۱/۱۷	۱/۵	۲/۱۸	۱/۱۹	۱/۶۲	۲	۱/۱۳	۱/۳۸	۱/۸۳	۱/۱۳	۱/۵۸	۲/۶۱	۱۲-۶
۱/۰۵	۱/۲۳	۲/۵۹	۱/۱۸	۱/۴	۱/۵۴	۱/۱۶	۱/۳۸	۱/۸	۱/۲	۱/۷۳	۲/۰۵	۱/۳	۱/۴۱	۱/۸۸	۱/۱۵	۱/۴۴	۱/۹	۲۴-۱۲
						۱/۱۹	۱/۴۶	۱/۷۵							۱/۲۴	۱/۹۱	۲/۲۹	۲۴<
۱/۱	۱/۳۵	۲/۱۹	۱/۱۸	۱/۵۸	۱/۷۳	۱/۱۸	۱/۵۶	۲/۱۷	۱/۲۳	۱/۷۴	۲/۲۳	۱/۲۱	۱/۴۹	۲/۰۵	۱/۱۸	۱/۶۳	۲/۷۱	کل
۱/۱۳	۱/۴۹	۲/۵۴	۱/۱۸	۱/۵۹	۲/۱۷	۱/۱۹	۱/۶۲	۲/۵۱	۱/۱۹	۱/۶۵	۲/۵۶	۱/۲۳	۱/۶۸	۲/۴۴	۱/۱۷	۱/۵۵	۲/۵۶	کل رویدادها

تهران

پابند

زمنستان

در حالت کلی، می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از شاخص‌های معرفی شده (S، I و Q) می‌توان تیپ الگوی رگبارها را در هر منطقه مشخص نمود. هرچند این شاخص‌ها به عنوان یک ایده اولیه در تشخیص تیپ‌های مختلف رگبار می‌باشد ولیکن می‌توان نتیجه گرفت که این شاخص‌ها که فاصله قائم بین دو منحنی هاف ۱۰ و ۵۰ درصد را در سه مقطع زمانی در نظر می‌گیرد می‌تواند مبنای مقایسه بین تیپ‌های مختلف رگبارها در ایستگاه‌های مختلف قرار گیرد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که بدون بررسی دقیق الگوی ریزش بارش هرگونه تصمیم روی طراحی سازه‌های آبی می‌تواند گمراه‌کننده باشد. 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، درحالی که در مطالعات قبلی 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. در حالی که در مطالعه فعلی با دخالت دادن منحنی هاف ۱۰ درصد، (علاوه بر منحنی ۵۰ درصد) نه تنها میانگین کل رگبارهای مشاهداتی، بلکه به نوعی واریانس رگبارها نیز معیار تفکیک تیپ آنها قرار گرفته است. چه بسا مقدار درصد ریزش در ایستگاهی با ایستگاه دیگر در هر

چهار چارک زمانی کاملاً مشابه باشد ولیکن 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 معرفی شده در این مطالعه، تیپ رگبارهای این دو ایستگاه متفاوت خواهد بود.

کاربرد منحنی‌های هاف و هیئوگراف‌های بارش طرح در تبدیل بارندگی به روان‌آب و طراحی ابعاد زهکش‌های سطحی و آبروها و سازه‌های کنترل سیلاب می‌باشد. برای تبدیل بارش به رواناب با استفاده از اصل پیچش می‌توان مقادیر بارش را از حالت بی‌بعد با توجه به عمق کل بارش (در یک رویداد هم‌زمان) به حالت با بعد تبدیل نمود. آنگاه با استفاده از اصل پیچش و با توجه به عرض‌های هیئروگراف واحد با زمان معین (مثلاً هیئروگراف واحد یک ساعته) مقادیر دبی سیلاب ناشی از بارش را به دست آورد.

#### سپاسگزاری

داده‌های مورد استفاده در این مقاله از شرکت مدیریت منابع آب ایران اخذ شد که بدین وسیله قدردانی می‌شود. همچنین از داوران محترم این مقاله که با صرف وقت ارزشمند خود موجب بهبود کیفیت این مقاله گردیدند، تشکر می‌نماید.

#### منابع مورد استفاده

- Awadallah AG and Younan NS, 2012. Conservative design rainfall distribution for application in arid regions with sparse data. *Journal of Arid Environments* 79:66-75.
- Azli M and Rao R, 2010. Development of Huff Curves for peninsular Malaysia. *Journal of Hydrology* 388:77-84.
- Baek SS, Choi DH, Jung JW, Lee HJ, Yoon KS and Cho KH, 2015. Optimizing low impact development (LID) for stormwater runoff treatment in Urban Area, Korea: Experimental and modeling approach. *Water Research* 86:122-131.
- Bezak N, Šraj M and Mikoš M, 2016. Copula-based IDF curves and empirical rainfall thresholds for flash floods and rainfall-induced landslides. *Journal of Hydrology* 541:272-284.
- Bozorgzadeh M, 1995, Temporal distribution of rainfall used for design flood. *Water and Development* 3(1):35-49 (in Persian).
- Bustami RA, Rosli NA, Adam JH and Li KP, 2012. Development of temporal rainfall pattern for southern region of Sarawak. *UNIMA E. Journal of Civil Engineering* 3(Special Issue):17-23.

- Chuckwuma GO and Schwab GO, 1983. Procedure for developing design hyetographs for small watersheds. Transactions of the ASAE 26(5):1386-1389.
- Dolšak D, Bezak N and Šraj M, 2016. Temporal characteristics of rainfall events under three climate types in Slovenia. Journal of Hydrology 541:1395–1405.
- Eskandari A, 1996, Determination the type of temporal rainfall distribution using the  $\chi^2$  and its application in on of Iran cities MSC dissertation, Department of Civil Engineering , Faculty of Engineering, University of Sharif, I.R. IRAN (in Persian).
- Ewea HA, Elfeki AMM and Bahrawi JA, 2016. Sensitivity analysis of runoff hydrographs due to temporal rainfall patterns in Makkah Al-Mukkramah region, Saudi Arabia. Arabian Journal of Geosciences 9:424.
- Ghassabi Z, Kamali GA, Meshkati AH, Hajam S and Javaheri N, 2016. Time distribution of heavy rainfall events in south west of IRAN. Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics 145:53-60.
- Golcar F, 2007. To study frequency distribution of storm and determination of temporal pattern of rainfall in some parts of Iran (Bam, Tehran, Shiraz, and Gorgan), Water Management Conference (Isfahan) Feb. 2007:1478-1486 (in Persian).
- Golian S, Saghafian B and Maknoon R, 2010. Derivation of probabilistic thresholds of spatially distributed rainfall for flood forecasting. Water Resources Management 24(13):3547–3559.
- Hatami-Yazd H, Taghvaei-Abrishami A A, Ghahraman B, 2005. Rainfall temporal pattern for Khorasan Province, Iran. Iran-Water Resources Research 1(3):61-71. (in Persian).
- Hershfield DM, 1962. Extreme rainfall relationship. Journal of the Hydraulics Division ASCE 88(HY6):73-92.
- Huff FA, 1967. Time distribution of rainfall in heavy storms. Water Resources Research 3(4):1007-1019.
- Huff FA, 1990. Time Distribution of Heavy Rainstorms in Illinois. Illinois State Water Survey, Champaign, Circular, 173 pages.
- Jahanbakhsh S, Rahimi Bondarabadi S, Hosseini A, Rezaei S, Khosh Zaman T, 2010. Annual rainfall and temperature trends in Karkha Rivar basin. 4th International Congress of the Islamic World Geographers 14-16 April 2010 Zahedan. (in Persian)
- Jiang P, Yu Z, Gautam MR, Yuan F and Acharya K, 2016. Changes of storm properties in the United States: Observations and multimodel ensemble projections. Global and Planetary Change 142:41–52.
- Kang MS, Koo JH, Chun JA, Her YG, Park SW and Yoo K, 2009. Design of drainage culverts considering critical storm duration. Bio systems Engineering 104:425–434.
- Kao SC and Govindaraju RS, 2007. A bivariate frequency analysis of extreme rainfall with implications for design. Journal of Geophysical Research 112, d13119, doi:10.1029/2007JD008522.
- Kao SC and Govindaraju RS, 2008. Trivariate statistical analysis of extreme rainfall events via the Plackett family of copulas. Water Resources Research 44 w02415, doi:10.1029/2007WR006261.
- Keifer CJ and Chu HH, 1957. Synthetic storm pattern for drainage design. Journal of the Hydraulics Division ASCE 83(HY4):1-25.
- Loukas A and Quick MC, 1994. Precipitation distribution in coastal British Columbia. Water Resources Bulletin 30(4):705-727.
- Mollaie A and Telvari A, 2009, Determination of rainfall temporal pattern in Kohkiluyeh and Boyerahmad province by Pilgrim method. Journal of Watershed Engineering and Management 1(2):70-78 (in Persian).
- SCS., 1986. Urban Hydrology for Small Watersheds, Tech. Bul. 55, Appendix B:B-1 and B-2.
- Todisco F, 2014. The internal structure of erosive and non-erosive storm events for interpretation of erosive processes and rainfall simulation. Journal of Hydrology 519(D):3651-3663.
- Vernieuwe H, Vandenberghe S, De Baets B and verhoest N, 2015. A continuous rainfall model based on vine copulas, Hydrology & Earth System Sciences 19:2685–2699.
- Wang W, Yin S, Xie Y, Liu B and Liu Y, 2016. Effects of four storm patterns on soil loss from five soils under natural rainfall. Catena 141:56-65.
- Wu SJ, Yang JC and Tung YK, 2006. Identification and stochastic generation of representative rainfall temporal patterns in Hong Kong territory. Stoch. Environ. Res. Risk Assess. 20:171-183.
- Yazdi J, Choi HS and Kim JH, 2016. A methodology for optimal operation of pumping stations in urban drainage systems. Journal of Hydro-environment Research 11:101-112.
- Yen BC and Chow VT, 1980. Design hyetographs for small drainage structures. Journal Hydraulic Division ASCE 106(HY6):1055-1076.

Zohrabi N, Masah Bovani A, Godarzi E and Heydarnejad M, 2016. Identify trend in the annual temperature and precipitation in Karkheh River Basin. *Journal of Wetland Ecobiology* 8(2):5-22 (in Persian).