

## بسط منحنی‌های هاف برای چهار ایستگاه واقع در حوضه رودخانه کارون بزرگ در استان خوزستان

یعقوب دین‌پژوه\*<sup>۱</sup>، عصمت‌السادات علوی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز  
<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری منابع آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

دریافت: ۱۳۹۷/۴/۴، بازنگری: ۱۳۹۹/۵/۱۲، پذیرش: ۱۳۹۹/۷/۳۰، نشر آنلاین: ۱۳۹۹/۷/۳۰

### چکیده

در این مطالعه، تغییرات الگوی توزیع عمق بارش در طول مدت دوام بارش در چهار ایستگاه حوضه رودخانه کارون بزرگ در استان خوزستان بررسی شده است. برای رسم منحنی‌های هاف از داده‌های باران‌نگار ثابت در ایستگاه‌های سد دز، گتوند، عبدالخان و اهواز استفاده شده است. برای این منظور، کلیه رگبارهای ثبت شده در هر ایستگاه، در فصول مختلف در پنج کلاس به شرح ۰ تا ۲، ۲ تا ۶، ۶ تا ۱۲، ۱۲ تا ۲۴ و بیش از ۲۴ ساعت، دسته‌بندی گردید. افزون بر این، برای هر دسته، در هر فصل، منحنی‌های هاف (Huff) با استفاده از تجمیع رگبارها رسم گردید. همچنین، رویدادهای کلیه دسته‌ها در یک فصل مشخص در یک گروه کلی ادغام و منحنی هاف فصلی رسم گردید. ضمناً برای هر ایستگاه، همه رویدادهای ثبت شده در یک کلاس جمع‌بندی و منحنی هاف کلی به دست آمد. در ادامه برای هر منحنی هاف، هیئتوگراف رگبار (Storm Hyetograph) طرح با احتمال ۵۰٪ استخراج شد. این منحنی‌ها می‌تواند در مدیریت منابع آب منطقه از جمله جمع‌آوری آب باران در فصول مختلف و دفع صحیح سیلاب‌های شدید از طریق محاسبه صحیح دبی اوج و ابعاد زهکش‌های سطحی با توجه به منحنی‌های مذکور مفید واقع شود.

**کلیدواژه‌ها:** رگبار طرح، توزیع زمانی بارش، سیلاب طرح، منحنی‌های هاف، هیئتوگراف.

### ۱- مقدمه

Hershfield (۱۹۶۲) روش معدل‌گیری ترسیمی را معرفی کرد. وی ۴۰۰ باران طوفان‌زا را از ۵۰ ایستگاه هواشناسی پراکنده در ایالات متحده برگزید و هیئتوگراف باران طرح را با مدت دوام ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعته استخراج کرد. Huff (۱۹۶۷) تعداد ۲۶۱ رگبار ثبت شده در ۱۱ سال را در ایالت ایلینویز، با وسعت ۱۰۳۲ کیلومتر مربع در ۴۹ ایستگاه باران‌سنجی مطالعه نمود. بعدها Huff (۱۹۹۰) پیشنهاد کرد که چارک باران‌ها تعیین و بارش‌ها بر اساس نوع چارک تقسیم‌بندی گردند به عبارت بهتر بیشترین درصد عمق بارش مربوط به چارک زمانی معین (۱ تا ۴) مشخص گردد و در هر ایستگاه نوع چارک مبنای طبقه‌بندی قرار گیرد و سپس برای هر دسته نمودارهای احتمال تجربی بی‌بعد تجمعی بارش رسم گردد.

اولین گام در بهره‌برداری صحیح از منابع آب در هر منطقه (به‌ویژه نواحی خشک و نیمه‌خشک مثل ایران) شناخت ویژگی‌های بارش است. منحنی‌های هاف یکی از ویژگی‌های بارش است که در آن درصدی از عمق کل بارش به‌عنوان تابعی از درصدی از مدت دوام بارش (به‌ازای احتمالات مختلف) رسم می‌شود. تعیین الگوی توزیع عمق بارش در مدت دوام آن سابقه طولانی دارد و محققین مختلف مطالعات گوناگونی را برای نواحی مختلف جهان انجام داده‌اند. Chu و Keifer (۱۹۵۷) با استفاده از متوسط شدت بارش و زمان تداوم و اعمال ضرایب وزنی (نسبت زمان تا اوج به کل زمان تداوم بارش) هیئتوگراف مصنوعی برای شیکاگو آمریکا معرفی کردند.



نمونه‌های زیر بخشی از تحقیقات در مورد توزیع زمانی بارش در ایران است.

Bozorgzadeh (۱۹۹۵) الگوی بارش‌های ۲۴ ساعته شمال کشور را مطالعه و نتیجه را عموماً تیپ I و IA (براساس تقسیم‌بندی SCS) گزارش کرد. Eskandari (۱۹۹۶) با روش پیلگریم<sup>۴</sup> و آزمون آماری کای-اسکوئر<sup>۵</sup> الگوی توزیع زمانی بارش ایستگاه همدید مهرآباد را استخراج کرد.

Golcar (۲۰۰۷) برای تداوم‌های مختلف بارش در شهرهای بم، تهران، شیراز و گرگان روش پیلگریم و هاف را به کار برد و نتیجه گرفت که به جز الگوی ۴۸ ساعته شهر تهران، دیگر الگوهای این شهرها به هم شباهت نداشته و باید به تفکیک از هم استفاده شوند.

Ghassabi و همکاران (۲۰۱۶) ۳۵ بارش مولد سیلاب‌های بزرگ سال‌های اخیر ناحیه جنوب غرب ایران را به روش SCS مدل کردند. از دیگر مطالعات انجام شده در ایران، می‌توان به کارهای، Raziee و Alijani (۲۰۰۲)، Hatami-Yazd و همکاران (۲۰۰۵)، Ahmadzadeh و Davudirad (۲۰۰۵)، Radmanesh و همکاران (۲۰۰۷)، Mollaie و Telvari (۲۰۰۹)، Bidel و همکاران (۲۰۰۹)، Noura و همکاران (۲۰۱۰)، Khaksafidi و همکاران (۲۰۱۰)، Baniasadi (۲۰۱۱)، Safshekan و همکاران (۲۰۱۱) و Karimi و Solaimani (۲۰۱۳) اشاره کرد. هدف اصلی این پژوهش، رسم تغییرات الگوی توزیع عمق بارش بی‌بعد در طول مدت دوام آن، در چهار ایستگاه واقع در حوضه کارون (شامل سد دز، گتوند، اهواز و عبدالخان) می‌باشد. برای این کار اهداف فرعی به شرح زیر است:

۱) تقسیم‌بندی رگبارها براساس فصل و بعد مدت دوام آن‌ها در پنج کلاس زمانی،

۲) رسم منحنی‌های هاف برای هر کلاس در هر فصل،

۳) استخراج هیتوگراف بارش طرح برای هر کلاس و در هر فصل در چهار ایستگاه منتخب برای نمودار احتمال ۵۰ درصد در نظر گرفته شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، بخشی از حوضه آبریز رودخانه کارون بزرگ در استان خوزستان می‌باشد. شکل (۱) نقشه منطقه مورد مطالعه و جانمایی ایستگاه‌ها در این منطقه را مشخص می‌کند. چهار ایستگاه با مشخصات آمده در جدول (۱) مورد مطالعه قرار گرفت. رود کارون بزرگ پرآب‌ترین و طولانی‌ترین رودخانه ایران

Chow و Yen (۱۹۸۰) با تحلیل بیش از ۲۵۰ هزار رگبار ثبت شده در ایالات متحده، هیتوگراف مثلثی را برای توصیف الگوی بارش پیشنهاد دادند.

Chuckwuma و Schwab (۱۹۸۳) ۴۵۴ رگبار در ایالت اوهایو را با روش هاف (با تقسیم بارش‌ها به سه کلاس زمانی) تحلیل کردند. در این روش رگبارها به سه تیپ پیشرو، میانی و تأخیری تقسیم شدند.

دفتر حفاظت خاک ایالات متحده SCS<sup>۱</sup> (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 (امریکا، کانادا، مکزیک و دیگر کشورهای واقع در این قاره) رسم و منتشر کردند. در این گزارش آمده است که این نمودارها با تطبیق شرایط اقلیمی برای دیگر نقاط نیز قابل استفاده است. Loukas و Quick (۱۹۹۴) در جنوب غرب بریتیش کلمبیا، Wu و همکاران (۲۰۰۶) الگوهای احتمالاتی توزیع زمانی باران را در هنگ کنگ مطالعه کردند.

Wu و همکارانش از اطلاعات ۱۶ ایستگاه و ۸۲۸۹ واقعه بارش استفاده کردند و در نهایت، الگوی معرف زمانی بارندگی در هنگ کنگ را به تفکیک مدت بارش، عمق و فصل بارش ارائه نمودند. ایشان نتیجه گرفتند که الگوها به مکان جغرافیایی مربوط نیست. Kao و Govindaraju (۲۰۰۷) و (۲۰۰۸) و Vernieuwe (۲۰۱۵) با استفاده از توابع مفصل مدل‌های احتمالاتی چندوجهی از توزیع‌های بارش را به دست آوردند.

Azli و Rao (۲۰۱۰) برای شبه‌جزیره مالزی، منحنی‌های هاف را با استفاده از بارش‌های ۱۳ ایستگاه و حدود ۵۸۰۰ رویداد بارش، الگوی بارش طرح را استخراج کردند. افزون بر آن، در مطالعات مختلف مانند Kang و همکاران (۲۰۰۹)، Golian و همکاران (۲۰۱۰)، Awadallah و Younan (۲۰۱۲)، Todisco (۲۰۱۴)، Wang و همکاران (۲۰۱۶)، Yazdi و همکاران (۲۰۱۶)، Baek و همکاران (۲۰۱۵)، Jiang و همکاران (۲۰۱۶) و Bezak و همکاران (۲۰۱۶) از روش هاف یا پیلگریم<sup>۴</sup> استفاده شده است.

Bustami و همکاران (۲۰۱۲) روش میانگین تغییرپذیری را در هفت ایستگاه هواشناسی منطقه سارواک<sup>۲</sup> اندونزی برای تداوم‌های مختلف بارش به کار بردند.

Dolšak و همکاران (۲۰۱۶) رگبارهای ۳۰ ایستگاه کشور اسلوانی را به روش هاف مدل کردند.

Ewea و همکاران (۲۰۱۶) الگوی زمانی بارش منطقه مکه مکرمه را در عربستان سعودی بررسی نمودند. در ایران نیز مطالعات پراکنده‌ای در زمینه توزیع زمانی رگبارها انجام شده است.

4. Pilgrim  
5. Chi-Square

1. Soil Conservation Service  
۲. Pilgrim  
3. Saravak

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

داده‌های مربوط به ایستگاه‌های مورد مطالعه از مدیریت منابع آب کشور اخذ شد. مقادیر بارش رسیده در هر رویداد در فواصل زمانی مشخص در نظر گرفته شدند. در این مطالعه رویدادهایی انتخاب شد 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 یک پنجم زمان هر یک از بارش‌ها بود باهم تلفیق و به‌عنوان یک رویداد منفرد در نظر گرفته شدند. این تصمیم سلیقه‌ای بوده و برای کشورهای مختلف، متفاوت است، طوری که بسته به نوع اقلیم هر رویداد بارش، به‌طور متفاوت قابل تعریف است. رویدادها برای هر چهار فصل سال به‌طور مجزا در نظر گرفته شدند و نیز رگبارها 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 (۲) نتایج حاصل این تفکیک را برای هر یک از ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که در داده‌های 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 بیشترین تعداد رگبار در فصل زمستان رخ داده و در تمام ایستگاه‌ها بیش‌ترین تعداد رگبار ثبت شده متعلق به کلاس زمانی ۲-۶ ساعت است. بیشترین رگبار ثبت شده متعلق به ایستگاه گتوند و کمترین آن متعلق به ایستگاه عبدالخان می‌باشد. تعداد کل رگبارهای مورد مطالعه ۱۲۷۳ رویداد است.

جدول ۲- تعداد رگبارهای مورد استفاده در این مطالعه

| ایستگاه  | فصل    | بازه زمانی بارش (ساعت) |        |         |           |       |
|----------|--------|------------------------|--------|---------|-----------|-------|
|          |        | ۰ تا ۲                 | ۲ تا ۶ | ۶ تا ۱۲ | بیش از ۲۴ | مجموع |
| سد دز    | بهار   | ۶                      | ۲۱     | ۸       | ۶         | ۴۱    |
|          | پاییز  | ۷                      | ۴۳     | ۲۷      | ۳         | ۹۸    |
|          | زمستان | ۱۶                     | ۳۶     | ۴۸      | ۴         | ۱۴۱   |
|          | جمع    | ۲۹                     | ۱۰۰    | ۸۳      | ۷         | ۲۸۰   |
| عبدالخان | بهار   | ۱۰                     | ۱۳     | ۷       | ۵         | ۳۵    |
|          | پاییز  | ۱۱                     | ۲۳     | ۲۱      | ۲         | ۶۷    |
|          | زمستان | ۱۰                     | ۴۶     | ۴۲      | ۳         | ۱۲۹   |
|          | جمع    | ۳۱                     | ۸۲     | ۷۰      | ۵         | ۲۳۱   |
| گتوند    | بهار   | ۱۲                     | ۳۳     | ۱۳      | ۱۰        | ۶۸    |
|          | پاییز  | ۲۶                     | ۴۵     | ۳۴      | ۳         | ۱۲۷   |
|          | زمستان | ۲۲                     | ۶۲     | ۶۷      | ۴         | ۱۹۷   |
|          | جمع    | ۶۰                     | ۱۴۰    | ۱۱۴     | ۷         | ۳۹۲   |
| اهواز    | بهار   | ۱۸                     | ۱۵     | ۱۲      | ۱         | ۴۶    |
|          | پاییز  | ۳۱                     | ۴۶     | ۴۲      | ۱۹        | ۱۳۸   |
|          | زمستان | ۲۲                     | ۷۲     | ۶۷      | ۲         | ۱۸۶   |
|          | جمع    | ۷۱                     | ۱۳۳    | ۱۲۱     | ۲         | ۳۷۰   |

است. به همین واسطه، صنایع بسیاری در محدوده این حوضه و اطراف این رودخانه تمرکز یافته است.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های منتخب

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

| ایستگاه  | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی | ارتفاع (m) | دوره آماری |
|----------|---------------|---------------|------------|------------|
| سد دز    | ۳۲-۳۳         | ۴۸-۲۷         | ۵۲۵        | ۱۹۷۲-۲۰۱۶  |
| عبدالخان | ۳۱-۵۰         | ۴۸-۲۳         | ۴۰         | ۱۹۷۹-۲۰۱۶  |
| گتوند    | ۳۲-۱۵         | ۴۸-۴۹         | ۱۰۰        | ۱۹۸۱-۲۰۱۶  |
| اهواز    | ۳۱-۲۰         | ۴۸-۴۱         | ۱۰         | ۱۹۶۶-۲۰۱۶  |

طرح‌های عظیم کشت و صنعت، گلخانه‌ها، صنایع تبدیلی و بسته‌بندی و مجموعه کارخانجات مربوط به صنایع تبدیلی نیشکر، از طرح‌های مشترک کشاورزی و صنعت، در کنار رودخانه منطقه مورد مطالعه قرار دارند. در پایین دست این رودخانه، صنایع فولاد و نورد و به‌واسطه وجود منابع نفت و گاز و وجود آب صنایع پتروشیمی و پالایشگاهی در حوزه نفت و گاز گسترش یافته است. در کنار دریا و مصب رودخانه اروندرود، بندر خرمشهر و آبادان و منطقه آزاد تجاری اروندان قرار گرفته است. به دلیل خطری که سیلاب این رودخانه‌ها برای صنایع و شهرهای کناره، خود دارند اهمیت بررسی و شناخت ماهیت بارش و الگوی رفتاری پدیده بارش به‌عنوان منبع تأمین جریان آب در این حوضه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

۲-۳- روش مورد استفاده

در هر ایستگاه رویداد  $Z_m$  به تعداد  $n_j$  ( $l$  و  $2$  و  $1$ ) بازه زمانی مساوی تقسیم شد که مقادیر جزئی هر کدام با توجه به نمودار رسم شده، توسط باران نگار قابل محاسبه است. اگر عمق کلی بارندگی (به میلی متر) 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:

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

که در آن  $P_i$  درصد بارش تجمعی رسیده به زمین تا انتهای بازه زمانی  $i$  ام ( $n$  و  $2$  و  $1$ ) می باشد. درصد زمان بارش متناظر با  $P_i$  نیز از رابطه زیر به دست آمد:

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

جدول (۳) نحوه محاسبه مقادیر درصد بارش رسیده به زمین را برای هر رویداد، در هر کلاس زمانی و هر فصل نشان می دهد.

جدول ۳- درصد بارش رسیده به زمین در هر بازه زمانی برای

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

جدول (۴)، برای هر رویداد، درصد عمق بارش رسیده به زمین را به صورت تجمعی برای درصدهای زمانی ۱۰ تا ۱۰۰ درصد (با گام های ۱۰ درصد) نشان می دهد.

جدول ۴- درصد بارش تجمعی رسیده به زمین برای یک رویداد

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

جدول (۵) مقادیر بارش رسیده بر زمین را برای کل رگبارها نشان می دهد. در این جدول درصد بارش های تجمعی با دو اندیس مانند ( $\%P_{ak}$ ) مشخص می شوند. که در آن  $a$  شماره رویداد (از ۱ تا  $l$ ) و  $k$  شماره گام زمانی مربوط به رویداد  $a$  می باشد. مثلاً  $\%P_{35}$

درصد تجمعی بارش رسیده به زمین برای رویداد شماره سوم در انتهای گام زمانی پنجم است.

جدول ۵- مقادیر درصد بارش رسیده به زمین در یک ایستگاه

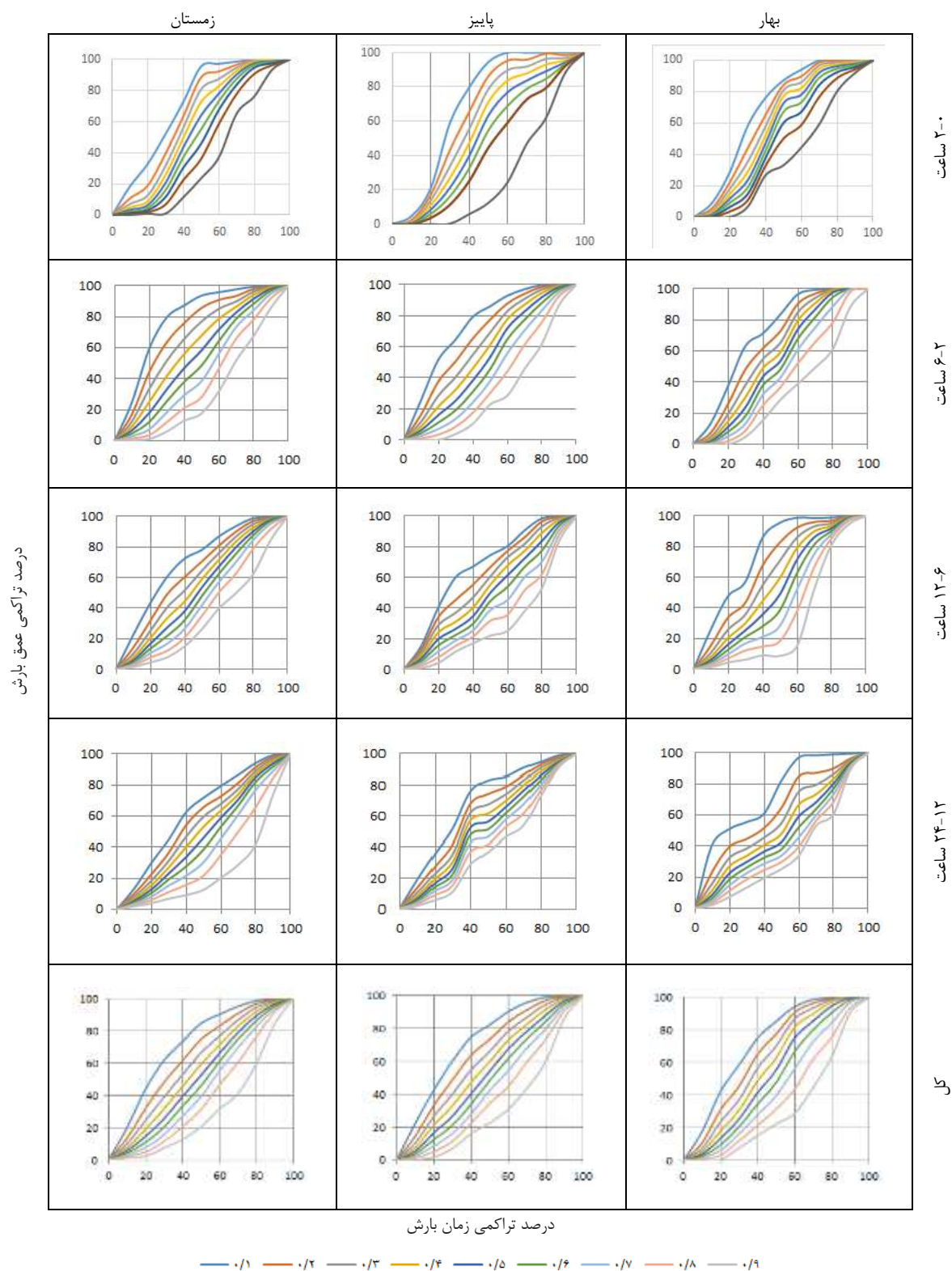
| (۱)    | (۲)        | (۳)        | (...) | (k+1)      | (...) | (۱۱) |
|--------|------------|------------|-------|------------|-------|------|
| رویداد | ۱۰         | ۲۰         | ...   | $\%t_k$    | ...   | ۱۰۰  |
| ۱      | $\%P_{11}$ | $\%P_{12}$ | ...   | $\%P_{1k}$ | ...   | ۱۰۰  |
| ۲     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

پس از تعیین بهترین توزیع آماری برای هر یک از ستون های دوم تا دهم جدول (۵)، تابع چندک نظیر هر ستون در نظر گرفته شد و از روی این توابع، با در دست داشتن مقدار احتمال تجمعی، مقدار بارش بی بعد برای زمان های تجمعی با فواصل مساوی تخمین زده شدند. بنابراین، با وصل کردن نقاط، با مختصات  $(x, y)$  که در آن  $y$  مقدار بارش بی بعد تراکمی (به ازای احتمال کمتری ۱۰٪) و  $x$  مدت زمان از آغاز بارش در فرم بی بعد (۱۰ درصد، ۲۰ درصد و ...) بود، منحنی هاف ۱۰ درصد حاصل شد. به همین ترتیب، منحنی های هاف، برای احتمالات کمتری مختلف (۲۰ تا ۹۰ درصد با گام های مساوی ۱۰ درصد) رسم گردید. لازم به اشاره است که تابع چندک هر ستون می تواند با ستون های دیگر متفاوت باشد (یا حداقل 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.

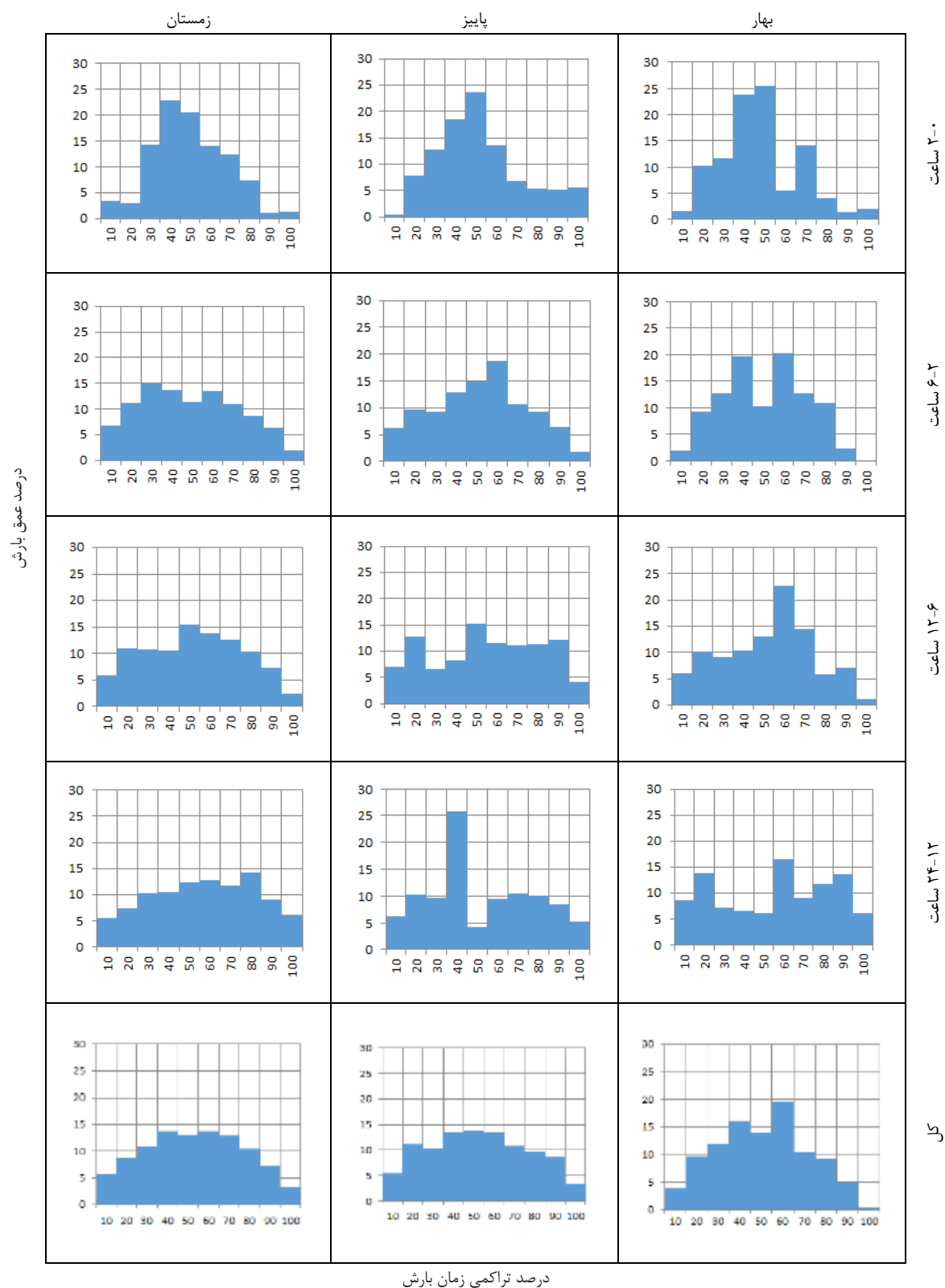
در انتها، برای ایستگاه های مورد مطالعه، در هر دسته فصلی و هر کلاس زمانی (مربوط به مدت دوام بارش)، هیئوگراف توزیع بارش بی بعد با درصد احتمال ۵۰ درصد رسم شد. این نمودار، الگوی ریزش رگبار را به طور میانگین برای ایستگاه معین، در فصل مشخص و دسته زمانی مربوط به مدت دوام بارش معلوم نشان می دهد.

۳- نتایج و بحث

شکل های (۲)، (۴)، (۶) و (۸) به ترتیب منحنی های هاف در ایستگاه های سد دز، عبدالخان، گتوند و اهواز را برای فصول مختلف سال، به حالت کلی و در کلاس های زمانی مختلف نشان می دهد. شکل های (۳)، (۵)، (۷) و (۹) نیز به همان ترتیب هیئوگراف های بارش طرح برای احتمال ۵۰ درصد استخراج شده از نمودار هاف احتمال ۵۰ درصد برای همان ایستگاه ها است.

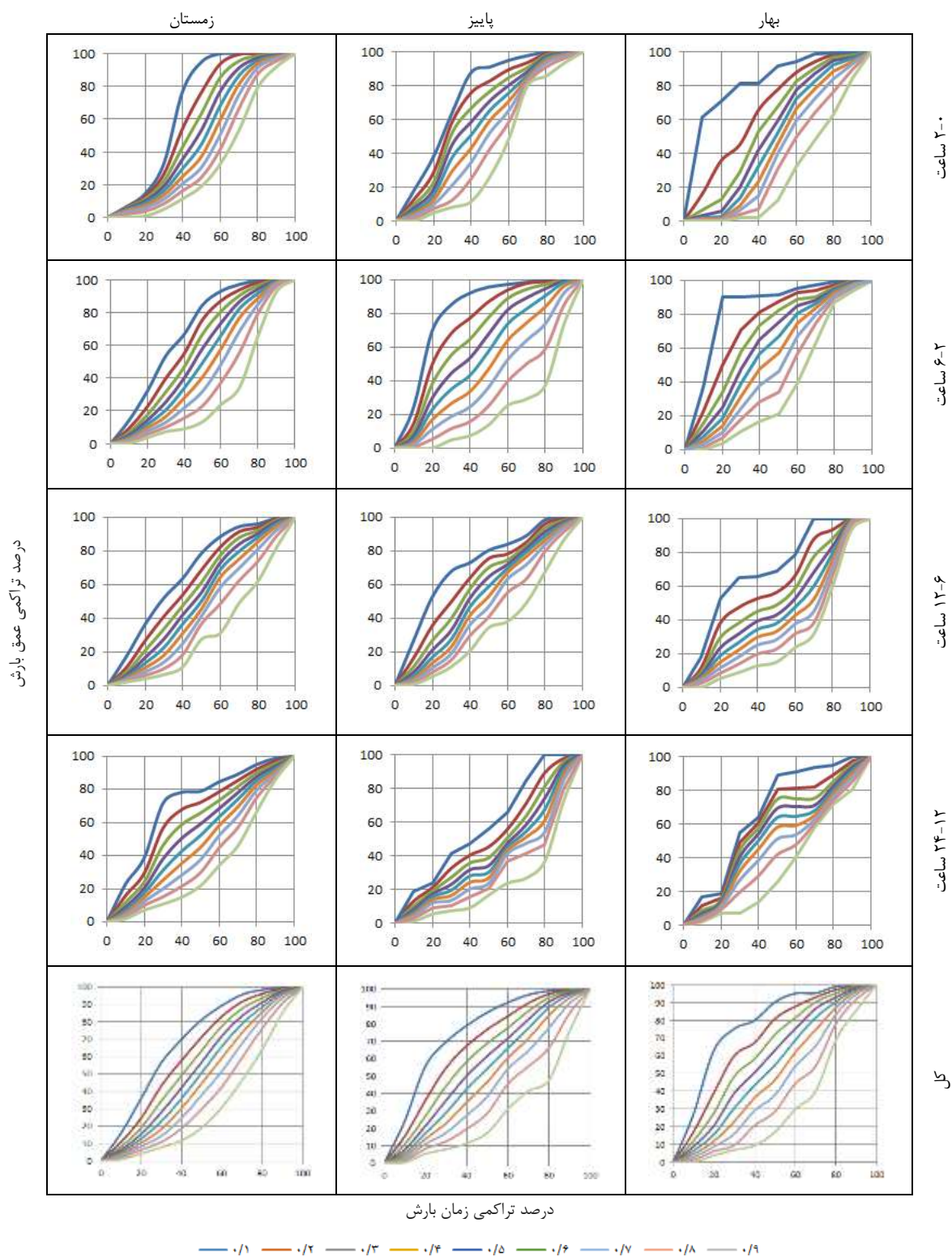


شکل ۲- منحنی‌های هاف در فصول متفاوت و کلاس‌های مختلف مدت دوام بارش در ایستگاه سد دز

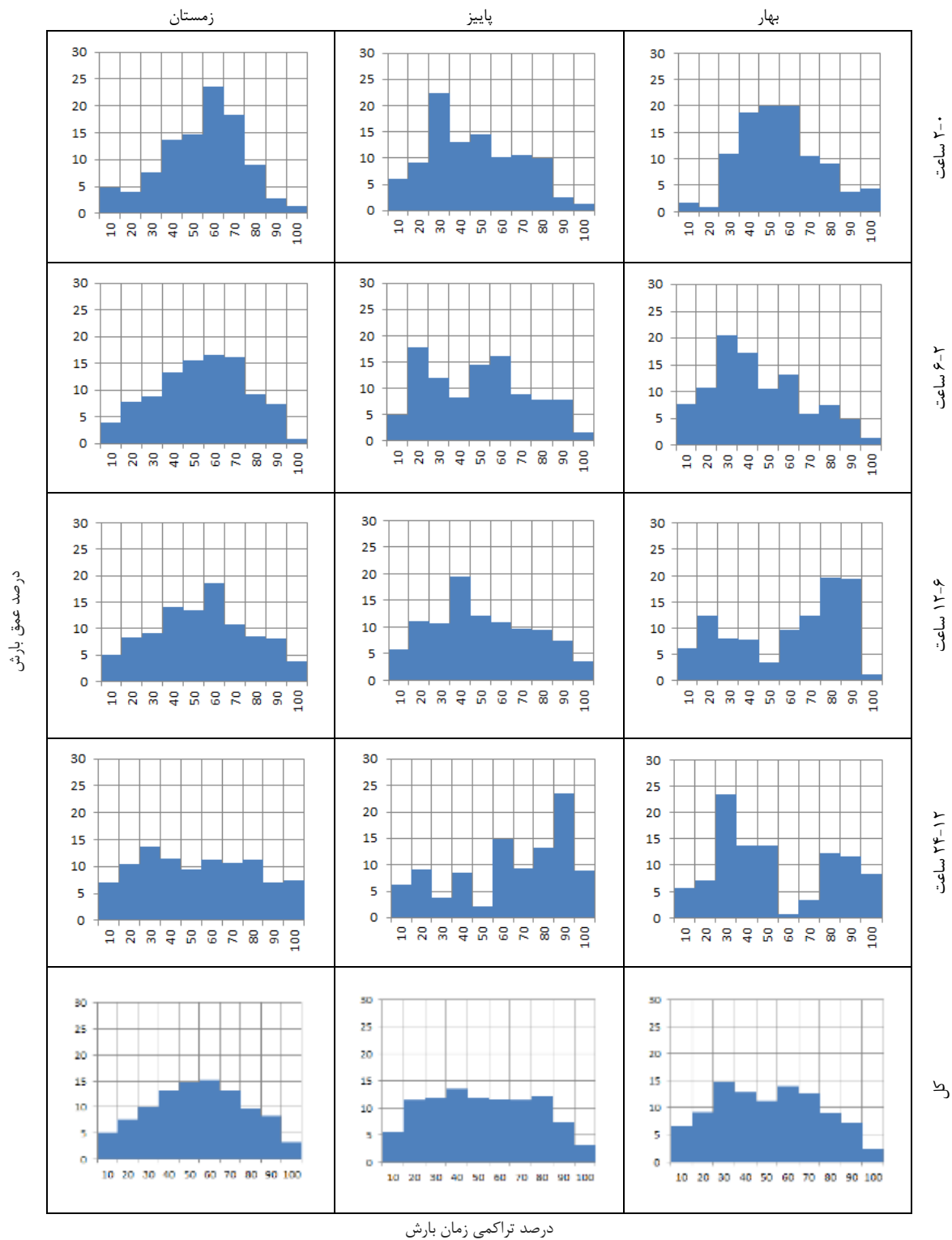


درصد تراکمی زمان بارش

شکل ۳- هیتوگراف‌های بارش طرح با احتمال ۵۰ درصد در فصول مختلف سال و کلاس‌های مختلف مدت دوام بارش در سد دز

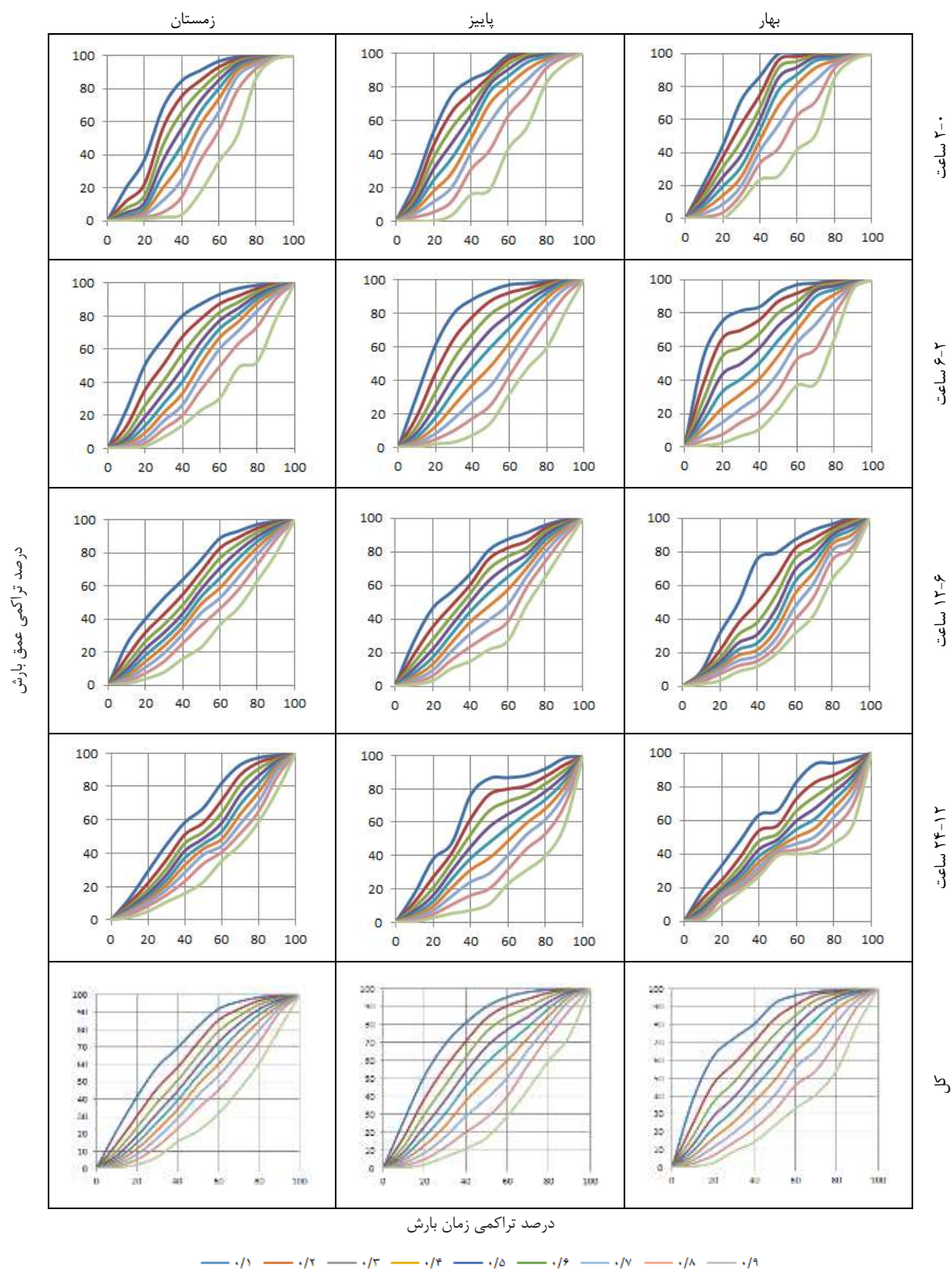


شکل ۴- منحنی‌های هاف در فصول متفاوت و کلاس‌های مختلف مدت دوام بارش در ایستگاه عبدالخان

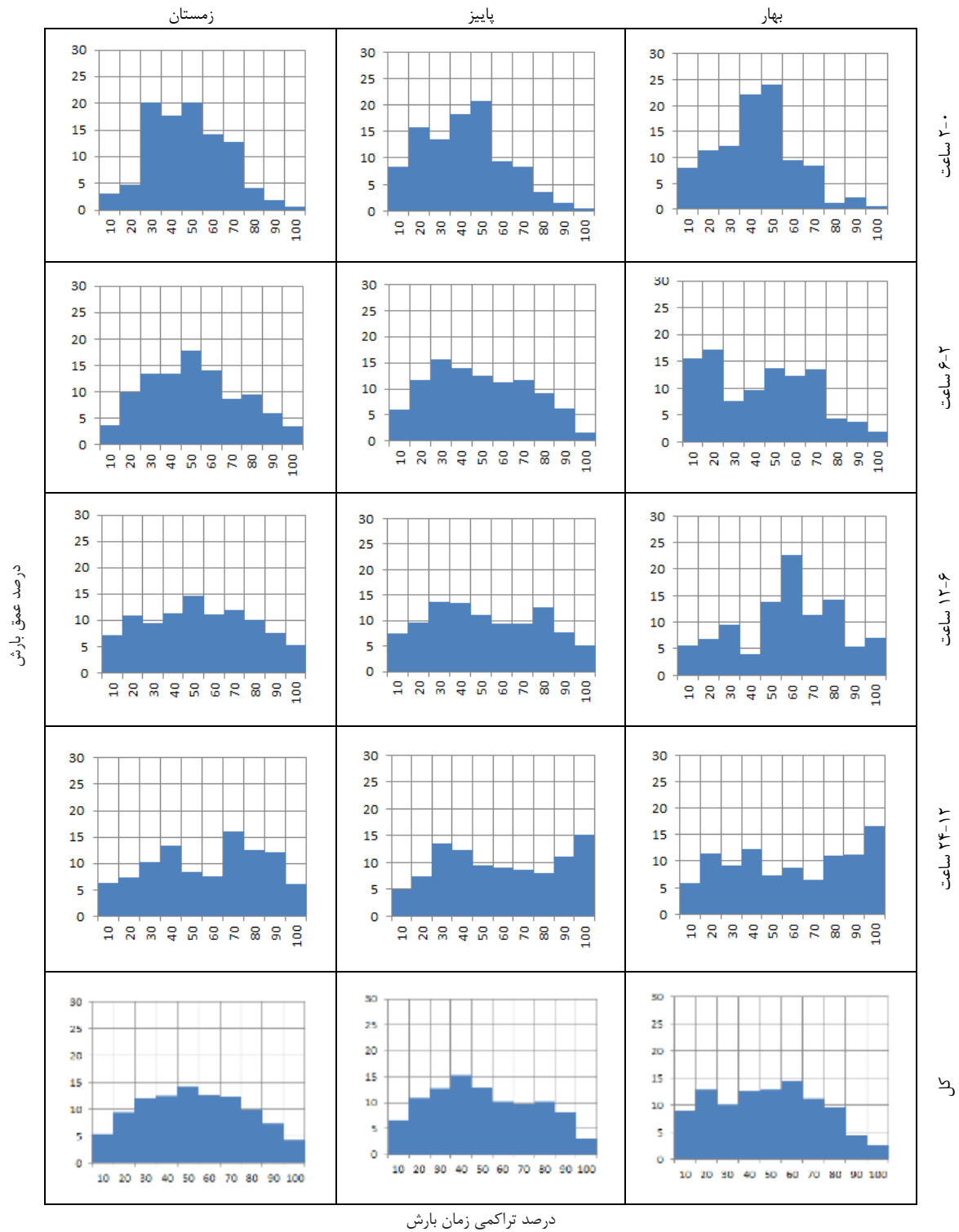


شکل ۵- هیتوگرافهای بارش طرح با احتمال ۵۰ درصد در فصول مختلف سال و کلاسهای مختلف مدت دوام بارش در عبدالخان

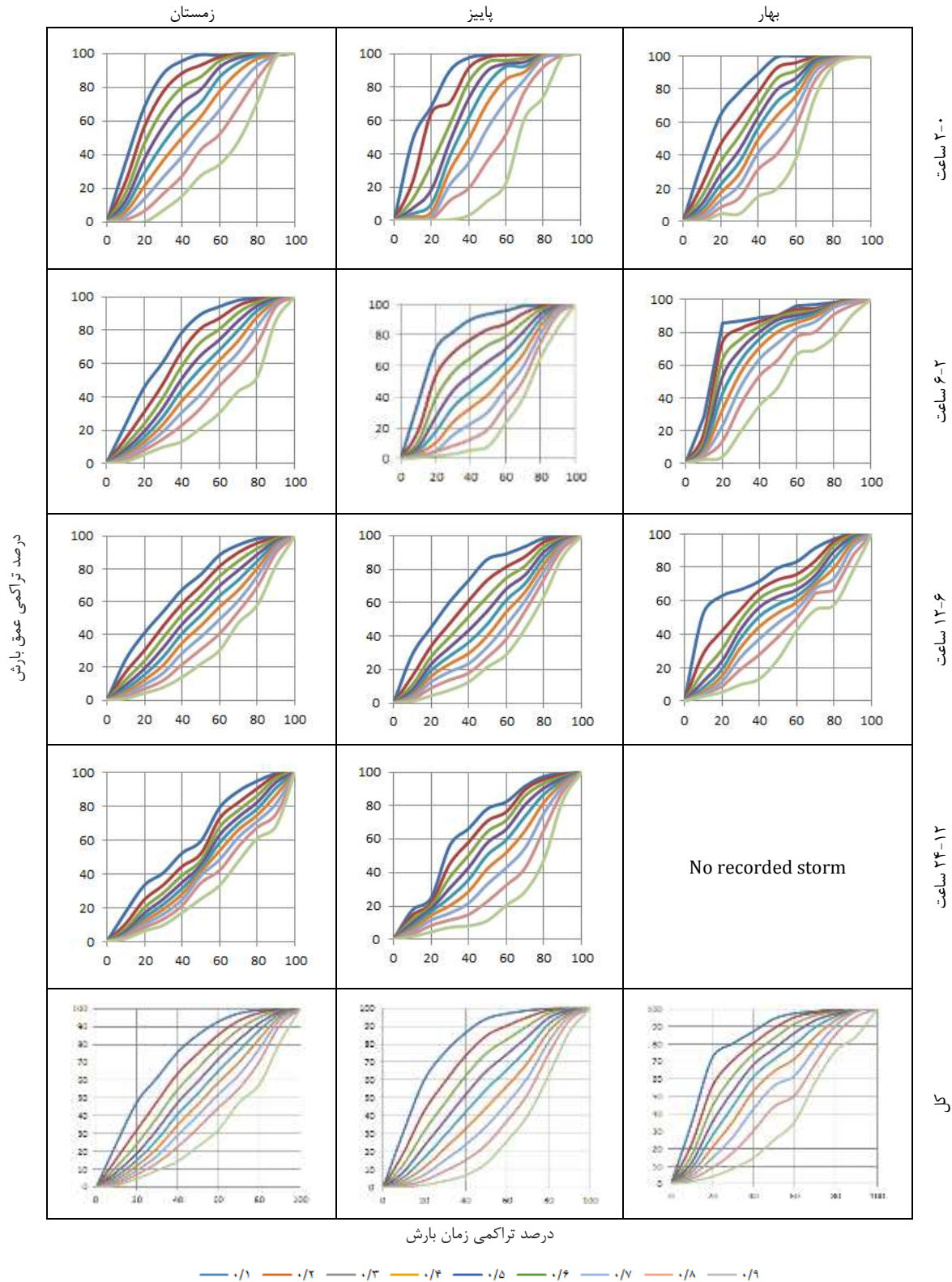




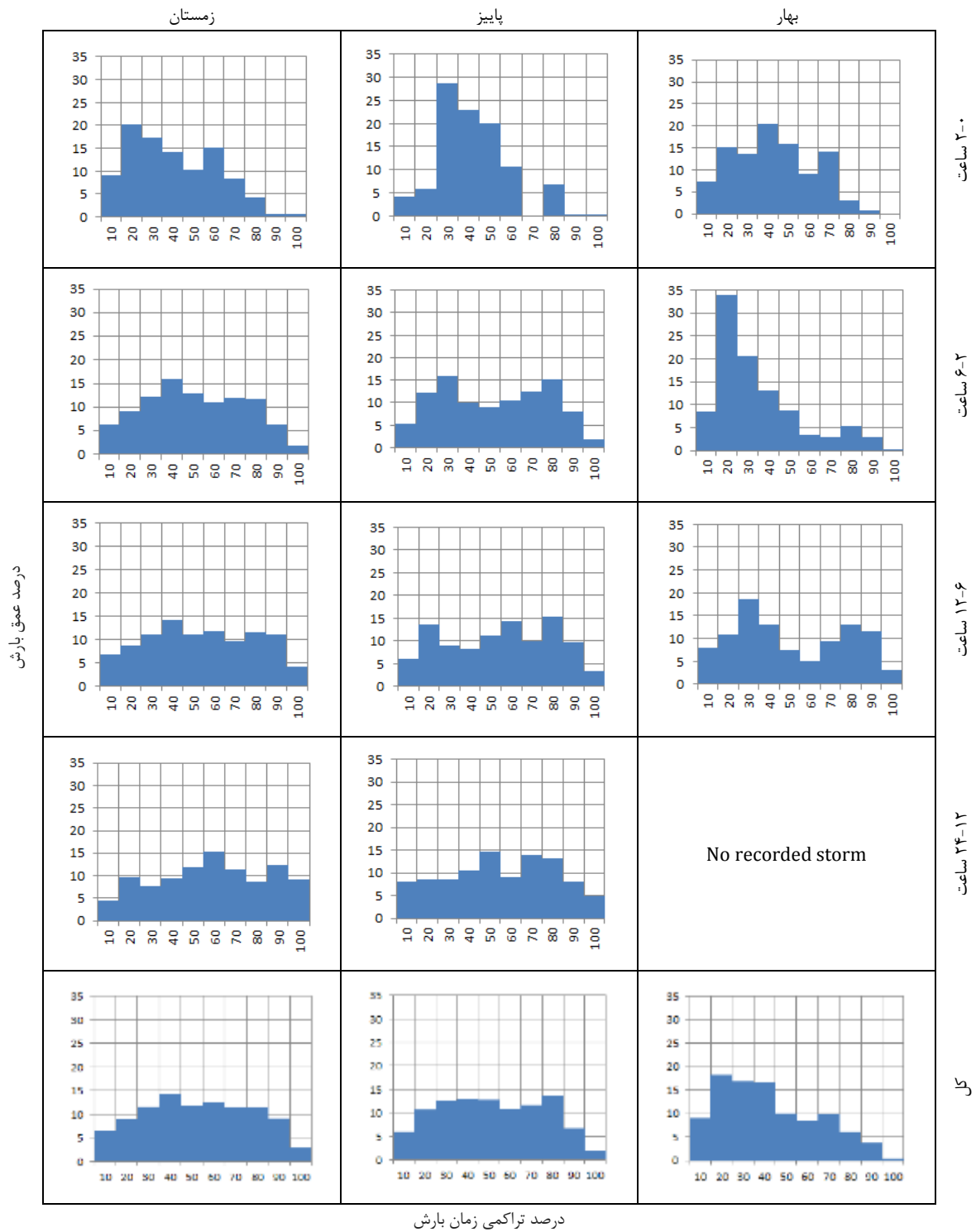
شکل ۶- منحنی‌های هاف در فصول متفاوت و کلاس‌های مختلف مدت دوام بارش در ایستگاه گتوند



شکل ۷- هیستوگراف‌های بارش طرح با احتمال ۵۰ درصد در فصول مختلف سال و کلاس‌های مختلف مدت دوام بارش در ایستگاه گتوند



شکل ۸- منحنی‌های هاف در فصول مختلف (به‌غیر از تابستان) و کلاس‌های مختلف دوام بارش در ایستگاه اهواز



شکل ۹- هیتوگراف‌های بارش طرح با احتمال ۵۰ درصد فصول مختلف سال و کلاس‌های مختلف مدت دوام بارش در ایستگاه اهواز

فصل بهار و پاییز در طول مدت دوام آن، حالت نسبتاً ثابتی را دارا بود.

با مقایسه هیئوگراف مربوط به بارش‌های کوتاه مدت (۰ تا ۲ ساعت) ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصل زمستان می‌توان نتیجه گرفت که اوج شدت رگبار در سد دز در بازه زمانی دهک چهارم مدت دوام باران رخ می‌دهد در حالی که در ایستگاه عبدالخان، اوج بارش‌ها متعلق به دهک ششم بود. ضمناً اوج بارش‌ها در گتوند برای دسته بارشی مذکور در زمستان در بازه زمانی دهک سوم (و پنجم) روی می‌دهد. حال آن‌که در ایستگاه اهواز اوج بارش‌ها از همه ایستگاه‌های دیگر زودتر (در دهک دوم) ظاهر می‌شود.

در فصل زمستان برای رگبارهای با مدت دوام طولانی (۱۲-۲۴ ساعت) دهک اوج بارش‌ها در ایستگاه سد دز و گتوند، دهک هفتم در ایستگاه اهواز دهک ششم ولی در ایستگاه عبدالخان دهک سوم بود هرچند شدت بارش‌ها در دهک‌های مختلف و در ایستگاه‌های مذکور تفاوت قابل ملاحظه‌ای نداشته است. در حالی که برای رگبارهای با مدت دوام ۰ تا ۲ ساعت، شدت بارش در دهک‌های مختلف، تفاوت زیادی نشان داد (شکل‌های (۳)، (۵)، (۷) و (۹)).

با مقایسه نمودارهای رگبارهای مربوط به کلاس‌های مختلف زمانی، با نمودار کلی در هر فصل، می‌توان نتیجه گرفت که عدم تفکیک بارش‌ها براساس مدت دوام آن‌ها، موجب ایجاد شکل زنگوله‌ای تقریباً متقارن یا الگوی ریزش یکنواخت بارش برای این ایستگاه‌ها می‌گردد. در مطالعات قبلی، تفکیک بارش‌ها بر اساس فصل بارش مشاهده نشد. در مقایسه با نتایج حاصل از دیگر تحقیقات، نمودارهای ۰-۲ ساعت شبیه نتایج حاصل از تحقیق Rao و Azli (۲۰۱۰) در مالزی می‌باشد. که ایشان با توجه به کل تعداد رگبارهایشان (۵۷۸۷ رگبار) گزارش دادند که حدود ۴۳/۴ درصد رگبارها در چارک دوم نازل می‌شود. این نتیجه از نظر چارک دومی بودن رگبارها در این چهار ایستگاه مطابقت دارد ولی نتایج هیچ‌یک از ایستگاه‌ها از نظر کمی با نتیجه Rao و Azli (۲۰۱۰) همخوانی ندارد و به‌نظر می‌رسد منشأ ریزش‌های جوی علت این اختلاف باشد.

در دیگر بازه‌های زمانی، در مطالعه حاضر بارش به‌سمت یکنواخت شدن میل می‌کند که با نتایج حاصل از تحقیق Eskandari (۱۹۹۶) در تهران کاملاً مغایر است. نمودارها و محاسبه مقدار بارش چارک‌ها در این مطالعه با نتایج Hatami-Yazd و همکاران (۲۰۰۵) در خراسان نیز تفاوت عمده داشت. شباهتهایی بین نتایج این مطالعه با مطالعات Mollaie و Telvari (۲۰۰۹) در استان کهگیلویه و بویراحمد مشاهده شد. در هر دو مطالعه، با افزایش مدت دوام بارش، میزان اوج عمق

با توجه به هیئوگراف‌های بارش طرح برای احتمال ۵۰ درصد، روند کلی بارش‌ها در هر ۴ ایستگاه، جابه‌جایی مرکز ثقل بارش از چارک دوم بارش (در بارش‌های کوتاه‌مدت)، به سمت چارک سوم (در بارش‌های طولانی‌مدت) را نشان می‌دهد. همچنین در یک روند کلی می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش مدت زمان بارش، روند بارش‌ها به سمت یکنواخت شدن میل می‌کند. سرعت این یکنواخت شدن در فصل زمستان بیشتر از پاییز و در بهار از دو فصل دیگر کندتر است. بارش‌های ۱۲ تا ۲۴ ساعت در سد دز و عبدالخان و ۲ تا ۶ ساعت زمستان گتوند از این روند مستثنا هستند. زیرا حتی با افزایش مدت دوام بارش، در این دو ایستگاه، هیئوگراف بارش طرح وضعیت شدت بارش مساوی را در زمان‌های مساوی متوالی نشان نمی‌دهد (شکل‌های (۳) و (۵)). تجمیع بارش‌ها در هر فصل برای هر چهار ایستگاه نمودار را تقریباً یکنواخت و به حالت زنگوله‌ای متقارن در می‌آورد. 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 زمستان و پاییز گتوند در این مورد استثنا هستند. بجز در اهواز، در هیچ ایستگاهی در یک بازه ده درصدی از زمان بارش بیش از ۲۵ درصد عمق بارش به زمین نرسیده است. بارش‌های ۰-۲ ساعت پاییز اهواز با ۲۸ درصد بارش در ده درصد سوم و ۲-۶ ساعت زمستان اهواز با ۳۴ درصد عمق بارش در ده درصد دوم بارش از این روند پیروی نکرده‌اند. وجود بازه‌های خالی یا به‌میزان بسیار کم بارش در این ایستگاه در چند نمودار مشهود است. علت این پدیده اقلیم گرم و خشک اهواز و وقوع رگبارهای شدید در این منطقه در فصول پاییز و زمستان ارزیابی می‌شود.

به‌طوری‌که از شکل‌های (۸) و (۹) می‌توان فهمید در فصل بهار ایستگاه اهواز بارش طولانی‌مدت ثبت شده برای رسم نمودارهای هاف در کلاس زمانی ۱۲-۲۴ ساعت وجود نداشت. شاید دلیل این امر حاکمیت اقلیم گرم و خشک در منطقه است. بررسی‌ها نشان داد که، در ایستگاه اهواز بارش‌های فصل بهار به حالت رگبارهای شدید کوتاه مدت رخ می‌دهد. ضمناً ایستگاه عبدالخان نیز تقریباً شرایط مشابه دارد، گرچه بارش ثبت شده بلندمدت به تعداد کافی برای رسم نمودار در کلاس زمانی ۱۲-۲۴ ساعت را داشت اما، تعداد این بارش‌ها نسبت به بارش‌های کوتاه‌مدت در همان ایستگاه کم بود. بارش بهار در دو ایستگاه دز و گتوند (به‌دلیل قرارگرفتن در ارتفاع بالاتر و کوهستانی بودن)، دارای مدت دوام طولانی‌تری بودند. در حالت کلی، در هر چهار ایستگاه مورد مطالعه، شدت رگبارهای فصل زمستان نسبت به دو

#### ۵- سپاسگزاری

بدین وسیله از داوران محترم این مقاله که با صرف وقت ارزشمند خود موجب بهبودی کیفیت این مقاله گردیدند، سپاسگزاری می‌شود. ضمناً از سازمان آب و برق خوزستان که داده‌های کمورد نیاز را در اختیار محققین قرار داد، قدردانی می‌شود.

#### ۶- مراجع

- Ahmadzadeh F, "Mathematical time distribution modelling of tabriz storm and time interval and quantity analysis of storm using time series", MSC Dissertation, Department of Irrigation, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, I.R. IRAN. 2005, (In Persian).
- Awadallah AG, Younan NS, "Conservative design rainfall distribution for application in arid regions with sparse data", *Journal of Arid Environments*, 2012, 79, 66-75.  
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.11.032>
- Azli M, Rao R, "Development of huff curves for peninsular malaysia", *Journal of Hydrology*, 2010, 388, 77-84.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.04.030>
- Baek SS, Choi DH, Jung JW, Lee HJ, Yoon KS, Cho KH, "Optimizing low impact development (lid) for stormwater runoff treatment in urban area, korea: experimental and modeling approach", *Water Research*, 2015, 86, 122-131.  
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.08.038>
- Baniasadi M, "Determination the type of temporal rainfall distribution in Kerman proves", *Irrigation Engineering and Water*, 2011, 5, 62-74 (In Persian).
- Bezak N, Šraj M, Mikoš M, "Copula-based IDF curves and empirical rainfall thresholds for flash floods and rainfall-induced landslides", *Journal of Hydrology*, 2016, 541, 272-284.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.02.058>
- Bidel R, Telvari A, Goodarzi M, "A study on rainfall temporal patterns in Kermanshah province", *Journal of Watershed Engineering and Management*, 2009, 1 (3), 189-201 (In Persian).
- Bozorgzadeh M, "Temporal distribution of rainfall used for design flood", *Water and Development*, 1995, 3 (1), 35-49 (In Persian).
- Bustami RA, Rosli NA, Adam JH, Li KP, "Development of temporal rainfall pattern for southern region of Sarawak", *Journal of Civil Engineering, Science and Technology*, 2012, 3 (Special Issue), 17-23.  
<https://doi.org/10.33736/jcest.98.2012>
- Chuckwuma GO, Schwab GO, "Procedure for developing design hyetographs for small watersheds", *Transactions of the ASAE*. 1983, 26 (5), 1386-1389.  
<https://doi.org/10.13031/2013.34137>
- Davudirad AA, Telvari A, Erfanian M, "Determination of rainfall temporal pattern in Daryache-e-Namak basin", *Pajouhesh and Sazandegi*, 2007, 74:193-199 (In Persian).
- Dolšak D, Bezak N, Šraj M, "Temporal characteristics of rainfall events under three climate types in Slovenia", *Journal of Hydrology*, 2016, 541, 1395-

بارش رسیده به زمین، از چهارک دوم به سمت چهارک سوم میل می‌کند. گرچه در منطقه مورد مطالعه آنان، اثر از استهلاک میزان اوج و میل به سمت یکنواختی بارش نیست. بیشترین شباهت در میان نتایج این مطالعه، با نتایج کار Shokri-Koochak و همکاران (۲۰۱۱) برای ایستگاه ایدنک، واقع در استان خوزستان، حوضه رودخانه مارون مشاهده شد. در آن مطالعه بارش‌های زیر شش ساعت غالباً چارک دومی بوده و هرچه زمان بارش افزایش می‌یافت، بیشترین عمق بارش به سمت چارک سوم میل می‌کرد. گرچه در آن ایستگاه ایدنک نیز بارش حالت یکنواخت به خود نمی‌گرفت.

در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت که منحنی‌های رسم شده در این مطالعه (هاف و هیتوگراف‌های بارش طرح) در مدیریت بهینه منابع آب خوزستان از جمله جمع‌آوری آب باران در فصول مختلف و دفع صحیح سیلاب‌های شدید از طریق محاسبه صحیح مقدار دبی اوج سیل و ابعاد زهکش‌های سطحی با توجه به منحنی‌های مذکور می‌تواند مفید واقع شود.

#### ۴- نتیجه‌گیری

شناخت الگوی ریزش‌های جوی در مدیریت آب از اهمیت فراوانی برخوردار است. در مطالعه حاضر تلاش شد که با توجه به اندازه‌گیری‌های ثبت شده توسط باران‌نگارها در چهار ایستگاه مختلف حوضه رودخانه کارون بزرگ، منحنی‌های هاف که نشان‌دهنده الگوهای ریزش بارش در طی مدت زمان ریزش هستند با جزئیات کامل شرح و نشان داده شوند. واضح است که سیل معلول ریزش‌های جوی است. این پدیده هر سال در بخش‌های مختلف کشور روی می‌دهد و تلفات جانی و مالی زیادی به همراه دارد. هرچند جلوگیری از پدیده طبیعی سیلاب بدون احداث مخازن و سایر سازه‌های هیدرولیکی تقریباً امکان‌پذیر نیست ولیکن می‌توان با توجه به نمودارهای ارائه شده برای هیتوگراف بارش طرح، که خود از منحنی‌های هاف مشتق می‌شود، مقدار دبی اوج سیلاب طرح را با دوره‌های برگشت مختلف تخمین زد. این کار مهندسین آب را در طراحی صحیح ابعاد سازه‌های هیدرولیکی مانند کالورت‌ها، زهکش‌های سطحی مربوط به شهرها، فرودگاه‌ها و اتوبان‌ها یاری کند و علاوه بر جلوگیری از تلفات انسانی و خسارات مالی، ما را در جمع‌آوری آب ناشی از باران برای استفاده در مواقع دوره‌های خشکی کمک کند. در ادامه این تحقیق تعیین الگوی ریزش‌های جوی ایستگاه‌های مختلف باران‌سنجی کشور با روش جدید موسوم به دودویی پیشنهاد می‌گردد.

- Study: Babolsar)", Irrigation Engineering and Water, 2013, 13, 102-112 (In Persian).
- Keifer CJ, Chu HH, "Synthetic storm pattern for drainage design", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, 1957, 83 (HY4), 1-25.  
<https://doi.org/10.12691/ajwr-4-1-1>
- Khaksafidi A, Noura N, Biroudian N, Najafi Nejad A, "Rainfall temporal distribution patterns in sistán and balouchestan province (Iran)", Journal of Water and Soil Conservation, 17 (1), 45-61 (In Persian).
- Loukas A, Quick MC, "Precipitation distribution in coastal British Columbia", Water Resources Bulletin, 1994, 30 (4), 705-727.  
<https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1994.tb03324.x>
- Mollaie A, Telvari A, "Determination of rainfall temporal pattern in Kohkiluyeh and Boyerahmad province by Pilgrim method", Journal of Watershed Engineering and Management, 2009, 1 (2), 70-78 (In Persian).
- Noura N, Khaksafidi A, Raziee T, "Comparison of pilgrim and huff methods for determination of temporal rainfall pattern in zabol synoptic station", Journal of Water and Soil Conservation, 2010, 17 (3), 143-160 (In Persian).
- Radmanesh F, Behniya A, Porhemmat J, Akhond\_Ali AM, Sedghi H, "Rainfall temporal distribution patterns in watershed roodzard", Scientific Journal of Agriculture, 2007, 30 (1), 101-114 (In Persian).
- Raziee T, Alijani B, "Determination of short time rainfall temporal pattern in Tehran province", Nivar, 2002, 46, 55-70 (In Persian).
- Safshekan F, Pirmoradiyan N, Sharifan RA, "Simulation of rainfall runoff hydrograph considering the pattern of temporal rainfall and using the ANN in Casilian watershed", Journal of Watershed, 2011, 19, 3-12 (In Persian).
- SCS, "Urban hydrology for small watersheds", Technical Bulletin, 55, Appendix B: B-1 and B-2, 1986.
- Shokri\_Koochak S, Radmanesh F, Behnia AK, Akhond\_Ali AM, "Rainfall time-distribution pattern determination (Case study: Idanak Rain gage recording station)", The First National Conference of Meteorology and Agricultural Water Management, 2011 (In Persian).
- Todisco F, "The internal structure of erosive and non-erosive storm events for interpretation of erosive processes and rainfall simulation", Journal of Hydrology, 2014, 519 (D), 3651-3663.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.11.002>
- Vernieuwe H, Vandenberghé S, De Baets B, Verhoest N, "A continuous rainfall model based on vine copulas", Hydrology and Earth System Sciences, 2015, 19, 2685-2699.
- Wang W, Yin S, Xie Y, Liu B, Liu Y, "Effects of four storm patterns on soil loss from five soils under natural rainfall", Catena, 2016, 141, 56-65.  
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.02.019>
- Wu SJ, Yang JC, Tung YK, "Identification and stochastic generation of representative rainfall temporal patterns in Hong Kong territory", Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2006, 20, 171-183.  
<https://doi.org/10.1007/s00477-005-0245-5>
1405.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.08.047>
- Eskandari A, "Determination the type of temporal rainfall distribution using the  $\chi^2$  and its application in on of Iran cities MSC dissertation", Department of, Faculty of Engineering, University of Sharif, I.R. IRAN (In Persian).
- Ewea HA, Elfeki AMM, Bahrawi JA, "Sensitivity analysis of runoff hydrographs due to temporal rainfall patterns in Makkah Al-Mukkramah region, Saudi Arabia", Arabian Journal of Geosciences, 2016, 9, 424. <https://doi.org/10.1007/s12517-016-2443-5>
- Ghassabi Z, Kamali GA, Meshkati AH, Hajam S, Javaheri N, "Time distribution of heavy rainfall events in south west of IRAN", Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics, 2016, 145, 53-60.  
<https://doi.org/10.1016/j.jastp.2016.03.006>
- Golcar F, "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), 2007, 1478-1486.
- Golian S, Saghafian B, Maknoon R, "Derivation of probabilistic thresholds of spatially distributed rainfall for flood forecasting", Water Resources Management, 2010, 24 (13), 3547-3559.  
<https://doi.org/10.1007/s11269-010-9619-7>
- Hatami-Yazd H, Taghvaei-Abrishami AA, Ghahraman B, "Rainfall temporal pattern for khorasan province", Iran-Water Resources Research, 2005, 1 (3), 61-71 (In Persian).
- Hershfield DM, "Extreme rainfall relationship", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, 1962, 88 (HY6), 73-92. <https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0000818>
- Huff FA, "Time distribution of rainfall in heavy storms", Water Resources Research, 1967, 3 (4), 1007-1019.
- Huff FA, "Time distribution of heavy rainstorms in Illinois", Illinois State Water Survey, Champaign, Circular, 1990, 173 pages.  
<https://doi.org/10.1029/WR003i004p01007>
- Jiang P, Yu Z, Gautam MR, Yuan F, Acharya K, "Changes of storm properties in the United States: observations and multimodel ensemble projections", Global and Planetary Change, 2016, 142, 41-52.  
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.05.001>
- Kang MS, Koo JH, Chun JA, Her YG, Park SW, Yoo K, "Design of drainage culverts considering critical storm duration", Bio systems Engineering, 2009, 104, 425-434.  
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.07.004>
- Kao SC, Govindaraju RS, "A bivariate frequency analysis of extreme rainfall with implications for design", Journal of Geophysical Research, 2007, 112, d13119. <https://doi.org/10.1029/2007JD008522>.
- Kao SC, Govindaraju RS, "Trivariate statistical analysis of extreme rainfall events via the Plackett family of copulas", Water Resources Research, 2008, 44, w02415.  
<https://doi.org/10.1029/2007WR006261>
- Karimi V, Solaimani K, Habibnejad Roshan M, Shahedi K, "Comparison of some rainfall temporal pattern determination for urban flood estimation (Case

Yazdi J, Choi HS, Kim JH, "A methodology for optimal operation of pumping stations in urban drainage systems", Journal of Hydro-Environment Research, 2016, 11, 101-112.

<https://doi.org/10.1016/j.jher.2015.09.001>

Yen BC, Chow VT, "Design hyetographs for small drainage structures", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, 1980, 106 (HY6), 1055-1076.

<https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0005442>



## EXTENDED ABSTRACT

# Derivation of Huff Curves for the Four Stations in Great Karun River in Khuzestan Province S

Yagob Dinpashoh<sup>\*</sup>, Esmat Sadat Alavi

Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz 5166614766, Iran

**Received:** 25 June 2018; **Review:** 02 August 2020; **Accepted:** 21 October 2020

### Keywords:

Design storm, Temporal distribution of rainfall, Design flood, Huff curve, Hyetograph.

## 1. Introduction

The first step in scientific water resources management is good understanding of the temporal precipitation pattern. One of the main tools in understanding the rainfall pattern is plotting the Huff curves. This is true especially in arid and semi-arid regions encountered with water shortages. These help decision makers in understanding temporal characteristics of rainfall, which in turn can help efficient management of water resources. Temporal distribution of rainfalls interested by many investigators in the field of hydrology such as Yen and chow (1980), Loukas and Quick (1994), Todisco (2014), Huff (1967 & 1990) and many others. Furthermore, illustration of Huff curves for different rain gauge stations performed by many researchers such as Azli and Rao (2010), Awadallah and Younan (2012), Yazdi et al. (2016), Shokri-koochak et el. (2011), and many others. In a recently published work by Ewea et al. (2016) the Huff curves were plotted for the city of Makkah Al-Mukkaramah in Saudi Arabia. Based on our best knowledge, there is no comprehensive scientific work carried out on illustration of Huff curves in Great Karun River basin, located in south west of Iran. Therefore, the main objective of this study is illustration of Huff curves and analysis of storm pattern during the rainfall occurrence in the four selected stations, including the Dez dam, Abdul-Khan, Gotvand and Ahwaz. These selected stations are located in Karun River basin, Khuzestan province, Iran.

## 2. Methodology

The study area is Karun River basin located in Khuzestan province, Iran. The four stations selected for analysis in this research. Figure 1 shows the geographical location of the selected stations. The total number of storms analyzed here, is equal to 1273. These storms classified in to the five different classes based on duration of rainfalls. As no sufficient storms recorded in summer season in the selected sites, therefore, analysis performed for three other seasons (i.e. spring, autumn, and winter).



**Fig. 1** Location of the selected stations in Karoon River basin.

### 3. Results and discussion

Fig. 2 shows the plotted Huff curves in different seasons and in distinct duration of storms in the station Abdolkhan. The first panel in Fig. 2 shows the Huff curves for the storms, which their durations are between 0-2 hours. The second, third and fourth panels in Fig. 2 represent the storms for durations of 2-6 (hr), 6-12 (hr), and 12-24 (hr), respectively. In Fig. 2 each column belonged to the storms of a distinct season. According to the 50% probability Huff curves, the design hyetographs plotted for each class of storms in the mentioned station, which is shown in Fig. 3. For each of the stations, the Huff curves as well as design hyetographs were plotted in this paper. As mentioned before, the Figs. 2 and 3 show the Huff curves and design hyetograph, respectively in the station Abdolkhan. Similar figures were plotted in this research (not shown here).

### 4. Conclusions

Temporal pattern of storms was analyzed in the present study for the four selected stations in Great Karun River basin, in the southwest of Iran. In this study, the recorded storms in each of the chosen stations divided into the five classes according to their storms duration. Furthermore, Huff curves plotted for each of the three seasons of the year. Summer had no enough recorded rainfall event at this part of Iran. Design hyetographs for each of the stations were illustrated using the recorded rainfalls, accordingly. It can be concluded that as the duration of storms increases the peak of the rainfall intensity moves from the second quartile to the third one. Furthermore, as the duration of storms increases, the percent of rainfall received in each of the four quartiles tend to be the same. This is especially true for events occurred in winter and spring seasons. Also, using all events recorded for a certain station, in a single class, it can be concluded that, the design hyetographs extracted from the 50% Huff curve were less and more symmetric for the chosen stations. Furthermore, design hyetographs of the selected stations in the case of short duration storms showed to be skewed. Moreover, the types of storms for most of them detected to be the second quartile type. In contrast, long time duration storms are generally found to be the third quartile, having skewed to right. In general, it can be concluded that the illustrated curves would be helpful in scientific management of fresh water in the great Karun River basin. Water crisis would be arising soon if no enough attention were paid to the scientific management of water in this fragile ecosystem at this part of Iran.

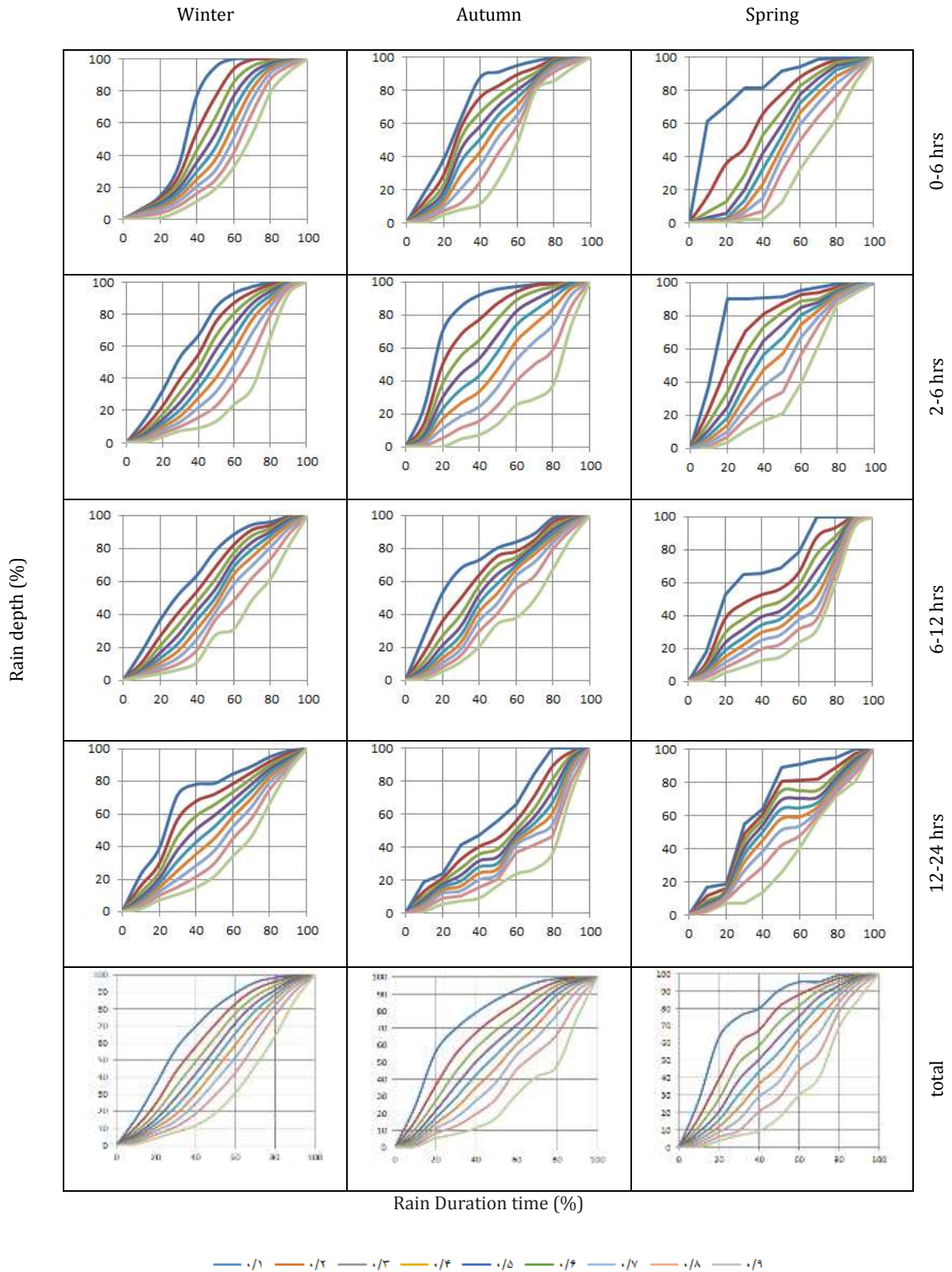
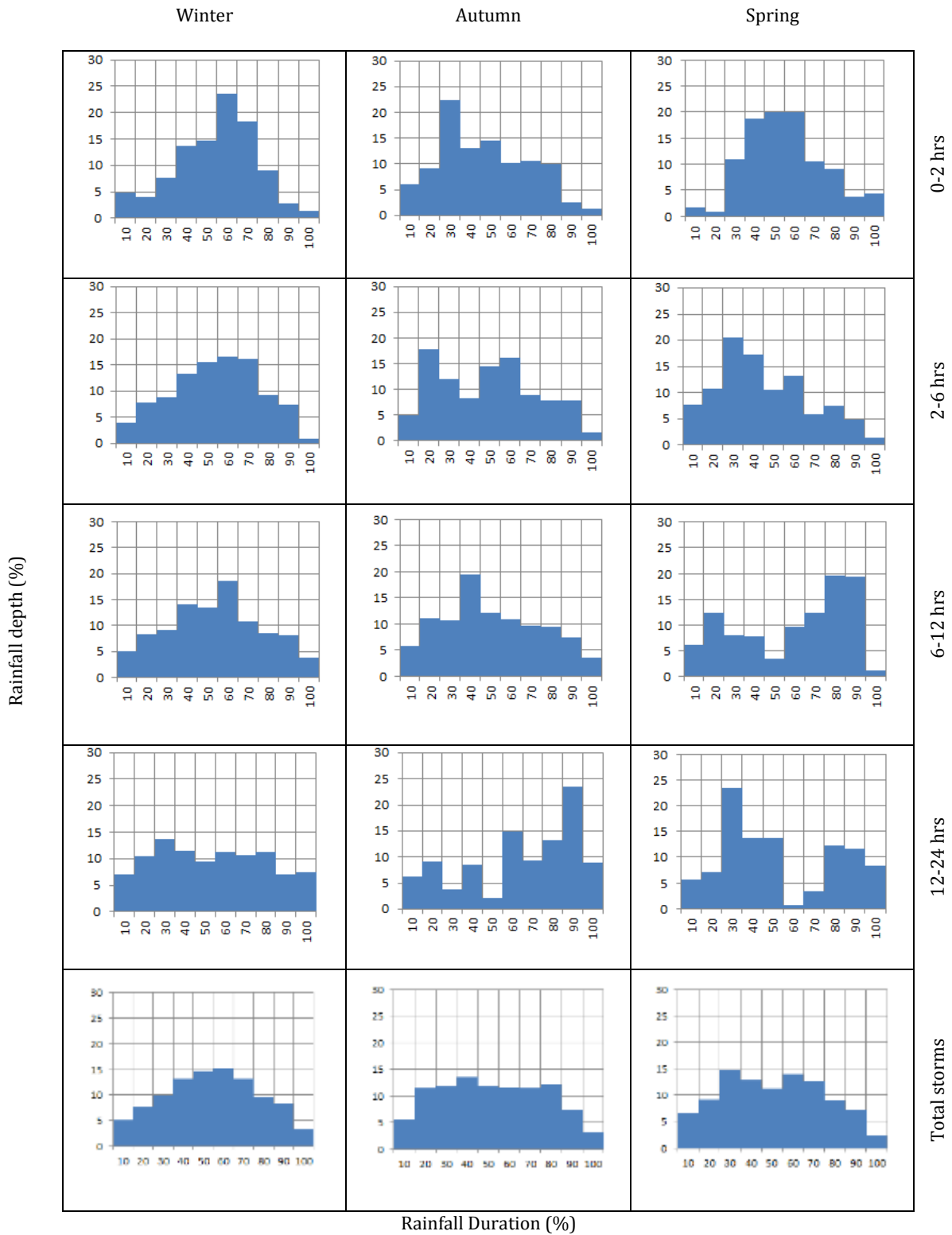


Fig. 2. The set of Huff curves in the station Abdolkhan for different seasons and durations



**Fig. 3.** Rainfall hyetographs plotted by 50% probability in different seasons (columns) and different durations (panels) in the station Abdolkhan.

## 5. References

- Ahmadzadeh F, Fakheri Fard A, Dinpajooch Y, Farsadizadeh D, Hosseinzadeh Dalir A, "Determination of Time Distributed Regression Model for Intense Rainfalls of Tabriz", *Water and Soil Science*, 2010, 19 (2), 1-11. (Persian with English Abstract)
- Awadallah AG, Younan NS, "Conservative design rainfall distribution for application in arid regions with sparse data", *Journal of Arid Environments*, 2012, 79, 66-75. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.11.032>
- Azli M, Rao R, "Development of huff curves for peninsular Malaysia", *Journal of Hydrology*, 2010, 388, 77-84. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.04.030>
- Ewea HA, Elfeki AMM, Bahrawi JA, "Sensitivity analysis of runoff hydrographs due to temporal rainfall patterns in Makkah Al-Mukkramah region, Saudi Arabia", *Arabian Journal of Geosciences*, 2016, 9, 424. <https://doi.org/10.1007/s12517-016-2443-5>
- Huff FA, "Time distribution of rainfall in heavy storms", *Water Resources Research*, 1967, 3 (4), 1007-1019. <https://doi.org/10.1029/WR003i004p01007>
- Huff FA, "Time distribution of heavy rainstorms in Illinois", *Illinois State Water Survey, Champaign, Circular*, 1990, 173 pages. <https://doi.org/10.1029/WR003i004p01007>
- Loukas A, Quick MC, "Precipitation distribution in coastal British Columbia", *Water Resources Bulletin*, 1994, 30 (4), 705-727. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1994.tb03324.x>
- Shokri\_Koochak S, Radmanesh F, Behnia AK, Akhond\_Ali AM, "Rainfall time-distribution pattern determination (Case study: Idanak Rain gage recording station)", *The First National Conference of Meteorology and Agricultural Water Management*, 2011 (In Persian).
- Todisco F, "The internal structure of erosive and non-erosive storm events for interpretation of erosive processes and rainfall simulation", *Journal of Hydrology*, 2014, 519 (D), 3651-3663. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.11.002>
- Yazdi J, Choi HS, Kim JH, "A methodology for optimal operation of pumping stations in urban drainage systems", *Journal of Hydro-Environment Research*, 2016, 11, 101-112. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2015.09.001>
- Yen BC, Chow VT, "Design hyetographs for small drainage structures", *Journal Hydraulic Division, ASCE*, 1980, 106 (HY6), 1055-1076. <https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0005442>