

## توزیع فراوانی رگبار و الگوهای زمانی بارش در چند نمونه‌ی اقلیمی ایران

فروغ گلکار<sup>۱</sup>، سهراب حجام<sup>۲</sup>، علی خلیلی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۰/ / تاریخ پذیرش: ۹۰/ /

### چکیده

هدف از این پژوهش، بررسی تعیین الگوهای توزیع زمانی بارش در چند نمونه‌ی اقلیمی فراهشک، خشک، نیمه خشک و نیمه مرطوب ایران (بم، تهران، شیراز و گرگان) می‌باشد. برای این منظور، ابتدا توزیع فراوانی رگبار از لحاظ تداوم بارش (ساعت)، و همچنین ارتفاع بارش (میلیمتر) تعیین گردید. سپس با در نظر گرفتن سهم بارش‌های هر ایستگاه در تولید آب قابل ذخیره سالانه، کمترین ارتفاع بارندگی (آستانه) جهت بررسی در تعیین توزیع‌های زمانی بارش مشخص گردید. این حداقل برای ایستگاه‌های بم، تهران، شیراز و گرگان به ترتیب ۷/۰، ۱۰/۱۲، ۰/۵ و ۱۰/۰ میلیمتر به دست آمد که این مقادیر ۵۰٪ آب آن حوضه را تامین می‌کنند. در ادامه الگوهای توزیع زمانی بارش در ایستگاه‌های تحت بررسی با روش‌های تجربی هاف و پیلگریم تعیین گردیدند. معادله‌ی ریاضی الگوهای توزیع زمانی بارش به صورت میانگین‌گیری (روش پیلگریم) و احتمالاتی (روش هاف) در مختصات بدون بعد محاسبه گردید. مقایسه‌ی مقادیر حاصل از الگوهای پیشنهادی با داده‌های واقعی نشان داد که روش هاف و الگوهای توزیع زمانی احتمالاتی ارائه شده برای ایستگاه‌های تحت بررسی نسبت به روش پیلگریم تطابق بیشتری را دارند.

**واژه‌های کلیدی:** نمودار رگبار تجمعی بدون بعد، تابع چگالی احتمال، رگبار.

۱- کارشناس ارشد هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب دانشگاه تهران.

۲- دانشیار گروه هواشناسی موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

۳- استاد گروه مهندسی آب دانشگاه تهران.

## مقدمه

الگوی توزیع زمانی بارش به معنی بررسی تغییرات شدت بارش در بازه‌ی زمانی رخداد رگبار است. آگاهی از این الگوها در مطالعات کشاورزی، آبخیزداری، سدسازی، عمران و مهندسی آبیاری و زهکشی حائز اهمیت بسیار است. توزیع زمانی بارش در مطالعه‌ی فرسایش خاک و توان سیل خیزی انواع مختلف رگبارها نیز نقش دارد. برای محاسبه بده سیل نیاز به مشخص شدن زمان بیشترین مقدار بارش در رگبارهای ۳، ۶، ۱۲ و ... ساعته است. همچنین تعیین روند تغییرات شدت بارش در این فواصل زمانی لازم است. روشهای متفاوتی جهت تعیین الگوی توزیع زمانی رگبار وجود دارد که به‌طور کلی به سه بخش روش‌های مشاهده‌ای، آماری و تلفیقی قابل تفکیک می‌باشند (پلتیر و همکاران، ۲۰۰۹). از آن جمله به روش‌های استفاده از روابط شدت-مدت- فراوانی<sup>۱</sup> (IDF) در تعیین الگوی زمانی بارش، تعیین الگوی توزیع زمانی بارش با کاربرد روش نظری اولسون و برندسون (۱۹۹۸)، محاسبه‌ی توزیع زمانی بارش با کاربرد روش زنجیره‌ای تروتمن (۲۰۰۱)، انتخاب یکی از الگوهای نوع موجود برای منطقه‌ی طرح وایس من و همکاران (۱۹۹۶)، تعیین الگوی توزیع زمانی بارش با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای، روش الگوی ترسیمی و محاسباتی استرالیا - آمریکا هرشفیلد (۱۹۶۲) و پیلگریم و همکاران (۱۹۹۱) و روش استفاده از احتمال تجربی هاف (۱۹۹۰) می‌توان اشاره کرد. در روش‌های نوین محاسبه‌ی الگوهای تغییرات شدت رگبار، از تلفیق داده‌های مشاهده‌ای و روش‌های نوین تحلیل آماری مانند تحلیل خوشه‌ای و ترکیب آن با شبکه‌ی عصبی استفاده می‌شود. در این میان می‌توان به محاسبات الگوی رگبار طرح در تحقیقات پلتیر و همکاران (۲۰۰۹) برای طراحی فاضلاب شهری در ایالت کبک کانادا، اشاره کرد که در آن با ترکیب روش چارکی هاف برای رگبارهای حدی ۱ ساعته و استفاده از تحلیل خوشه‌ای به این مهم پرداخته شده است.

در حال حاضر در کشور ما به دلیل نبود تحقیقات بسنده در زمینه‌ی توزیع زمانی باران طرح، بیشتر از

الگوهای ارائه شده به‌وسیله‌ی سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) و یا منابع خارجی دیگر استفاده می‌شود که معلوم نیست این الگوها که مخصوص اقلیم آن نواحی می‌باشند تا چه اندازه به الگوهای واقعی منطقه ما شباهت داشته دارند. به عنوان مثال مالکی (۲۰۰۴) الگوهای ارائه شده به وسیله سازمان تحقیقات آب آمریکا را برای منطقه‌ی خراسان که از لحاظ عرض جغرافیایی منطبق با ایالت الینوی این کشور است، قابل تعمیم نمی‌داند.

مطلب قابل توجه دیگر آن که با توجه به کاربردهای متنوع توزیع زمانی رگبار در بخشهای کشاورزی، آبخیزداری، عمرانی و ...، در ابتدا این سؤال پیش می‌آید که در آمار موجود برای هر ایستگاه حد پایین یا آستانه‌ی رگبارها از لحاظ اندازه‌ی بارش چه عددی انتخاب گردد؟ گرچه در امور عمرانی بیشتر، بارش‌های بحرانی (سنگین) و یا به عبارت بهتر بارش‌های بیش از حد میانگین مورد نظر می‌باشد، ولی بارش‌های کمتر از این مقدار نیز در کشاورزی و به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه بیابانی حائز اهمیت است. بر این اساس انتخاب کمترین مقدار رگبارها (آستانه) در هر ایستگاه (با توجه به اهداف تحقیق) ضرورت می‌یابد.

هدف پایه‌ای تحقیق حاضر تعیین و ارائه‌ی الگوهای زمانی بارش در تداومهای معیار برای ایستگاه‌های معرفی شده می‌باشد. در این راستا در گام نخست تحلیل آماری رگبارهای ثبت شده در ایستگاههای منتخب از دو جنبه‌ی تداوم و مقدار رگبار انجام گرفت. بر پایه‌ی نتایج حاصله و با توجه به پرشماری رگبارهای ثبت شده، دسته‌بندی رگبارها بر اساس تداوم و اندازه با در نظر داشتن ماهیت طبیعی رگبارها تحقق یافته، سپس آستانه‌ی مناسبی برای مقدار بارش برای هر ایستگاه محاسبه و در نظر گرفته شد. در گام بعد، از میان روش‌های موجود برای تعیین الگوی زمانی رگبار، روش‌های مشاهده‌ای پیلگریم و هاف انتخاب گردیدند. درنهایت، روش مناسبتر انتخاب و الگوهای آن روش برای منطقه‌های تحت بررسی پیشنهاد شد. لازم به ذکر است که مجهز بودن ایستگاههای منتخب به دستگاه باران نگار و نیز متعادل بودن تعداد رگبارهای برگزیده

<sup>1</sup>Intensity- Duration- Frequency

ایران را پوشش می‌دهند، جهت مطالعه حاضر برگزیده شدند. ایستگاههای بزم، تهران، شیراز و گرگان هر یک به ترتیب دارای اقلیم دوماتن فراخشک، خشک، نیمه‌خشک و نیمه مرطوب هستند. طول دوره‌ی آماری ایستگاههای منتخب در جدول (۱) و موقعیت آنها در کشور در شکل (۱) آمده است.

دلیل بهره‌گیری از این روش به جای روشهای آماری و تلفیقی بوده است.

## مواد و روشها

### مطالعه‌ی آماری و بررسیهای ایستگاهی

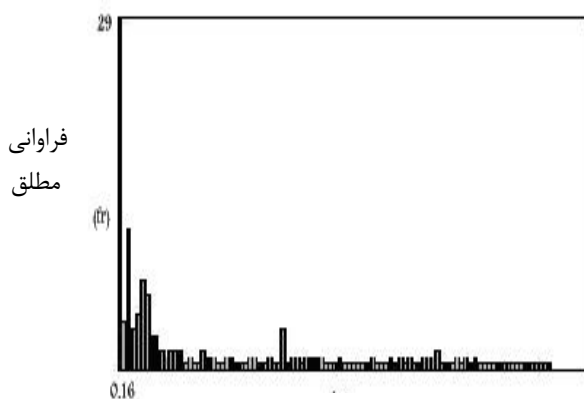
ابتدا چهار ایستگاه بزم، شیراز، تهران و گرگان با در نظر گرفتن طیف اقلیمی متنوع از فراخشک تا مدیترانه‌ای (بر اساس طبقه بندی دوماترن) که در واقع ۸۲٪ از خاک

جدول ۱- بارشهای ثبت شده طی دوره‌ی آماری موجود در ایستگاههای تحت بررسی

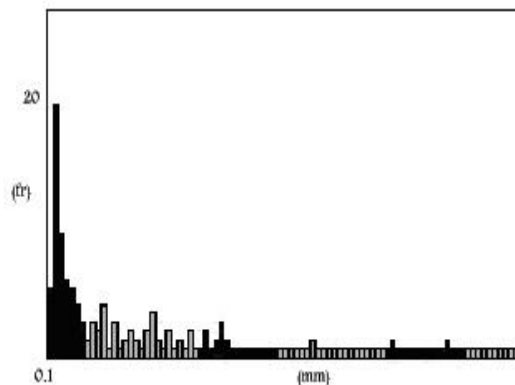
نام ایستگاه	طول دوره‌ی آماری (سال)	تعداد بارشها	حداقل تداوم (hr)	حداکثر تداوم (hr)	حداقل مقدار بارش (mm)	حداکثر مقدار بارش (mm)
بزم	۴۱	۲۰۲	۰/۱۶	۶۴/۸	۰/۱	۴۶/۶
تهران	۳۹	۴۸۰	۰/۰۸	۸۴/۳	۰/۲	۵۳/۳
شیراز	۳۰	۷۶۳	۰/۱۶	۹۱/۱	۰/۱	۹۰/۳
گرگان	۱۶	۱۸۱۲	۰/۱۶	۶۷/۳	۰/۱	۷۵/۶



شکل ۱- موقعیت ایستگاههای منتخب



تداوم بارش (ساعت)



اندازه‌ی بارش (میلیمتر)

شکل ۲- نمودار میله‌ای داده‌های خام تداوم و اندازه‌ی بارش در ایستگاه بزم

درصد فراوانی نسبی رسم شده برای ایستگاه بم را نشان می‌دهد. نمودارهای ستونی رسم شده هر ایستگاه با نمودارهای میله‌ای تداوم بارش \_ فراوانی و همچنین تابع چگالی احتمال آن مقایسه شد و میزان انطباق دسته بندی های اعمال شده با داده‌های خام مطالعه گردید. در ادامه، داده‌های خام اندازه‌ی بارش (میلیمتر) در دسته‌های ۵ میلیمتری دسته‌بندی شده، جدول فراوانی درصد نسبی آنها تهیه و نمودار ستونی مربوطه رسم گردید. به‌عنوان نمونه، نمودار ستونی مربوط به ایستگاه بم در شکل (۴) آمده است. در این قسمت نیز تشابه نمودار ستونی فراوانی داده‌های دسته‌بندی شده با نمودار میله‌ای داده‌های خام دسته‌بندی مقایسه گردید و به‌دلیل پیروی روند تغییرات فراوانی داده های دسته‌بندی شده با داده‌های خام این دسته‌بندی نیز پذیرفته شد.

مشاهده شد که دسته‌بندی تداوم بارش معیار و ارتفاع بارش با داده‌های خام تطابق داشته و اعمال این دسته‌بندیها در مطالعه و تهیه‌ی الگوهای توزیع زمانی رگبار در ایستگاه‌های تحت بررسی بلامانع است.

حداقل یا آستانه‌ی بارش هر ایستگاه، بارشی در نظر گرفته شد که از لحاظ آبدهی در جدول فراوانی تجمعی مقدار آب، بیش از ۵۰٪ نقش داشته باشد. بدین ترتیب، با ضرب حد وسط دسته‌ها در فراوانی آن دسته، آبدهی دسته در حوضه‌ی مورد نظر تعیین گردید. سپس درصد تجمعی این داده‌ها تعیین و عدد مربوط به ۵۰٪ آبدهی حوضه (میانه) به‌عنوان شاخص یا حداقل بارش، در نظر گرفته شد. برای مثال، محاسبه‌های ایستگاه بم در جدول (۴) آمده است. بر این اساس، عدد حداقل و یا میانه در ایستگاه بم ۷/۰ میلی‌متر می‌باشد. به همین ترتیب، برای ایستگاههای تهران، شیراز و گرگان نیز آستانه‌ی تعیین شده به ترتیب ۱۰/۰، ۱۲/۵ و ۱۰/۰ میلی‌متر محاسبه گردید.

ابتدا اطلاعات خام مربوط به اندازه بارش و تداوم آن در رگبار ثبت شده‌ی هر ایستگاه بررسی و توابع چگالی احتمال آنها تعیین شد (شکل ۲ برای ایستگاه بم ارائه گردیده است). پس از این مرحله، با در نظر گرفتن روند تغییرات فراوانی مقدار و تداوم رگبارهای هر ایستگاه، دسته‌بندی اطلاعات اندازه و تداوم رگبار برای هر ایستگاه با هدف کاهش تعداد رخدادهای تحت بررسی اقدام گردید. به لحاظ آماری، طبقه بندی داده‌های یک جامعه در شرایطی صحیح است که روند تغییرات فراوانی و مشخصه‌ی کلی جامعه پس از طبقه بندی حفظ شده و در واقع، شکل کلی نمودار میله‌ای فراوانی و ستونی فراوانی تفاوت زیادی نداشته باشند. بنابراین، پس از اعمال طبقه‌بندی، نیاز به سنجش انطباق روند تغییرات فراوانی دسته‌های تداوم و مقدار رگبارهای هر ایستگاه با شکل کلی داده‌های خام تداوم و اندازه‌ی بارش برای آن ایستگاه می‌باشد. پس از اطمینان از درستی دسته‌بندی اعمال شده، با در نظر گرفتن بارش‌هایی که در بیش از ۵۰٪ آبدهی ایستگاه‌های تحت بررسی نقش دارند، حداقل یا آستانه‌ی بارشهای مورد مطالعه در تعیین الگوهای توزیع زمانی رگبار برای این تحقیق محاسبه گردیدند.

برای این منظور در هر ایستگاه بر پایه‌ی اطلاعات جدول (۱) و داده‌های خام موجود برای دو مولفه‌ی ارتفاع بارش (میلیمتر) و تداوم آن در جدول (۲) نیز بهترین تابع چگالی احتمال مولفه‌های ذکر شده ارائه گردیده است. در گام بعد نمودار ستونی درصد فراوانی نسبی مقادیر طبقه‌بندی شده تداوم معیار بارش به شرح جدول (۳) تهیه و بهترین منحنی قابل برازش بر آن تعیین شد. شایان ذکر است که دسته‌بندی اعمال شده بر مقادیر تداوم رگبار، دسته‌بندی متعارفی است که در بیشتر کارهای آشناسی از آن استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال باران ۶ ساعته به بارانی اطلاق می‌شود که در دسته‌ی تداومی ۴/۵ تا ۹ ساعت رخ داده باشد (کندی و همکاران، ۱۹۹۱). شکل (۳)، برای نمونه نمودار ستونی

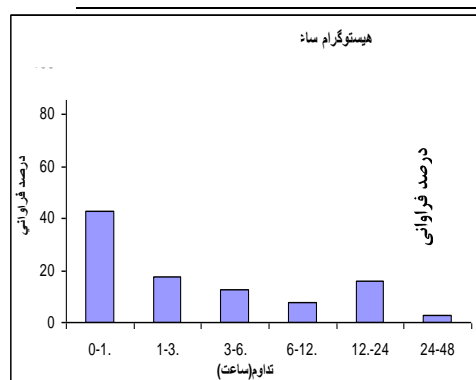
جدول ۲- تابع چگالی احتمال تداوم و اندازه‌ی بارش همراه با فراسنجهای مربوطه

نام ایستگاه	بهترین تابع چگالی احتمال بارش داده شده بر تداوم بارش	شاخص کای مربع	فراسنجهای		
			$\alpha$	$\beta$	$\lambda$
بم	Phase_Bi Weibull	۰.۰۸۴	۱/۳۹	۱/۰۹	-
تهران	Gamma	۰/۰۵۰۷	۰/۶۸	۱۳/۱۸	-
شیراز	Weibull	۰/۰۸۷	۰/۷۰۸	۱۱/۴۳	-
گرگان	Weibull	۰/۱۰۹	۰/۶۷	۵/۳۰	-

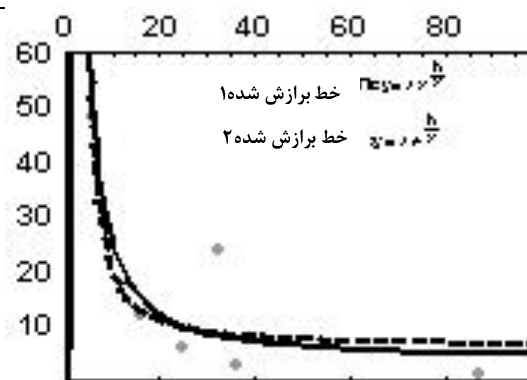
نام ایستگاه	بهترین تابع PDF بارش داده شده بر مقدار بارش	شاخص کای مربع	فراسنجهای		
			$\alpha$	$\beta$	$\lambda$
بم	Phase_Bi Weibull	۰/۰۷۴۲	۱/۸۲	۱/۰۶	-
تهران	Gamma	۰/۰۳۶۹	۰/۷۸	۷/۸۵	-
شیراز	Phase_Bi Weibull	۰/۱۲۳	۲/۰۵	۱/۰۲	-
گرگان	Phase_Bi exponentiall	۰/۱۰۸	-	-	۰/۶۱۱

جدول ۳- حدود دسته‌ها در طبقه بندی معیار تداوم بارش

حدود دسته (hr)	$< 1/5$ ...	$1/5\_4/5$	$4/5\_9$	$9\_18$	$9\_36$	$> 36$ ...
شاخص دسته (hr)	۱	۳	۶	۱۲	۲۴	۴۸

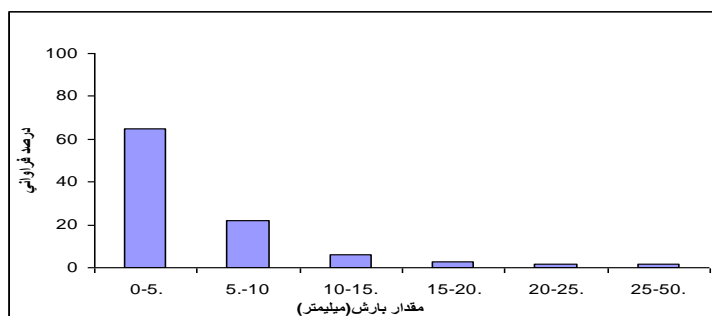


فراوانی نسبی (%)



تداوم (ساعت)

شکل ۳- نمودار ستونی درصد فراوانی نسبی تداوم بارش معیار و بهترین منحنیهای قابل برازش در ایستگاه بم



شکل ۴- نمودار ستونی درصد فراوانی نسبی مقدار بارش ( در دسته های آخر به دلیل معنی دار نبودن فراوانی دسته ها، برخی دسته ها ادغام شده اند) در ایستگاه بم

جدول ۴- آبدهی و درصد فراوانی نسبی دسته های ۵ میلیمتری در ایستگاه بم

حدود دسته ها	فراوانی مطلق هر دسته	% فراوانی	میانهای دسته	آبدهی هر دسته (mm)	درصد آبدهی نسبی
۰-۵	۱۳۱	۶۴/۹	۲/۵	۳۲۷/۵	۳۰/۵
۵-۱۰	۴۴	۲۱/۸	۷/۵	۳۳۰	۳۰/۷
۱۰-۱۵	۱۲	۷/۹	۱۲/۵	۱۵۰	۱۴
۱۵-۲۰	۵	۲/۵	۱۷/۵	۸۷/۵	۸
۲۰-۲۵	۳	۱/۵	۲۲/۵	۶۷/۵	۶
۲۵-۵۰	۳	۱/۴	۲۷/۵	۸۲/۵	۱۰/۸

محاسبه شود. برای این امر، یک روش رسم منحنی اعداد ثبت شده، به دست آوردن معادله منحنی و استخراج درصد مقدار بارش برای زمان در بازه صفر تا ۱۰۰ درصد با گامهای ۵ درصدی است که بسیار وقت گیر بوده و عملاً با توجه به حجم کار قابل انجام نیست. لذا، از روشهای میان یابی بهره گرفته شد. انجام میان یابی خطی به شرح جدول (۶) نشان داد که این روش میان یابی مطلوب نبوده و خطاهایی را نشان می دهد. همان گونه که در جدول (۶) مشاهده می شود درصد تجمعی مقدار بارش بین ۲۰ و ۲۵ درصد زمانی ناگهان از بیش از ۴۸٪ به حدود ۲۹٪ کاهش می یابد. همچنین، در فاصله ۷۵ تا ۸۵ درصد زمانی مقدار بارش از ۹۲٪ به ۸۹٪ کاهش می یابد. به همین منظور از روش محاسبات عددی چند جمله ای های لاگرانژ<sup>۱</sup> استفاده شد (کورتیس و پاتریک، ۱۹۹۷). الگوریتم درونیابی لاگرانژیکی از دقیق ترین و پراستفاده ترین الگوریتمها در زمینه یابی و تقریب توابع است. در این روش، هر تابع به صورت ترکیبی خطی از

## تعیین الگوهای زمانی بارش

### روش پیلگریم

در این روش، الگوی توزیع زمانی بارش در تداومهای معیار به صورت میانگینی از رگبارها محاسبه می گردد (پیلگریم و همکاران، ۱۹۹۱). در روش مزبور در میان رگبارها تقسیم بندی به لحاظ زمان وقوع بیشترین شدت بارش انجام نگرفته و به تمامی رگبارهای انتخابی به عنوان رخدادی مشابه بقیه رگبارها رفتار می شود. مراحل کار در این روش بدین صورت است که رگبارهای انتخابی پس از دسته بندی بر مبنای تداومهای زمانی معیار (جدول ۵)، به صورت بی بعد ترسیم می شوند. بدین معنی که محور X به درصد تجمعی تداوم بارش نسبت به کل آن تداوم و محور Y به درصد تجمعی مقدار بارش نسبت به کل مقدار آن بارش اختصاص می یابد. سپس نمودار تجمعی رگبارهای مربوط به هر تداوم، صرف نظر از این که شدت بارش حداکثر در کدام بخش رگبار باشد، در یک سامانه ی مختصات رسم می شود. در نهایت، الگوی توزیع زمانی میانگینی برای هر یک از تداومهای معیار ارائه گردد. بدین منظور، لازم است که اندازه ی بارش در هر رگبار در گامهای زمانی ۵ درصد

<sup>1</sup> Lagrangian Polynomial

مثال قبل آمده است. همان گونه که در شکل (۶) مشاهده می‌شود، اعداد محاسبه شده با روش لاگرانژین به اعداد واقعی بسیار نزدیک می‌باشند. شکل (۷) الگوهای میانگین توزیع زمانی بارش تداوم‌های استاندارد را برای ایستگاه‌های تحت بررسی به روش پیلگریم نشان می‌دهد.

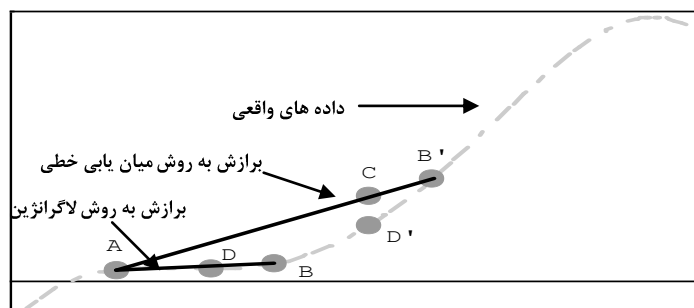
چندجمله‌ای‌های مزبور موسوم به چندجمله‌ای‌های لاگرانژ<sup>۱</sup> تقریب زده می‌شود. شکل (۵) لزوم استفاده از این روش را مشخص می‌سازد. مسیر  $ABB'$  منحنی برازش داده شده بر اعداد واقعی و  $ACB'$  نقاط حاصل از میان‌یابی خطی و  $ADD'B'$  نقاط حاصل از نقطه‌یابی لاگرانژین می‌باشد. در جدول (۷) نیز اعداد محاسبه شده با این روش برای

جدول ۵- شمار بارشهای ثبت شده و تحت بررسی در طول دوره آماری در تداوم‌های معیار ایستگاههای تحت بررسی

تعداد کل	۴۸ ساعته	۲۴ ساعته	۱۲ ساعته	۶ ساعته	۳ ساعته	۱ ساعته	تداوم بارش
۵۱	۶	۲۲	۷	۸	۷	۱	ایستگاه بم
۱۳۶	۱۵	۴۰	۴۰	۲۳	۱۴	۴	ایستگاه تهران
۲۸۸	۲۷	۱۰۹	۹۵	۴۱	۸	۹	ایستگاه شیراز
۳۲۶	۷	۸۵	۱۲۴	۷۰	۳۱	۹	ایستگاه گرگان

جدول ۶- تخمین مقدار بارش در گامهای ۵٪ زمانی یک رگبار با روش تناسب

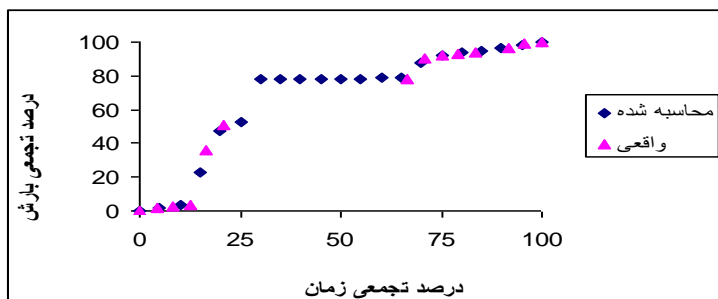
درصد تجمعی تداوم بارش٪	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵		
درصد تجمعی مقدار بارش٪	۱/۷	۳/۰	۳۲/۵	۴۸/۴	۲۹/۲	۳۵/۱	۴۰/۹	۴۶/۸	۵۲/۷		
	۵۰	۵۵	۶۰	۶۵	۷۰	۷۵	۸۰	۸۵	۹۰	۹۵	۱۰۰
	۵۸/۵	۶۴/۴	۷۰/۲	۷۶/۱	۸۹/۴	۹۲/۳	۹۰/۵	۸۹/۱	۹۴/۴	۹۸/۱	۱۰۰



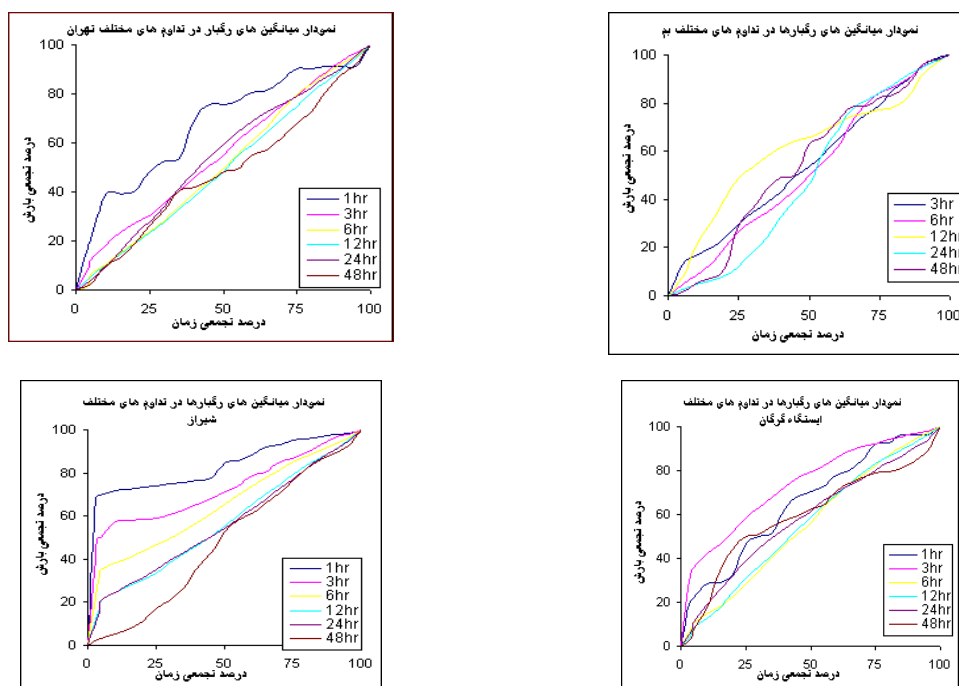
شکل ۵- مقایسه نقاط واقعی رگبار با میان‌یابی خطی و میان‌یابی لاگرانژین در روش محاسبات عددی

جدول ۷- مقادیر محاسبه شده مقدار بارش در گام ۵٪ زمانی یک رگبار با کاربرد محاسبات عددی

درصد تجمعی تداوم بارش٪	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵		
درصد تجمعی مقدار بارش٪	۲/۰۹	۳/۲۳	۲۳/۲۳	۴۷/۶۱	۵۲/۹۸	۷۸/۰۹	۷۸/۱	۷۸/۲	۷۸/۳		
	۵۰	۵۵	۶۰	۶۵	۷۰	۷۵	۸۰	۸۵	۹۰	۹۵	۱۰۰
	۷۸/۴	۷۸/۵	۷۸/۶	۷۸/۷	۸۸	۹۲/۳۸	۹۳/۵۲	۹۴/۶۶	۹۶/۱۶	۹۷/۴۸	۱۰۰



شکل ۶- مقایسه‌ی نقاط به دست آمده از محاسبات عددی و اعداد واقعی



شکل ۷- نمودار الگوهای میانگین توزیع زمانی بارش تداوم‌های استاندارد در ایستگاه‌های تحت بررسی

برای هر بارش در دسته‌بندی جدید را به صورت ستونی مرتب کرده و داده‌های هر ستون را به ترتیب نزولی تنظیم می‌کنند. در پی آن، با اعمال رابطه‌ی احتمال تجربی، نمودار رگبارهای هر تداوم، در چارکهای مختلف در احتمالات ۱۰- ۲۰ - ۳۰ - ۴۰ - ۵۰ - ۶۰ - ۷۰ - ۸۰ - ۹۰ رسم می‌شوند. شکل (۸) نمودار این احتمالات را در چارکهای مختلف تداوم ۱۲ ساعته‌ی گرگان به عنوان نمونه نشان می‌دهد.

در ادامه، برای انجام مقایسه‌های بیشتر، الگوهای به دست آمده در تداومها، چارکها و احتمالهای مختلف با توجه به اهداف تحقیق به‌طور مستقل در یک دستگاه مختصات رسم می‌گردند. در شکل (۹) توزیع زمانی رگبار در ایستگاه گرگان با احتمال تجربی ۵۰ درصد در

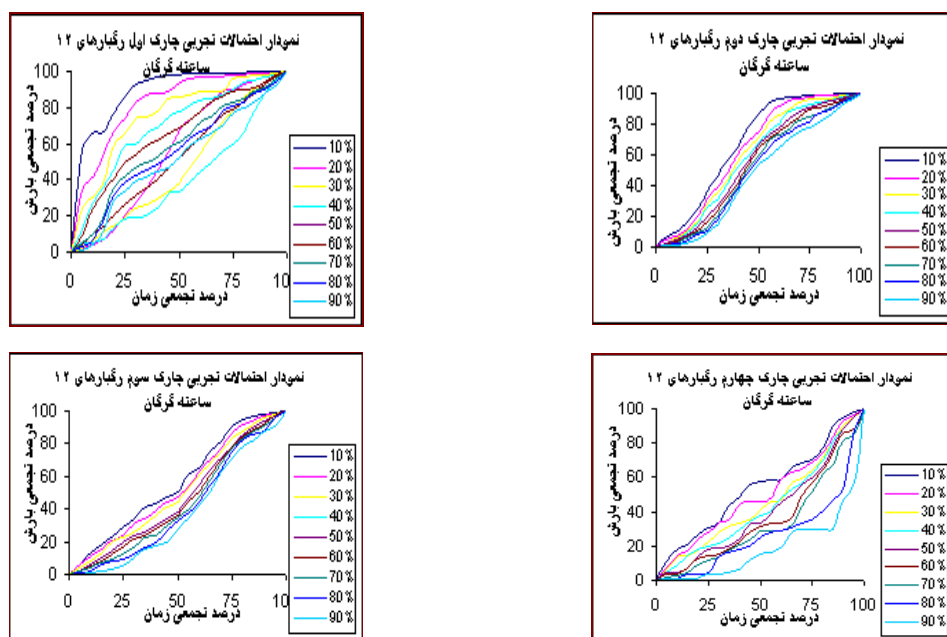
## روش هاف

در روش تجربی هاف، علاوه بر تقسیم‌بندی رگبارهای انتخابی براساس تداوم‌های معیار، در هر یک از دسته‌ها، دسته‌بندی دیگری نیز بر اساس زمان وقوع حداکثر شدت بارش صورت می‌گیرد (هاف، ۱۹۹۰). شیوه‌ی کار بدین صورت است که رگبارها را به چهار دسته تقسیم می‌کنند. این دسته‌بندی بر این اساس است که بیشترین شدت بارش در کدام چارک زمانی به وقوع پیوسته باشد. در هر یک از دسته‌های جدید مقدار و دیرپایی بی بعد شده‌ی رگبارها به صورت درصد تجمعی را در یک نمودار رسم می‌کنند. سپس مقادیر بارش به دست آمده در گام زمانی ۵ درصد (در بازه‌ی صفر تا ۱۰۰ درصد زمانی)

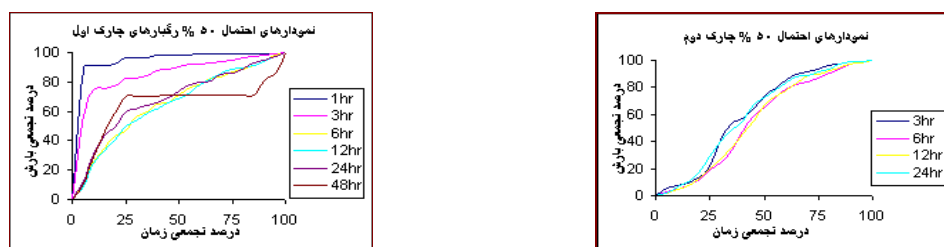


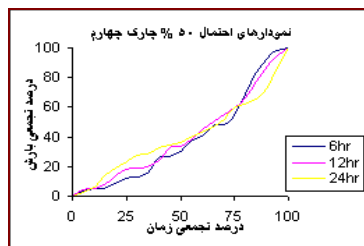
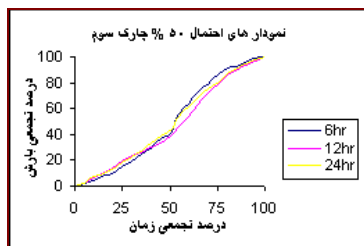
چارک‌های هر تداوم در ایستگاه‌های تحت بررسی انتخاب و در یک سامانه‌ی مختصات رسم می‌گردد. برای نمونه، الگوهای به دست آمده برای ایستگاه گرگان در شکل (۱۰) آمده است. در آخر نیز الگوهای توزیع زمانی رگبارها در احتمال ۵۰ درصد هر ایستگاه صرف نظر از تداوم در یک سامانه مختصات رسم شد که در شکل (۱۱)، نمودار مربوط به ایستگاه‌های تحت بررسی آمده است.

تداوم‌های مختلف در چارک‌های موجود در یک سامانه‌ی مختصات برای ایستگاه گرگان رسم گردیده است. این شکل امکان مقایسه‌ی الگوی توزیع زمانی رگبارهای با احتمال ۵۰ درصد در هر چارک را ممکن می‌سازد و تاثیر تداوم بر الگوهای بارش در چارک‌های مختلف را مشخص می‌کند. در گام بعدی برای مقایسه احتمالات ۵۰ درصد هر تداوم و بررسی نقش چارک‌ها بر الگوهای بارش، توزیع زمانی رگبارهای احتمال ۵۰ درصد

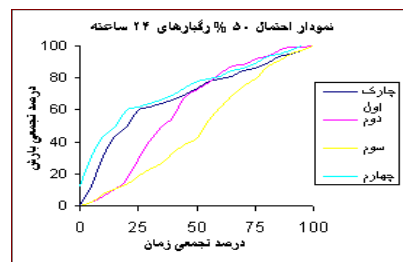
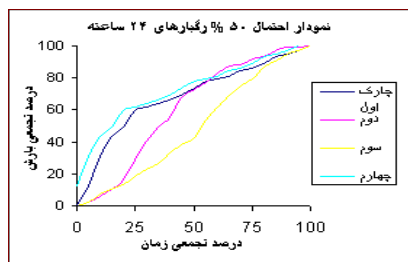
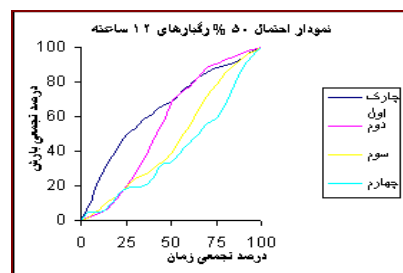
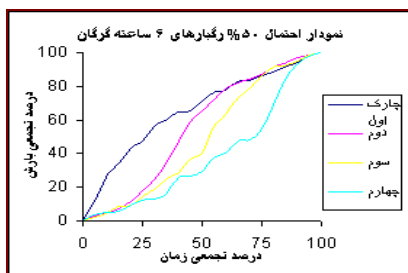
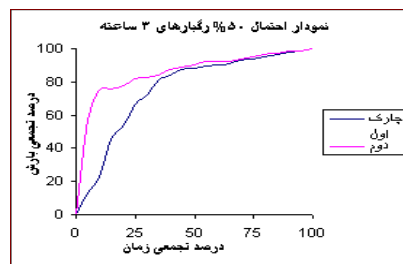
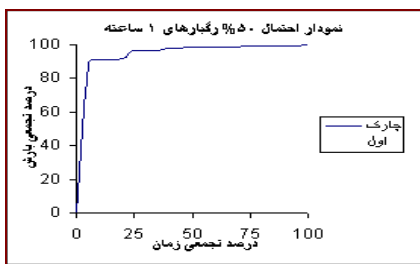


شکل ۸ - نمودار الگوهای رگبار در چارک‌های مختلف ایستگاه گرگان

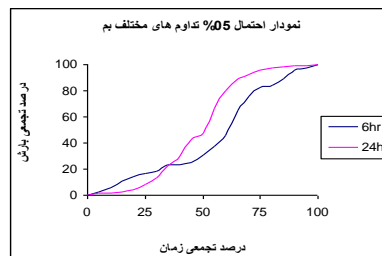
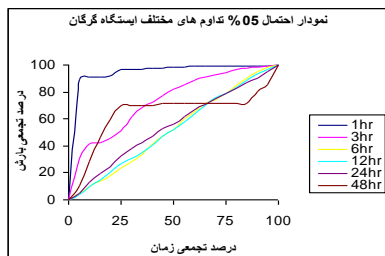


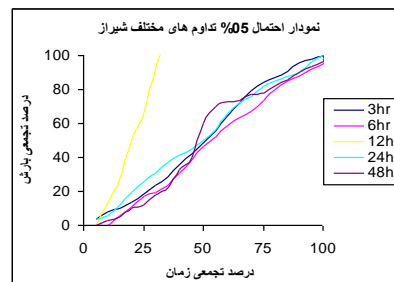
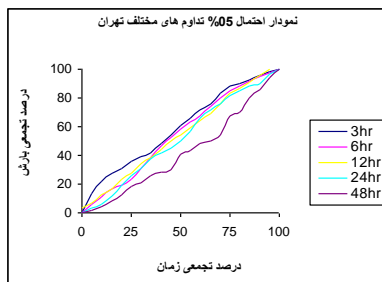


شکل ۹- نمودار الگوهای ۵۰٪ رگبارها در تداومهای معیار چارک‌های مختلف ایستگاه گرگان (نمودارها تنها در چارک‌ها و تداوم‌هایی که رگبار قابل ملاحظه داشته‌اند) (بیش از ۴ رگبار) رسم شده‌اند)



شکل ۱۰- نمودار الگوهای توزیع زمانی بارش در احتمال ۵۰ درصد چارک‌های مختلف تداوم‌های معیار ایستگاه گرگان (نمودارها تنها در چارک‌هایی که رگبار قابل ملاحظه داشته‌اند) (بیش از ۴ رگبار) رسم شده‌اند)





شکل ۱۱- نمودار احتمال ۵۰ درصد توزیع زمانی رگبارها در ایستگاه‌های تحت بررسی صرف نظر از تداوم و چارک بارش (نمودارها تنها در چارک‌ها و تداوم‌هایی که رگبار قابل ملاحظه داشته اند) (بیش از ۴ رگبار) رسم شده اند)

ندارند؛ لذا برای هر تداوم بایستی از الگوی ارائه شده همان تداوم استفاده کرد.

ج) در عین حال با مقایسه نمودار احتمال تجربی ۵۰٪ چارک‌ها در تداوم‌های مختلف این نتیجه حاصل می‌آید که همه الگوهای ۵۰٪ چارک‌های مختلف تهران و گرگان بسیار شبیه به هم بوده و می‌توان این الگوها را در صورت فقدان یکی به جای دیگری جایگزین کرد. در ایستگاه شیراز این امر تنها در چارک دوم صادق می‌باشد. در ایستگاه بم، به علت کم بودن الگوها امکان این مقایسه وجود ندارد.

چ) در ایستگاه‌های تهران و شیراز، نمودار کلی احتمال ۵۰٪ ارائه شده بسیار شبیه به الگوی سایر تداوم‌هاست. نتیجه این که امکان جایگزینی این نمودارها با هم وجود دارد، ولی این امر برای ایستگاه گرگان صادق نیست.

### بحث و نتیجه گیری

در تعیین الگوهای توزیع زمانی بارش با استفاده از رگبارهای مشاهده‌ای یک ایستگاه، استفاده از روش محاسبات عددی چندجمله‌ای‌های لاگرانژ نسبت به میان‌یابی خطی از دقت بیشتری برخوردار بوده و از بروز خطاهای احتمالی می‌کاهد. لذا، در محاسبات مشابه، بهره‌گیری از این روش پیشنهاد می‌گردد. در مقایسه‌ی دو روش مشاهده‌ای پیلگریم و هاف، روش هاف با توجه به تفکیک رگبارها بر اساس زمان وقوع بیشترین شدت بارش و رسم الگوهای بارش بر پایه‌ی احتمال تجربی، نتایج دقیق‌تر و مناسب‌تری را ارائه می‌دهد. این روش، در شرایط دسترسی به آمار طولانی مدت رگبار که در آن امکان دسته‌بندی رگبارها به لحاظ زمان وقوع حداکثر شدت

### نتایج

الف) توزیع آماری حاکم بر نمودار میله‌ای و ستونی اندازه و تداوم بارش در فراوانی مطلق و درصد فراوانی نسبی داده‌ها کمابیش به شکل  $J$  معکوس می‌باشد، یعنی با افزایش اندازه و تداوم بارش، از فراوانی رگبارها کاسته می‌شود. این وضعیت تغییرات در داده‌ای دسته‌بندی شده تداوم و اندازه بارش نیز مشاهده می‌شود. این امر مؤید صحت بهره‌گیری از طبقه‌بندی‌های انجام شده در این مطالعات می‌باشد.

ب) پراکندگی نمودارهای بدون بعد رسم شده در روش پیلگریم در ایستگاه‌های تحت بررسی برای اکثر تداوم‌ها به حدی است که استفاده از نمودار میانگین به دست آمده از این روش را به عنوان الگوی میانگین در این تداوم‌ها غیر منطقی می‌نماید.

پ) به جز ایستگاه شیراز در سایر ایستگاه‌ها الگوی میانگین در تداوم‌های مختلف بسیار شبیه بوده و در واقع این الگوها مستقل از تداوم بارش هستند. یعنی می‌توان در این ایستگاه‌ها الگوی میانگین کلی را صرف نظر از تداوم در نظر گرفت که با توجه به مطلب قبلی این عمل منطقی به نظر نمی‌رسد.

ت) نظر به هماهنگی بهتر روش هاف با طبیعت رگبارهای ایستگاه‌های تحت بررسی پیشنهاد می‌شود. در این روش چارک با بیشترین فراوانی مورد نظر قرار گیرد و در برنامه‌ریزی‌ها در صورت فقدان آمار کافی از این الگو استفاده گردد.

ث) با مقایسه نمودار احتمال تجربی ۵۰٪ در روش هاف مشاهده می‌شود که به جز تداوم ۴۸ ساعته تهران، سایر تداوم‌های ایستگاه‌های تحت بررسی شباهت زیادی به هم

- \_ Historical studies: Illinois State Water Survey Report of Investigation 82,63p.
6. Kennedy, M.R., L.H., Turner, R.P., Canterford, and H.J., Pearce 1991. Temporal distributions within rainfall bursts. Australian Bureau of Meteorology Report Series, Report Number 1.
  7. Malekipor, F., 2004. Rainfall temporal pattern of some selected meteorological stations in the Khorasan province. Earth and space physics. 28(2):35-44.
  8. Olsson, J., and T., Berndsson. 1998. Temporal rainfall desegresion based on scaling properties. Water Sci. Technology 37: 703-728.
  9. Pilgrim, DE., H., Kennedy, M.R., and I.A., Rowbottom. 1991. Temporal pattern of rainfall bursts. Australian Rainfall and Runoff , 1: 43-53.
  10. Troutman, T., 2001. Multiplicative cascade models for rain in hydro meteorological disasters risk management. Hydrology Geophysical Research Letters, 20, 931-934
  11. Viessman, L., J.R., Warren, and L. G., Lewis. 1996. Introduction to hydrology, 4th ed., pp. 373-399.
- بارش وجود داشته و روابط محاسبه احتمال تجربی نیز در آنها قابل انجام باشد، به عنوان روش برتر در تعیین الگوهای زمانی رگبار معرفی می‌گردد. همچنین نتایج حاصل گویای نیاز مناطق مختلف کشور برای محاسبه‌ی الگوهای توزیع زمانی رگبار بوده و استفاده از الگوهای پیشنهادی مانند SCS را در برآورد رواناب نقض می‌کند.
- منابع**
1. Gerald C. F., and P. O., Wheatley. 1997. Applied numerical analysis California Polytechnic University San Luis Obispo, 6th edition, Addison-Wesley, pp. 223-226.
  2. Pelletier G, F. Anctil and M., Filion. 2009. Characterization of 1-h rainfall temporal patterns using a Kohonen neural network. 36:980-990, 10.1139/L09-027.
  3. Golkar, F., 2006. A practical theory of rainfall temporal pattern of some climatic types of Iran. M.Sc. dissertation, University of Tehran.
  4. Huff, F. A., 1990. Time distribution of heavy rainstorm in Illinois, Department of Energy and Natural Resources. Vol.14, pp. 36-42.
  5. Huff, F.A., and J.L., Vogel. 1976. Hydrometeorology of heavy rainstorm in Chicago and Northeastern Illinois. Phase I