

بسط منحنی‌های هاف برای پنج ایستگاه منتخب در شرق دریاچه ارومیه

ساینا وکیلی آذر^{۱*} - یعقوب دین پژوه^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۱۸

چکیده

در این مطالعه، با استفاده از آمار رگبارهای به‌ثبت رسیده (۵۱۷ رویداد) در ۵ ایستگاه عجب‌شیر، آذرشهر، بناب، بستان‌آباد و لبقوان (واقع در شرق دریاچه ارومیه)، منحنی‌های هاف بسط داده شد. کل رویدادهای منتخب براساس مدت دوام رگبار در چهار کلاس متمایز به‌شرح ۱- صفر تا دو، ۲- دو تا شش، ۳- شش تا دوازده و ۴- بیش از دوازده ساعت دسته‌بندی شدند. در ادامه به‌ازای درصد احتمالات ۱۰٪، ۲۰٪، ... و ۹۰٪ منحنی‌های هاف برای هر دسته رسم گردید. همچنین منحنی‌های هاف برای کل رویدادها (بدون دسته‌بندی) در هر پنج ایستگاه نیز تهیه شد. علاوه بر این، سه شاخص جدید که نشان‌دهنده نسبت درصد عمق بارش از آغاز بارندگی تا پایان ۲۵٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ زمان بارندگی منحنی هاف ۵۰ درصد به منحنی هاف ۹۰ درصد می‌باشند، به‌صورت I,S و Q تعریف شد. هیئت‌رگبار طرح در هر ایستگاه برای کل رویدادها (بدون کلاس‌بندی) بازای منحنی هاف ۵۰ درصد به‌دست آمد. همچنین، مدل ریاضی منحنی‌های هاف به فرم مدل لاجستیک بسط و پارامترهای آن تخمین زده شدند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، برای کلاس‌های با مدت دوام کمتر از ۶ ساعت بخش قابل توجهی از بارش در چارک‌های اول یا دوم زمانی رخ می‌دهد. این درحالیست که برای بارش‌های با مدت دوام بیش از ۶ ساعت، بارش‌ها با شدت کم آغاز شده و به‌تدریج تا آخر بارندگی بر شدت آن‌ها افزوده می‌شود. با توجه به نتایج حاصله، روند تغییرات مقادیر شاخص‌های I,S و Q به‌صورت $I > Q > S$ می‌باشد. نتایج نشان داد که مدل لاجستیک قادر است رگبارها را در ایستگاه‌های منتخب به‌خوبی برازش کند، طوریکه ضریب همبستگی بین مشاهدات و مدل به‌دست آمده در محدوده (۰/۹۷۸-۰/۹۹۸) بود که از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

واژه‌های کلیدی: بارش طرح، توزیع زمانی بارش، دریاچه ارومیه، منحنی‌های هاف

مقدمه

پهنه‌بندی کردند. آن‌ها به منظور انتخاب الگوی رگبار در برنامه‌های کاربردی، عوامل موثر بر بارش را با جداول توافقی مورد بررسی قرار دادند. عزلی و رائو (۲) منحنی‌های هاف را برای سیزده ایستگاه واقع در شبه جزیره مالزی با استفاده از داده‌های ساعتی بارش رسم کردند. بنابه نظر ایشان این منحنی‌ها برای ایستگاه‌های مذکور دارای الگوی مشابهی بودند. همچنین آن‌ها نتیجه گرفتند که منحنی‌های هاف شبه جزیره مالزی، بسیار شبیه به منحنی‌های نظیر ایالات متحده است. اوادا... و یانان (۱) با استفاده از داده‌های رگبارهای ثبت شده در عربستان سعودی توزیع رگبارها را مطالعه نمودند. ایشان تحلیل بارش-رواناب را به‌منظور تعیین دبی اوج سیلاب‌ها انجام دادند. بوستامی و همکاران (۳) الگوی توزیع زمانی بارش را برای بخش جنوبی شهر سراواک واقع در کشور مالزی توسعه دادند. نتایج حاکی از آن بود که توزیع زمانی بارش‌های منطقه مورد مطالعه متفاوت با الگویی بود که قبلاً توسط سازمان آب مالزی بسط داده شده بود. اوی و همکاران (۴) با استفاده از داده‌های بارش، ایستگاه‌های باران‌سنجی مکه در یک دوره بیست ساله، الگوی توزیع بارندگی را مشخص

فهم دقیق الگوی توزیع زمانی عمق رگبار در زمان وقوع آن از اهمیت بسزایی برخوردار است. مثلاً برای جمع‌آوری و انتقال آب ناشی از بارش‌های شدید لازم است ابعاد زهکش‌های شهری براساس تجزیه و تحلیل توزیع بارش در مدت دوام آن تخمین زده شود. منحنی‌های هاف، نمودار عمق بارش رسیده به زمین را در طول مدت دوام آن (بصورت بی‌بعد) بازای احتمالات مختلف نشان می‌دهد. به همین دلیل، مطالعه الگوی توزیع بارش با روش رسم منحنی‌های هاف مورد توجه بسیاری از هیدرولوژیست‌ها قرار گرفته است. وو و همکاران (۱۵) تعیین الگوی زمانی بارندگی را در تحلیل هیدروسیسستم‌ها ضروری دانسته‌اند. ایشان با استفاده از روش تجزیه خوشه‌ای الگوی بارندگی بی‌بعد را در روی نقشه هنگ کنگ

۱ و ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب و دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

(Email: Sainavazar@yahoo.com)

*- نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jsw.v32i6.72443

ضرورت دارد. به نظر می‌رسد، انجام چنین مطالعه‌ای ضروری باشد. تا کنون در این حوضه، منحنی‌های هاف (با داده‌های به‌روز شده) ترسیم نشده است. هدف این مطالعه، رسم منحنی‌های هاف در ایستگاه‌های عجب‌شیر، آذرشهر، بناب، بستان‌آباد و لیقوان (واقع در منطقه شرق دریاچه ارومیه) با داده‌های به‌روز شده و تهیه هیتوگراف بارش طرح باتوجه به منحنی هاف ۵۰ درصد می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، شرق حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. ۵ ایستگاه در این حوضه برای تحلیل انتخاب شد. جدول ۱ موقعیت جغرافیایی و خلاصه آماری بارش‌های این ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. شکل ۱ نیز موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مذکور را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. در این مطالعه، برای تمییز دادن رگبارها از هم فرض شد که فاصله‌ی زمانی بین پایان رگبار و آغاز رگبار بعدی حداقل برابر با یک ساعت است. در صورتیکه این فاصله کمتر از شصت دقیقه باشد، این دو در هم ادغام شده و به‌عنوان یک رخداد مستقل در نظر گرفته شد. لازم به اشاره است که برای تمییز دادن رگبارها از همدیگر یک فاصله زمانی ثابت که برای همه اقلیم‌های مختلف قابل استفاده باشد، وجود ندارد و در مطالعات مختلف این فاصله زمانی با عددهای مختلفی اشاره شده است مثلاً هاف (۸) در سال ۱۹۶۷ برای منطقه ایالت ایلینویز آمریکا مدت زمان ۶ ساعت را برای همه فصول سال به‌طور ثابت در نظر گرفته است. در مطالعه فعلی، برای ناحیه شرق دریاچه ارومیه این بازه زمانی یک ساعته، به صورت سلیقه‌ای و با توجه به خصوصیات اقلیمی منطقه‌بکار گرفته شده است.

داده‌ها و روش‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده، شامل مقادیر بارش‌های ساعتی و دقیقه‌ای ثبت شده در ایستگاه‌های باران‌نگار ثبات عجب‌شیر، آذرشهر، بناب، بستان‌آباد و لیقوان در دوره آماری ۱۳۹۴-۱۳۸۰ می‌باشد. رویدادهایی که حداقل عمق بارش آن‌ها ۳ میلی‌متر و مدت دوام بارندگی آن‌ها حداقل ۲۰ دقیقه باشد (به‌طور سلیقه‌ای)، برای تجزیه و تحلیل انتخاب شد. بطوریکه اشاره شد اگر فاصله زمانی بین دو بارش متوالی بیش از یک ساعت بود، این دو بارش به‌طور جداگانه بصورت یک رگبار مستقل در نظر گرفته می‌شد. داده‌ها از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی اخذ گردید.

نمودند. نتایج حاکی از آن بود که قسمت اعظم بارش‌های این منطقه در چارک‌های اول و دوم نازل می‌شود. تودیسکو (۱۳) با استفاده از اطلاعات ۲۲۸ رگبار در ایستگاه ماس (واقع در مرکز ایتالیا) رگبارهای یک دوره آماری پنج ساله (۲۰۰۸ تا ۲۰۱۵) را تحلیل کرد. جیانگ و همکاران (۹) خصوصیات رگبارها شامل مدت دوام، شدت و الگوی بارندگی را در هشت ایستگاه ایالات متحده بررسی کردند. نتایج نشان داد که مدل‌های مذکور قادر به شناسایی تغییرات فصلی رگبارها از نظر مدت دوام آن‌ها هستند. ولی از نظر شبیه‌سازی عمق بارندگی عملکرد خوبی ندارند. قصابی و همکاران (۶) برای محاسبه توزیع زمانی بارندگی در طول مدت دوام آن از تابع سه پارامتری لاجستیک استفاده کردند. برای اینکار از ۳۵ رگبار سنگین استفاده شد. وانگ و همکاران (۱۴) با بررسی الگوی بارندگی مربوط به ۸۴ رگبار در فاصله زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۳ در پکن چین نشان دادند که حدود ۴۰ درصد عمق بارش در یک سوم اول زمان بارندگی نازل می‌شوند. نیوگی و همکاران (۱۲) ارتباط بین بارش و توسعه شهرسازی را در شرق ایالات متحده مطالعه نمودند. نام‌بردگان از بارش‌های روزانه ۴۵۹۳ ایستگاه در ۵۰ سال گذشته استفاده کردند. در ایران نیز در رابطه با توزیع زمانی بارش در طول مدت دوام آن، مطالعات محدودی انجام شده است. مثلاً قهرمان (۵) با توجه به اطلاعات هشت سال دوره آماری، رگبارهای کوتاه مدت خراسان را تحلیل نمود. حاتمی‌یزد و همکاران (۷) با استفاده از گراف‌های باران‌نگار، عمق بارش را در فواصل زمانی مشخص بدست آورده و در چهار چارک متمایز دسته‌بندی کردند. نتایج حاکی از آن بود که در ۳۵ درصد موارد، بیشترین مقدار بارش در چارک دوم رخ می‌دهد. خاک‌سفیدی و همکاران (۱۱) برای تعیین الگوی توزیع زمانی بارش در استان سیستان و بلوچستان از گراف‌های ۹ ایستگاه باران‌سنج ثبات استفاده کردند. برای این‌کار، از اطلاعات رگبارهای شدید هر ایستگاه در تداوم‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعته بهره گرفتند. نتایج حاکی از آن بود که حدود ۸۰ درصد از عمق بارش در تداوم‌های کوتاه مدت (۱، ۲، ۳ و ۶ ساعته) در ۲۵ درصد اول و دوم زمان بارندگی نازل می‌شود. به همین ترتیب، در تداوم‌های بلند مدت (۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعته) درصد زیادی از عمق بارش در چارک سوم زمانی اتفاق می‌افتد. کریمی و همکاران (۱۰) از روش‌های ین و چاو، شیکاگو و بلوک‌های ساختگی برای تعیین الگوی توزیع زمانی بارش در بابل‌سر استفاده نمودند. در سال‌های اخیر وضعیت بسیار نامناسبی برای منابع آب حوضه دریاچه ارومیه حاکم بوده است. به همین خاطر لازم است، مدیریت منابع آب این حوضه با دقت و روش‌های علمی انجام شود. برای این کار، شناخت توزیع زمانی بارش‌ها با توجه به آمار به‌هنگام



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه
 Figure 1- The geographical location of the selected stations in Urmia lake basin

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب و خلاصه آماری بارش‌های آن در حوضه آبریز دریاچه ارومیه
 Table 1 - The geographical location of the selected stations and their rainfall statistics in Urmia lake basin

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	بارش سالانه	تعداد کل رگبارها	انحراف معیار (mm)	ضریب چولگی
Station	Latitude	Longitude	Altitude	Annual precipitation (mm)	Total no of storms	Standard deviation	Skewness
عجبشیر Ajabshir	37°28' 07"	45°53' 41"	1326	245.5	37	93.14	1.07
آذرشهر Azarshahr	37°45'04"	45°58'39"	1416	241.12	100	76.45	-0.64
بناب Bonab	37°24'16"	46°01'31"	1292	259.88	52	101.59	0.72
بستان آباد BostanAbad	37°50'57"	46°49'60"	1733	258.98	126	95.46	0.04
لیقوان Ligvan	37°49'57"	46°25'56"	2274	352.68	202	88.17	0.16

توجه: آماره های مندرج در چهار ستون آخر با توجه به داده‌های مشاهده شده در دوره آماری ثبت شده برای هر ایستگاه می‌باشد.
 Note: The statistics in the last four columns obtained from the time period of each station.

است. برای هر کدام از کلاس‌های مذکور و ایستگاه‌ها منحنی‌های هاف به‌طور جداگانه ترسیم شد. با توجه به این‌که فاصله قائم منحنی‌های هاف ۵۰ درصد و ۹۰ درصد در چارک‌های اول، دوم و سوم زمان رگبار می‌تواند به‌عنوان شاخص‌هایی برای تفکیک الگوی بارندگی ایستگاه‌ها با هم باشد بنابراین، در این مطالعه سه شاخص جدید با توجه به منحنی هاف ۵۰ درصد و ۹۰ درصد به‌شرح زیر معرفی شد: شاخص اول که با نماد S بیان می‌شود، با توجه به اطلاعات چارک اول به‌شرح زیر تعریف گردید:

$$S = \frac{P_{50-25\%t}}{P_{90-25\%t}} \quad (1)$$

جدول ۲ تعداد رگبارهای ایستگاه‌های مورد مطالعه (عجب‌شیر، آذرشهر، بناب، بستان‌آباد و لیقوان) را در دوره‌ی آماری ۱۳۹۴-۱۳۸۰ به تفکیک مدت دوام‌های مختلف بارش نشان می‌دهد. در این مطالعه کل رگبارها (۵۱۷ مورد ثبت شده) بر اساس مدت دوام آن‌ها به چهار کلاس بارشی به شرح ۰-۲ ساعت، ۲-۶ ساعت، ۶-۱۲ ساعت و بیش از ۱۲ ساعت تفکیک و مطابق جدول ۲ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. علاوه بر مراحل فوق، کلیه‌ی رویدادهای بارشی در هر ایستگاه در یک دسته منفرد تجمیع و منحنی هاف کلی برای هر ایستگاه رسم شد. بطوریکه از جدول ۲ می‌توان استنباط کرد، بیشترین تعداد رگبارهای ثبت شده متعلق به کلاس بارشی با مدت دوام دو تا شش ساعت و پس از آن مربوط به کلاس بارشی کمتر از ۲ ساعت

جدول ۲- تعداد رگبارهای مورد استفاده در ایستگاه‌های منتخب.

Table 2- Number of used storms in the selected stations.

نام ایستگاه Station name	مدت دوام رگبار (ساعت) Storm duration (hr)				جمع کل Total sum
	کمتر از ۲ <2	۲ تا ۶ 2-6	۶ تا ۱۲ 6-12	بیش از ۱۲ 12>	
عجبشیر Ajabshir	13	10	11	3	37
آذرشهر Azarshahr	30	39	20	11	100
بناب Bonab	15	19	13	5	52
بستان آباد Bostan Abad	58	34	25	9	126
لیقوان Ligvan	49	89	40	24	202

رگبارها، منحنی‌های مربوط به احتمال ۵۰ درصد در نظر گرفته شدند. به منظور تهیه هیستوگراف رگبار طرح، مقادیر تراکمی درصد عمق بارش به مقادیر جزئی درصد عمق بارش (به صورت غیر تراکمی) تبدیل شدند.

بسط مدل لاجستیک

بنابه توصیه قصابی و همکاران (۶) برای هر دسته از رگبارها مدل ریاضی منحنی هاف ۵۰ درصد برای یکایک ایستگاه‌ها به صورت لاجستیک به شرح زیر بسط داده شد.

$$y = \frac{a}{1+be^{-cx}} \quad (۴)$$

که در آن a، b و c ثابت‌های مدل و y درصد تجمعی عمق ریزش باران و x درصد تجمعی زمان از ابتدای بارندگی می‌باشد. مقادیر a، b و c با روش بهینه‌سازی برای هر منحنی هاف بدست آمد.

نتایج و بحث

برای سهولت بررسی نتایج، ابتدا نتایج مربوط به کلاس‌های بارندگی با مدت دوام‌های مختلف ۴ گانه و سپس نتایج مربوط به کلیه رویدادها (بدون دسته‌بندی رگبارها) برای ایستگاه‌های مورد مطالعه ارائه می‌شود. جدول ۳ مقادیر درصد ریزش بارش را در کلاس‌های مختلف مدت دوام بارش و هر یک از چارک‌های زمانی در ایستگاه‌های منتخب با توجه به منحنی‌های هاف نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که برای ایستگاه عجبشیر، تعداد رویدادهای بارندگی با مدت دوام بیشتر از ۱۲ ساعت کم (فقط ۳ رگبار ثبت شده) موجود بود و لذا تحلیل آن‌ها انجام نشد.

که در آن $P_{50-25\%t}$ عبارت است از مقدار درصد تراکمی عمق بارش که از روی منحنی با احتمال ۵۰ درصد تا آخر چارک اول (صدک ۲۵) زمان رگبار نازل می‌شود. افزون بر این، $P_{90-25\%t}$ به صورت مقدار درصد تراکم عمق بارش که از روی منحنی با احتمال ۹۰ درصد تا آخر چارک اول نازل می‌شود. این دو از محور قائم دیاگرام هاف (به عنوان نمونه شکل ۲ برای دسته رگبارهای با دوام ۲-۰ ساعت) در ۲۵ درصد اول زمان بارش قرائت شده و شاخص S محاسبه گردید. به طور مشابه شاخص‌های دوم و سوم که به ترتیب با نمادهای I و Q بیان می‌شوند، با توجه به اطلاعات چارک دوم و سوم (به ترتیب) به شرح زیر تعریف شد:

$$I = \frac{P_{50-50\%t}}{P_{90-50\%t}} \quad (۲)$$

$$Q = \frac{P_{50-75\%t}}{P_{90-75\%t}} \quad (۳)$$

که در رابطه ۲، $P_{50-50\%t}$ مقدار درصد تراکمی عمق بارش که از روی منحنی با احتمال ۵۰ درصد تا آخر چارک دوم زمان رگبار نازل می‌شود. کمیت $P_{90-50\%t}$ نیز مقدار درصد تراکمی عمق بارش است که از روی منحنی با احتمال ۹۰ درصد تا آخر چارک دوم نازل می‌شود. در رابطه ۳ نیز، $P_{50-75\%t}$ مقدار درصد تراکمی عمق بارش که از روی منحنی با احتمال ۵۰ درصد تا آخر چارک سوم زمان رگبار نازل می‌شود. ضمناً $P_{90-75\%t}$ نیز مقدار درصد تراکمی عمق بارش که از روی منحنی با احتمال ۹۰ درصد تا آخر چارک سوم نازل می‌شود.

هیستوگراف رگبار طرح

در این مطالعه، از روی منحنی‌های هاف رسم شده، هیستوگراف بارش طرح به ازای منحنی هاف ۵۰ درصد برای ایستگاه‌های مذکور به دست آمد. برای این کار، با توجه به منحنی‌های هاف نظیر همه‌ی

جدول ۳- مقادیر درصد ریزش بارش در ایستگاه‌های منتخب به تفکیک کلاس‌های بارشی

Table 3- The values of the percentage of precipitation received in the selected stations in the distinct precipitation classes

نام ایستگاه Station name	کلاس ۰-۲ ساعت Class 0-2 hours			
	چارک اول First Quartile	چارک دوم Second Quartile	چارک سوم Third Quartile	چارک چهارم Fourth Quartile
عجیشیر Ajabshir	36(14)	35(30)	22(27)	7(29)
آذرشهر Azarshahr	36(7)	33(23)	21(37)	10(33)
بناب Bonab	44(17)	39(50)	14(23)	3(10)
بستانآباد Bostan Abad	28(8)	42(20)	22(41)	8(31)
لیقوان Ligvan	33(9)	24(17)	30(37)	13(37)
کلاس ۲-۶ ساعت Class 2-6 hours				
عجیشیر Ajabshir	34(10)	23(12)	21(40)	22(38)
آذرشهر Azarshahr	39(4)	27(19)	19(35)	15(42)
بناب Bonab	27(7)	34(20)	19(28)	20(45)
بستانآباد Bostan Abad	23(6)	31(12)	28(36)	18(46)
لیقوان Ligvan	25(7)	27(16)	28(34)	20(43)
کلاس ۶-۱۲ ساعت Class 6-12 hours				
عجیشیر Ajabshir	23(10)	31(19)	18(24)	28(47)
آذرشهر Azarshahr	22(5)	31(12)	27(42)	20(41)
بناب Bonab	19(7)	22(16)	33(28)	26(49)
بستانآباد Bostan Abad	28(7)	30(20)	18(16)	24(57)
لیقوان Ligvan	25(5)	27(19)	29(28)	19(48)
کلاس بیش از ۱۲ ساعت Class more than 12 hours				
آذرشهر Azarshahr	35(17)	23(18)	18(17)	24(48)
بناب Bonab	26(11)	30(14)	25(12)	19(63)
بستانآباد Bostan Abad	28(20)	30(23)	29(28)	13(29)
لیقوان Ligvan	17(8)	24(12)	32(29)	27(51)
تجمع رگبارها All storms				
عجیشیر Ajabshir	28(11)	28(19)	25(29)	19(41)
آذرشهر Azarshahr	31(8)	31(14)	23(35)	15(43)
بناب Bonab	29(7)	34(19)	22(34)	15(40)
بستانآباد Bostan Abad	26(7)	37(16)	25(36)	12(41)
لیقوان Ligvan	25(7)	28(15)	29(34)	18(44)

توجه: اعداد داخل جدول شامل درصد ریزش بارش مربوط به منحنی هاف ۵۰ درصد و ارقام داخل پارتنتز مربوط به منحنی هاف ۹۰ درصد می‌باشند.

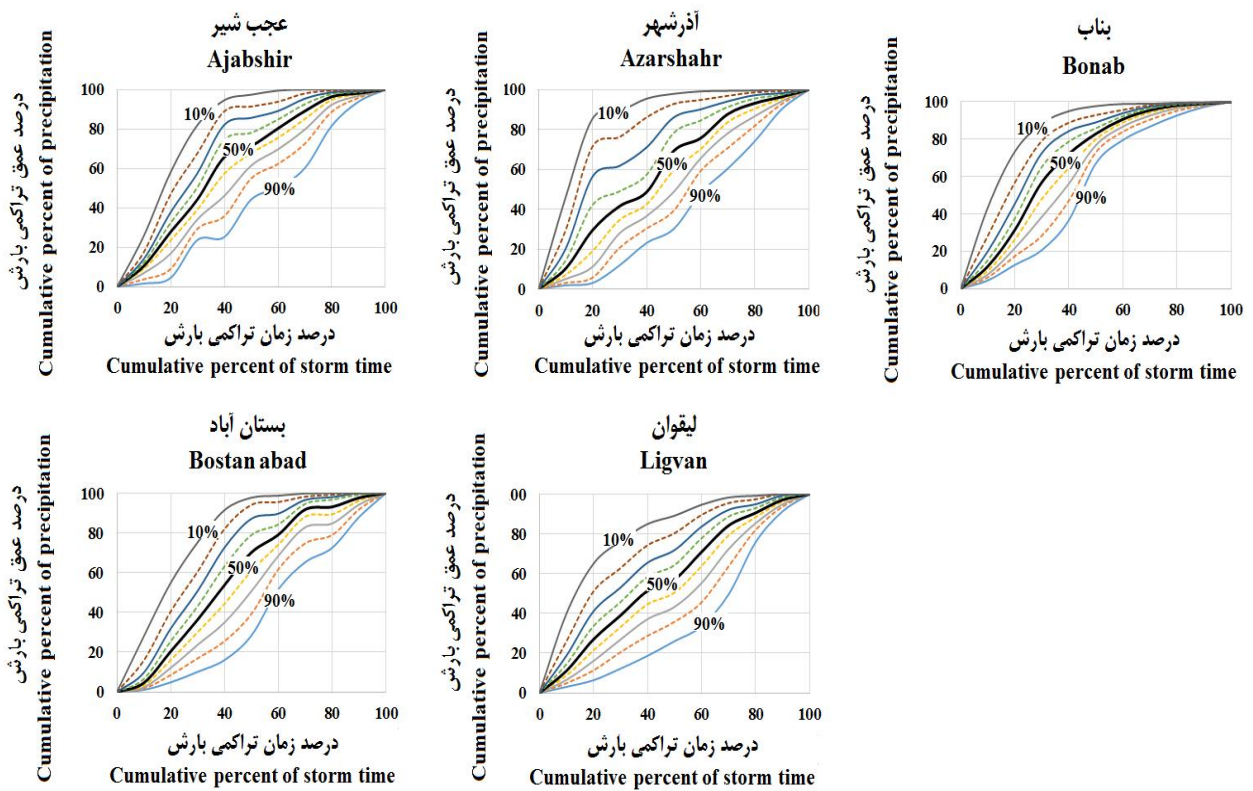
Note: Digits in the table are the percent of precipitation received with respect of 50 percent Huff curve and the digits in parentheses are relevant to 90 percent Huff curve.

جدول ۴ نیز مقادیر پارامترهای مدل لاجستیک و ضریب همبستگی بین مشاهدات و مقادیر محاسباتی از مدل و آماره t را برای ایستگاه‌های منتخب و به تفکیک کلاس‌های مختلف بارشی نشان می‌دهد.

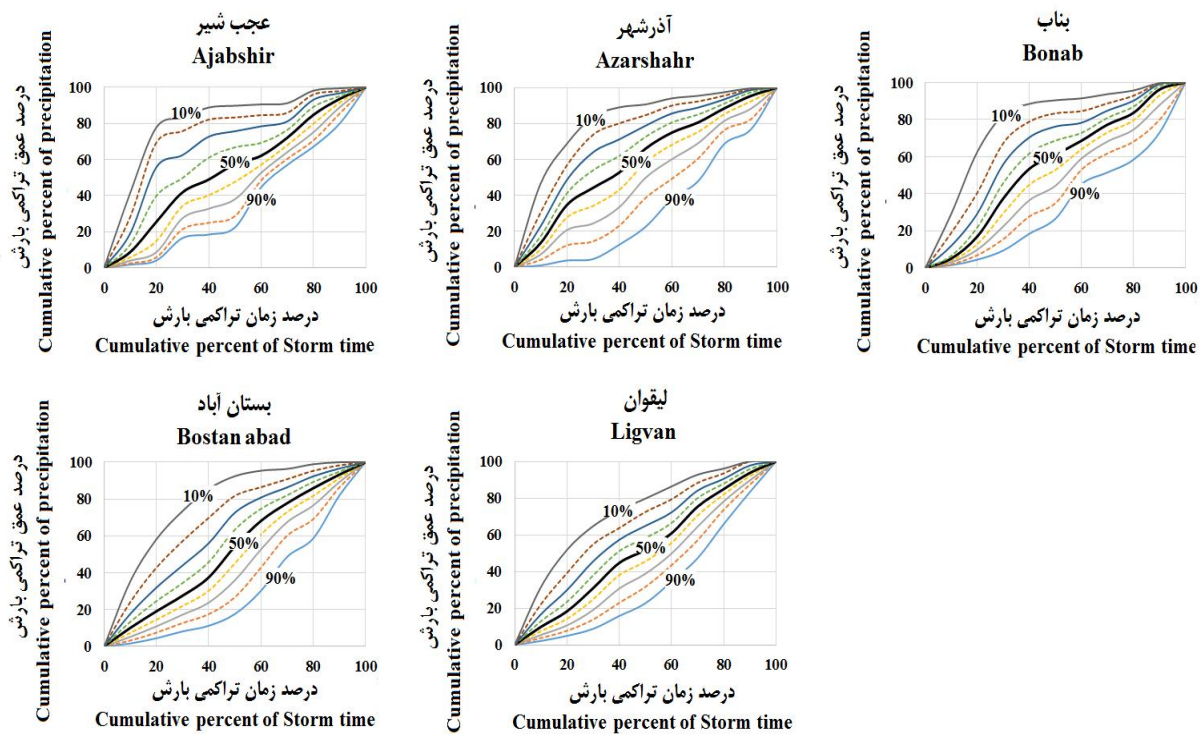
جدول ۴- مقادیر پارامترهای مدل لاجستیک و ضریب همبستگی و آماره t برای ایستگاه‌های منتخب و کلاس‌های بارشی مختلف
Table 4- The values of Logistic model parameters and the coefficient of correlation and t statistics for the selected stations and different precipitation classes

نام ایستگاه Station name	کلاس ۰-۲ ساعت Class 0-2 hours			r	t
	a	b	c		
عجشیر Ajabshir	97.65	12.58	97.65	0.994	27.18*
آذرشهر Azarshahr	100.40	11.10	0.06	0.993	24.87*
بناب Bonab	97.67	15.48	0.10	0.997	38.79*
بستانآباد Bostan Abad	98.34	20.48	0.08	0.997	41.86*
لیقوان Ligvan	103.39	10.40	0.05	0.993	25.23*
کلاس ۲-۶ ساعت Class 2-6 hours					
عجشیر Ajabshir	104.44	8.89	0.05	0.984	16.72*
آذرشهر Azarshahr	98.58	8.10	0.06	0.999	19.87*
بناب Bonab	95.82	15.10	0.07	0.986	17.52*
بستانآباد Bostan Abad	103.09	16.03	0.06	0.998	44.77*
لیقوان Ligvan	106.92	12.77	0.05	0.995	29.19*
کلاس ۶-۱۲ ساعت Class 6-12 hours					
عجشیر Ajabshir	110.68	12.01	0.04	0.991	22.03*
آذرشهر Azarshahr	103.20	18.11	0.06	0.996	35.14*
بناب Bonab	110.13	17.56	0.05	0.995	29.35*
بستانآباد Bostan Abad	108.99	9.81	0.04	0.991	22.37*
لیقوان Ligvan	104.89	13.45	0.05	0.996	35.61*
کلاس بیش از ۱۲ ساعت Class more than 12 hours					
آذرشهر Azarshahr	109.07	6.71	0.04	0.978	14.17*
بناب Bonab	97.68	12.26	0.06	0.989	20.71*
بستانآباد Bostan Abad	103.19	13.67	0.06	0.997	39.83*
لیقوان Ligvan	112.67	22.04	0.05	0.998	47.49*
تجمع رگبارها All storms					
عجشیر Ajabshir	103.87	10.78	0.05	0.992	22.89*
آذرشهر Azarshahr	99.52	10.81	0.06	0.995	29.31*
بناب Bonab	98.54	13.05	0.06	0.996	31.90*
بستانآباد Bostan Abad	101.44	15.23	0.06	0.998	42.57*
لیقوان Ligvan	106.96	13.70	0.05	0.997	38.56*

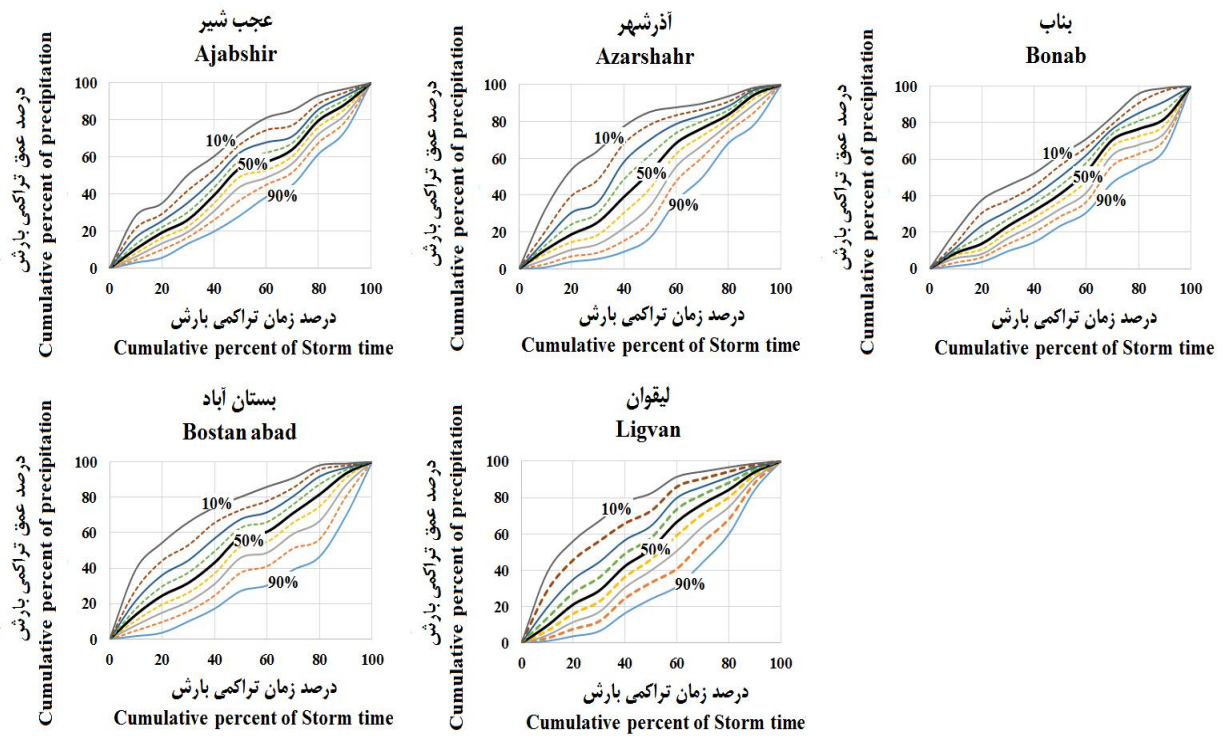
توجه: علامت ستاره نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشد.
Note: Asterisks are denoted to be significant in 5 percent level.



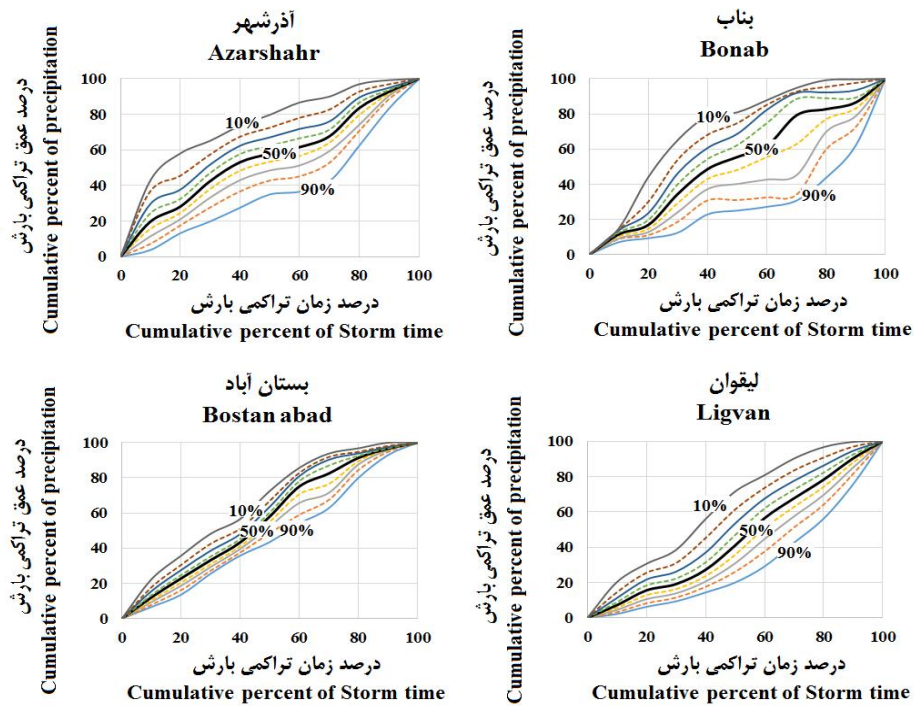
شکل ۲- منحنی‌های هاف در دسته‌ی رگبارهای ۰-۲ ساعت برای ایستگاه‌های منتخب
Figure 2- The Huff curves for the 0-2 hours storm duration for the selected stations



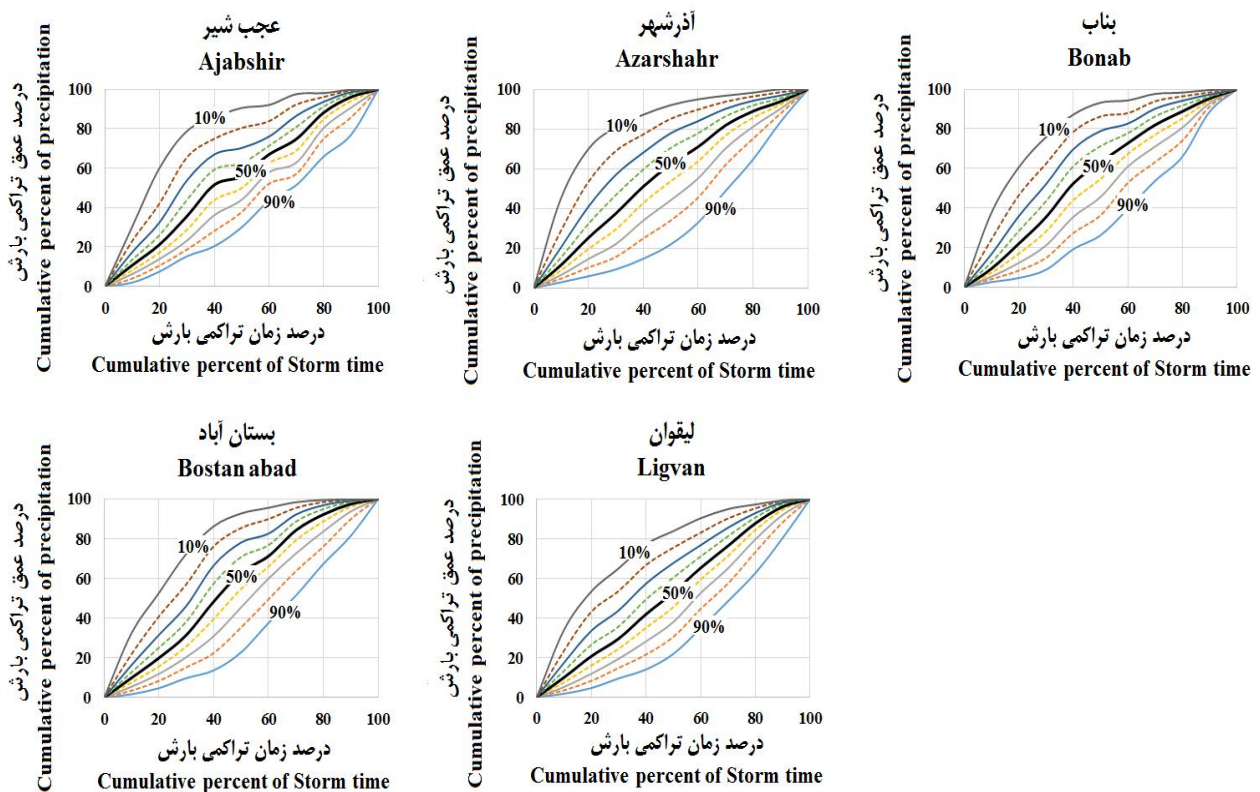
شکل ۳- منحنی‌های هاف در دسته‌ی رگبارهای ۲-۶ ساعت برای ایستگاه‌های منتخب
Figure 3- The Huff curves for the 2-6 hours storm duration for the selected stations



شکل ۴- منحنی‌های هاف در دسته‌ی رگبارهای ۶-۱۲ ساعت برای ایستگاه‌های منتخب
Figure 4- The Huff curves for the 6-12 hours storm duration for the selected stations



شکل ۵- منحنی‌های هاف در دسته‌ی رگبارهای بیش از ۱۲ ساعت برای ایستگاه‌های منتخب
Figure 5- The Huff curves for the more than 12 hours storm duration for the selected stations

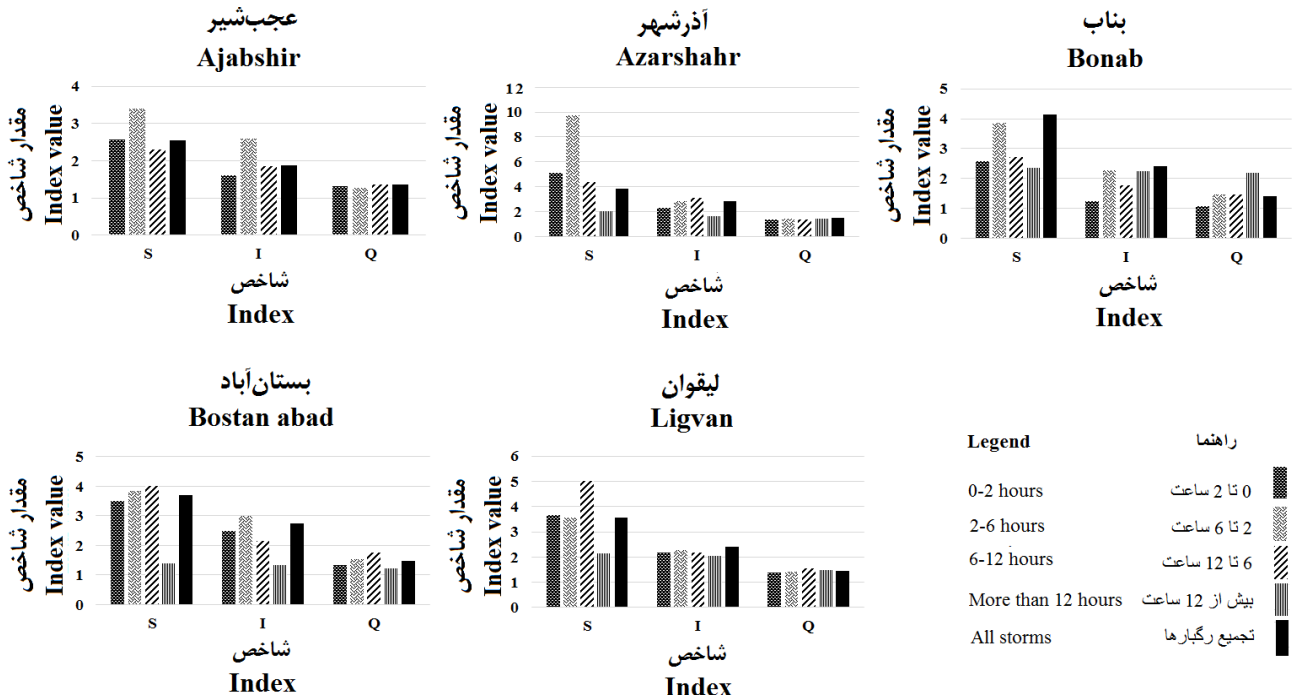


شکل ۶- منحنی‌های هاف در حالت کلی برای ایستگاه‌های منتخب

Figure 6- The Huff curves in general for the selected stations

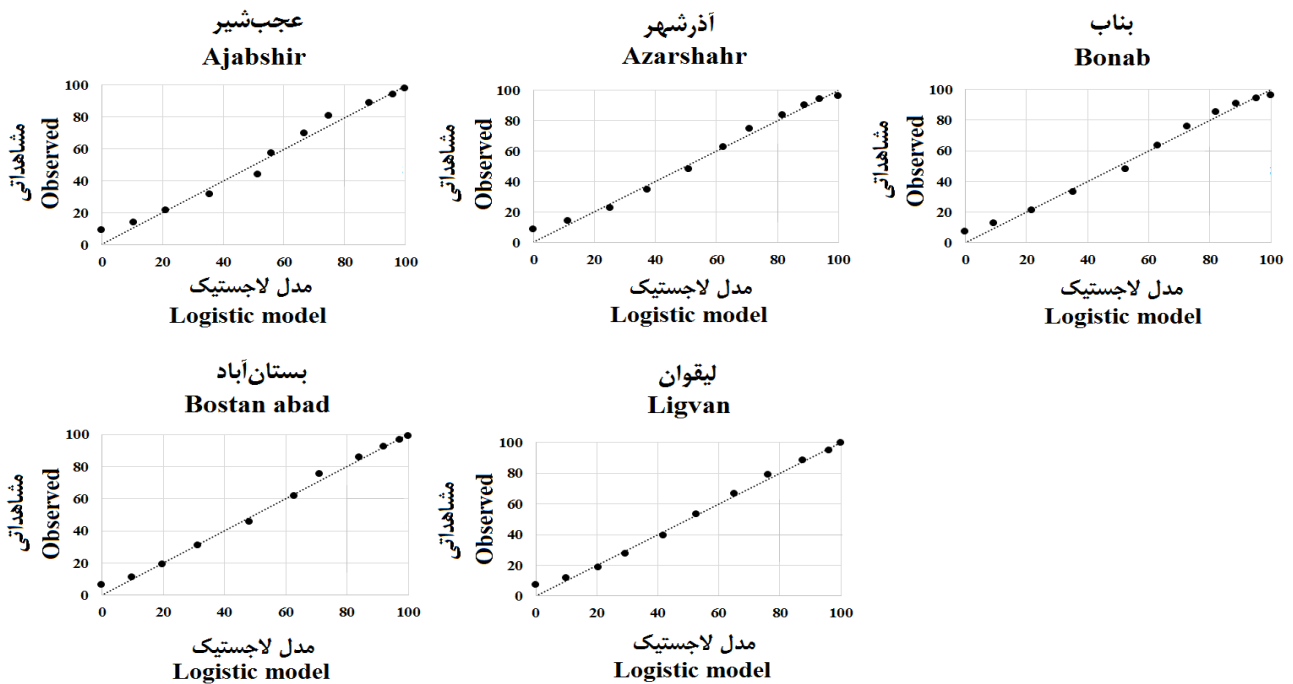
پراکنش نقاط مشاهداتی و محاسباتی (از مدل لاجستیک) را در حالت کلی (تجمیع رگبارها در یک کلاس) برای ایستگاه‌های منتخب‌شان می‌دهد. همچنین برای همه کلاس‌ها و ایستگاه‌ها نمودار نقاط درصد تراکمی عمق بارش مشاهداتی و محاسباتی حاصل از مدل برآزش شده (لاجستیک) تهیه شد. به‌عنوان نمونه شکل ۹ نمونه‌ای از آن را برای حالت کلی (تجمیع رگبارها در یک کلاس) در ایستگاه‌های منتخب نشان می‌دهد. همانگونه که قبلاً اشاره شد هیستوگرام بارش طرح برای هر یک از کلاس‌ها و ایستگاه‌ها رسم شد. به‌عنوان نمونه، شکل ۱۰ هیستوگرام بارش طرح را در حالت کلی (تجمیع رگبارها در یک کلاس) برای ایستگاه‌های منتخب با توجه به منحنی هاف ۵۰ درصد نشان می‌دهد.

شکل‌های ۲ تا ۵ منحنی‌های هاف را به‌ترتیب برای رگبارهای با مدت دوام ۰-۲، ۲-۶، ۶-۱۲ و بیش از ۱۲ ساعت در ایستگاه‌های منتخب‌شان می‌دهند. ضمناً شکل ۶ این منحنی‌ها را برای حالت کلی (تجمیع رگبارها در یک کلاس) نشان می‌دهد. شکل ۷ نیز هیستوگرام مقادیر شاخص‌های ۳ گانه (S, I, Q) را برای ۴ دسته متمایز بارش با مدت دوام‌های مختلف (۰-۲، ۲-۶، ۶-۱۲ و بیش از ۱۲ ساعته) و نیز در حالت کلی (تجمیع رگبارها در یک کلاس) برای یکایک ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. بطوریکه قبلاً اشاره شد پارامترهای مدل لاجستیک برای هر یک از کلاس‌های بارشی و ایستگاه‌ها محاسبه شدند. براین اساس دیاگرام پراکنش نقاط مشاهداتی و محاسباتی (از مدل لاجستیک) برای هر کدام تهیه شد. به‌عنوان نمونه شکل ۸ دیاگرام



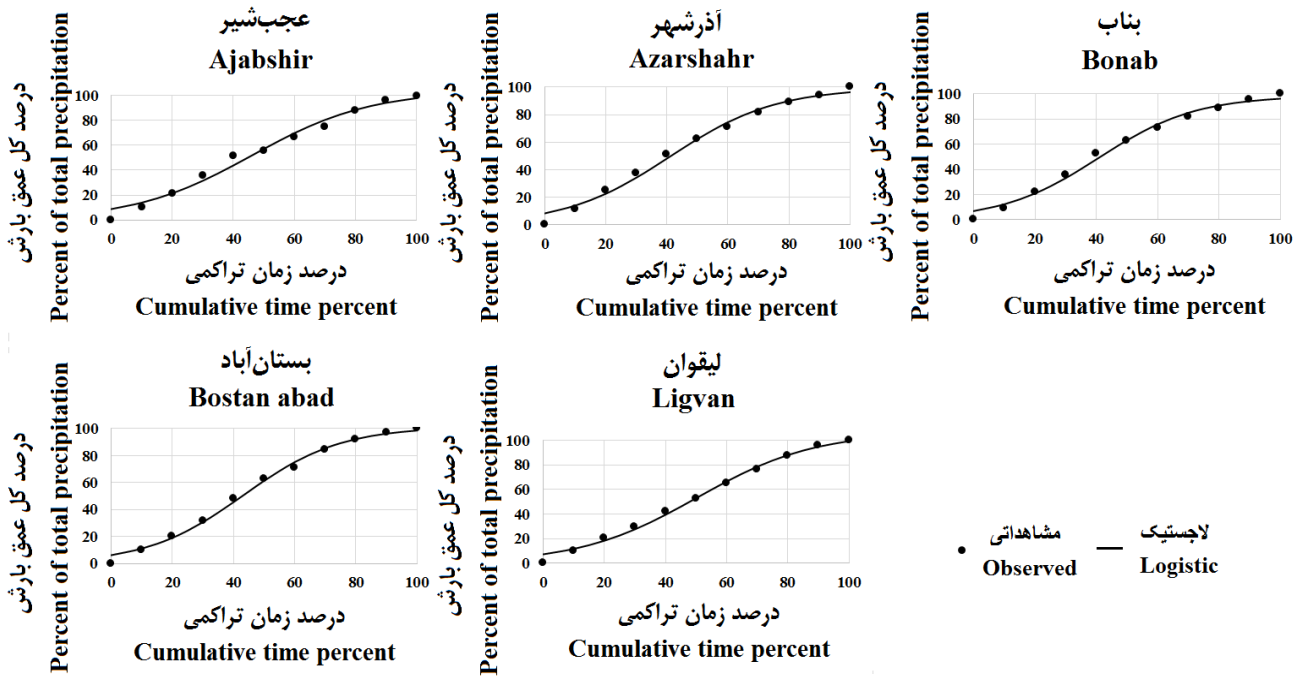
شکل ۷- هیستوگرام مقادیر شاخص‌های ۳ گانه برای ۴ دسته متمایز مدت دوام بارش (۲-، ۲-۶، ۶-۱۲، ۱۲+ ساعت) و نیز در حالت کلی برای ایستگاه‌های منتخب

Figure 7- Histogram of the values of three indices for the four separated classes with different durations (0-2, 2-6, 6-12 and more than 12 hours) and in general for the selected stations



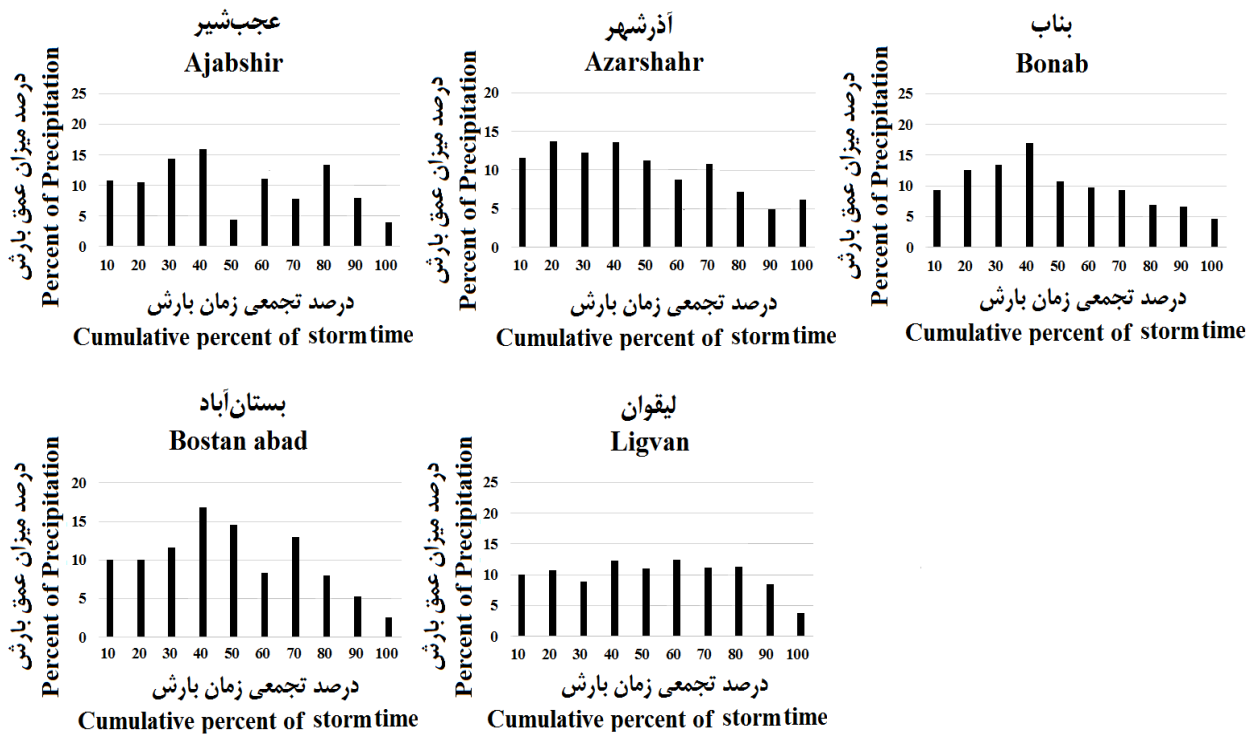
شکل ۸- دیاگرام پراکنش نقاط مشاهداتی و محاسباتی (از مدل لاجستیک) در حالت کلی (تجميع رگبارها در یک کلاس) برای ایستگاه‌های منتخب

Figure 8- Scatter plot of observed and calculated values (from the Lagistic model) for general class (all storms included) for the selected stations



شکل ۹- نمودار نقاط مشاهداتی برای درصد تراکمی عمیق بارش و نمودار مربوط به مدل برازش شده (لاجستیک) در حالت کلی برای ایستگاه‌های منتخب

Figure 9- The diagram of observed points for the cumulative percent of precipitation and corresponding fitted model (Logistic) in a general class of selected stations



شکل ۱۰- هیستوگرام بارش طرح در حالت کلی با لحاظ کردن کل رگبارهای ثبت شده در ایستگاه‌های منتخب با در نظر گرفتن منحنی هاف ۵۰ درصد

Figure 10- Design precipitation histogram in general class taking into account the total recorded storms in the selected stations for 50 percent Huff curves

نتیجه گیری

بخش اعظمی از بارش‌ها در چارک اول (حدود ۳۵ درصد کل بارش) و در دو ایستگاه در چارک دوم (۳۰ درصد کل بارش) و در ایستگاه ليقوان (۳۲ درصد کل بارش) در چارک سوم نازل می‌شوند. بر اساس منحنی هاف ۹۰ درصد، معلوم شد که در کلاس بارشی کوتاه مدت در بیشتر ایستگاه‌ها بارندگی به‌طور ملایم آغاز شده و پس از آن شدت بارندگی به اوج می‌رسد و در ۲۵ درصد زمان باقیمانده (چارک آخر) مجدداً از شدت آن‌ها کاسته می‌شود و برای کلاس‌های بارشی با مدت دوام بیش از دو ساعت، بارندگی‌ها در چارک آخر به اوج می‌رسند. در این مطالعه، سه شاخص جدید که نشان‌دهنده نسبت درصد عمق بارش از آغاز بارندگی تا پایان ۲۵ درصد، ۵۰ درصد و ۷۵ درصد زمان بارندگی منحنی هاف ۵۰ درصد به منحنی هاف ۹۰ درصد می‌باشد، به‌صورت S ، I و Q تعریف شد و مقادیر این شاخص‌ها برای ایستگاه‌های منتخب به‌دست آمد. نتایج حاکی از آن بود که در همه ایستگاه‌ها و برای هر کلاس زمانی روند تغییر مقادیر شاخص‌های S ، I و Q به‌صورت $S > I > Q$ می‌باشد. مدل‌بندی درصد تراکمی ریزش رگبار تابعی از درصد تراکمی زمان بارش به فرم مدل لاجستیک نیز برای هر کلاس زمانی انجام و پارامترهای آن‌ها در جدول ۴ ارائه گردید. بر اساس نتایج حاصله، مدل لاجستیک قادر به برازش خیلی خوب رگبارها در ایستگاه‌های منتخب می‌باشد، طوریکه ضریب همبستگی بین مشاهدات و مدل بین ۰/۹۷۸ و ۰/۹۹۸ بودند. نتایج این مطالعه در طراحی سازه‌های زهکش شهری و مدل‌بندی بارش - رواناب کاربرد دارد.

در این مطالعه، منحنی‌های هاف با توجه به مقادیر رگبارهای ثبت شده (۵۱۷ رگبار) برای ۵ ایستگاه (۱۳۹۴-۱۳۸۰) در شرق حوضه دریاچه ارومیه رسم شد. برای دقت عمل، رگبارها در ۴ دسته با مدت دوام ۰-۲، ۲-۶، ۶-۱۲ و بیش از ۱۲ ساعت تفکیک گردید. افزون بر این، کلیه رگبارها نیز به‌صورت یکجا در یک کلاس منفرد برای هر ایستگاه تحلیل شد و برای آن‌ها هیتوگراف بارش طرح با توجه به منحنی هاف ۵۰ درصد رسم گردید. برای رگبارهای کوتاه مدت (۰-۲ ساعت) بخش اعظمی از بارش‌ها در چارک‌های اول (بین ۲۸ تا ۴۴ درصد کل بارش) و در چارک دوم (۲۴ تا ۴۲ درصد کل بارش) نازل می‌شود. به‌عبارت بهتر، رگبارهایی که مدت دوام آن‌ها کمتر از ۲ ساعت است با شدت زیاد آغاز می‌شوند و به‌تدریج از شدت آن‌ها کاسته می‌شود. برای رگبارهای با مدت دوام ۲-۶ ساعت در دو ایستگاه بخش اعظمی از بارش‌ها در چارک اول (بین ۳۴ تا ۳۹ درصد کل بارش) و در دو ایستگاه دیگر در چارک دوم (۳۱ تا ۳۴ درصد کل بارش) فرو می‌ریزد و در ایستگاه (لیقوان) بخش نسبتاً مهمی از بارش (۲۸ درصد کل بارش) در چارک سوم نازل می‌شود. علاوه بر این، می‌توان نتیجه گرفت که برای رگبارهای با مدت دوام ۶-۱۲ ساعت در سه ایستگاه بخش اعظمی از بارش‌ها در چارک دوم (حدود ۳۱ درصد کل بارش) و در دو ایستگاه دیگر در چارک سوم (۲۹ تا ۳۳ درصد کل بارش) می‌بارد. افزون بر این، می‌توان نتیجه گرفت که برای رگبارهای با مدت دوام بیش از ۱۲ ساعت در ایستگاه (آذرشهر)

منابع

- Awadallah A.G., and Younan N.S. 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.
- Bustami R.A., Rosli N.A., Adam J.H., and Li K.P. 2012. Development of temporal rainfall pattern for Southern Region of Sarawak. *UNIMA E. Journal of Civil Engineering*, 3:17-23.
- Ewea A., Elfeki A., Bahrawi J., and AL-Amri N. 2016. Sensitivity analysis of runoff hydrographs due to temporal rainfall patterns in Makkah Al-Mukkramah region, Saudi Arabia. *Arabian Journal of Geosciences*, 9:424-435.
- Ghahraman B. 2009. Short-term rain analysis in Khorasan. *Iranian Journal of Watershed Science and Engineering*, 2(4): 66-73 (In Persian with English abstract).
- Ghassabi Z., Kamali G.A., Meshkati A., 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.
- Hatami Yazd A., Ghahraman B., and Khodashenas S.R. 2009. Regionalization of Rainfall Temporal Pattern in Iran. *Iran-Watershed Management Science and engineering*, 3(6):66-70 (In Persian with English abstract).
- Huff A. 1967. Time distribution of rainfall in heavy storms. *Water Resources Research*, 3:1007-1019.
- Jiang P., Yu Z., Gautam M.R., Yuan F., and Acharya K. 2016. Changes of storm properties in the United States: Observations and multi model ensemble projections. *Global and Planetary Change*, 142:41-52.
- Karimi V., Solaimani K., Habibnejad Roshan M., and Shahed K. 2014. Comparison of Some Rainfall Temporal Pattern Determination for Urban Flood Estimation (Case Study: Babolsar). *Irrigation Engineering and Water*, 13:102-112. (In Persian with English abstract).
- Khaksafidi A., Noura N., Biroudian N., and Najafi Nejad A. 2011. Rainfall Temporal Distribution Patterns in Sistan & Balouchestan Province (Iran). *Journal of Soil and Water Protection Research*, 17(1):45-61. (In Persian with English abstract).

12. Niyogi D., Lei M., Kishtawal C.H., and Schmid P. 2017. Urbanization impacts on the summer heavy rainfall Climatology over the Eastern United States. *Earth Interactions*, 21(5):1-17.
13. Todisco F. 2016. The internal structure of erosive and non-erosive storm events for interpretation rainfall simulation. *Journal of Hydrology*, 519:3651-3663.
14. 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.
15. Wu S.J., Yang J.C., and Tung Y.K. 2006. Identification and stochastic generation of representative rainfall temporal patterns in Hong Kong territory. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 20:171-183.

Development of Huff Curves for the Five Selected Stations in the East of Urmia Lake

S. Vakili Azar^{1*}- Y. Dinpashoh²

Received: 06-09-2018

Accepted: 22-10-2018

Introduction: Water is an important element of all living things. Availability of fresh water in any region is very important. Therefore, understanding the rainfall characteristics is so crucial in water resources management. One of the main tools in analyzing storms is Huff curve. Many investigators used this method for rainfall analysis with different duration. The main aim of this study is plotting and analyzing storms characteristics in the five stations namely Ajabshir, Azarshahr, Bonab, Bostan-Abad and Ligvan.

Materials and Methods: In this study, using the 517 storms in the selected stations (located in the East of Urmia Lake), the Huff curves were extracted. The time period used is from 2001 to 2015. Quality of data was checked carefully prior to analysis. In the first step, the total selected storms were classified into the four distinct classes according to their rainfall duration including i) 0-2, ii) 2-6, iii) 6-12 and more than 12 hours. Then the Huff curves of each category were plotted for different probabilities of 10 percent, 20 percent, ... and 90 percent. Analysis conducted for each of the classes, separately. Moreover, the Huff curves were plotted using the information of all events (i.e. without classification). In this study, some commonly used statistical distributions in hydrology were utilized. The three newly defined indices namely S, I, and Q were defined and used in the present study. The design storm hyetographs for the selected stations and all the events (without classification) prepared for 50 percent Huff curves. The mathematical model of Huff curves were extracted as the Logistic model. The model parameters were estimated using the Curve Expert software.

Results and Discussion: According to the 50 percent probability for Huff curves, the following results were obtained. For the short- time (0-2 hours) storms, the most proportion of rain received in the first and second quartiles. In the first quartile, between 28 to 44 percent of the total rainfall depth received in the selected stations. In the other words, short storms initiated with high intensity and followed by mild intensity. In the case of 2-6 hours storms class, in the two stations, a large portion of the rain (about 34 up to 39 percent) received in the first quartile. However, in the other two stations about 31 up to 34 percent of total rain received in the second quartile. In the station namely Ligvan (about 28 percent of total precipitation depth) received in the third quartile. In some of the stations, and in the case of rainfall duration class of 2-6 hours storms starts with high intensity. However, in some of the other sites rain begin with mild intensity. In addition, for the storms with 6-12 hours duration, three stations can be included in the second quartile, because about 31 percent of total precipitation received in this time quartile. However, in the two stations, (about 29 up to 33 percent of the precipitation depth) received in the third quartile. In the class of duration 6 to 12 hours, storms begins with mild intensity and the intensity of rain increases as time advances then, finally the intensity of rain decreases till rain ceases. In addition, it can be concluded that for the storms with duration of more than 12 hours, for the station namely Azarshahr a large portion of precipitation (about 35 percent of precipitation depth) received in the first quartile. Furthermore, in the two stations about 30 percent of total precipitation received in the second quartile. However, in a station namely Ligvan about 32 percent of total precipitation depth received in the third quartile. In other words, storms with duration of more than 12 hours, different stations had different temporal patterns. Based on 90 percent probability Huff curve, it was found that in the case of short- time storm class, almost in all of the stations, rainfall begins with mild intensity. Then the intensity increases gradually to reach peak in the end of the third quartile. In the 25 percent of remaining time (i.e. the last quartile) the intensity decreased again until the rain terminated. For the rainfall classes of duration more than 2 hours, precipitation reaches to the peak in the last quartile. In the other words, the precipitation begins with low intensity and gradually increases its intensity till the end of rain. In this study, three

1 and 2- MSc Student of Water Resources Engineering and Associate Professor Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

(*-Corresponding Author Email: sainavazar@yahoo.com)

new indices that represent the ratio of precipitation at 50 to 90 percent probabilities were introduced and the values of these indices were calculated for the selected stations.

Conclusions: It can be concluded that the most portion of rainfall received in first quartile and or second quartile for storms having duration less than 6 hours. Whereas for storms with duration more than 6 hours, rainfall started with low intensity and then the intensity increased through the rainfall duration. The results indicated that at all of the stations and for each of the duration time classes, the order of changing the values of S, I and Q indices was as $S>I>Q$. The modeling of the cumulative percent of precipitation as a function of cumulative percent of rainfall duration time performed using the Logistic model for each of the time classes and then its parameters were calculated which are presented in the Table 4. Based on the results, it was found that the Logistic model is able to fit the mentioned curve very well for all of the selected stations. The correlation coefficients estimated between the observed and modeled values were found to be between 0.978 and 0.998 for the sites. The results of this study anticipated to be useful in design of urban drainage structures and rainfall- runoff modeling.

Keywords: Design storm, Huff Curves, Rainfall Temporal Distribution, Urmia Lake

