

## مقایسه برخی روش‌های تعیین الگوی توزیع زمانی بارش جهت برآورد سیلاب‌های شهری؛ مطالعه موردی بابلسر

ولی‌الله کریمی<sup>۱</sup>، کریم سلیمانی<sup>۲</sup>، محمود حبیب نژادروشن<sup>۳</sup>، کاکا شاهدی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۳/۲۰

تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۹/۲۵

### چکیده

تغییرات شدت بارندگی در طول زمان پیشروی رگبار، تاثیر به سزایی در شکل هیدروگراف و زمان وقوع دبی پیک سیلاب‌های ناشی از بارش دارد. یکی از ورودی‌های مهم مدل‌های شبیه‌سازی سیلاب‌های ناشی از بارندگی در حوضه‌های شهری، الگوی توزیع زمانی بارش است که در بخش شبیه‌سازی بارش - رواناب کاربرد داشته و مشخصات هیدرولیکی جریان در مجاری آبروی شهری اعم از روباز و زیرزمینی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. روش‌های متعددی برای تعیین الگوی توزیع زمانی بارش ارائه شده است. در این تحقیق از روش‌های ین وچاو، شیکاگو و بلوک‌های ساختگی استفاده شد. به دلیل درصد سطوح نفوذناپذیر زیاد و کوچک بودن حوضه شهری بابلسر، رگبار طرح ۲ ساعته با دوره بازگشت ۱۰ سال مورد بررسی قرار گرفت. ۳۲۹ رگبار پیوسته از گراف‌های بارندگی بین سال‌های ۱۹۶۶ تا ۱۹۹۸ استخراج گردید. رگبارها به ۵ دسته کوچکتر از ۶ ساعت، ۶ تا ۱۲ ساعت، ۱۲ تا ۱۸ ساعت، ۱۸ تا ۲۴ ساعت و بزرگ‌تر از ۲۴ ساعت تفکیک شدند. دسته منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی با استفاده از داده‌های بارندگی ثبت شده محاسبه و ترسیم شدند. زمان اوج‌گیری رگبار (نسبت  $\frac{t_p}{t_d}$ ) در روش ین و چاو محاسبه گردید و از آن به جای ضریب پیشروی رگبار (۲) در روش شیکاگو استفاده شد. در روش بلوک‌های ساختگی نیز برای تعیین مرکز زمانی رگبار استفاده شد. نتیجه تحقیق حاضر بر این نکته تاکید می‌کند که در صورت وجود داده‌های بارندگی مناسب، روش ین وچاو می‌تواند به عنوان روشی مطمئن جهت تعیین زمان وقوع اوج‌گیری رگبار در یک ایستگاه یا منطقه مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: رگبار طرح، روش بلوک‌های ساختگی، روش شیکاگو، روش ین وچاو، زمان اوج‌گیری رگبار، ضریب پیشروی رگبار.

۱- دانشجوی دکتری آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه مازندران، ساری، ایران، ۰۹۱۱۳۲۷۲۸۵۳ [VKARIMI80@GMAIL.COM](mailto:VKARIMI80@GMAIL.COM)

۲- استاد گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

۳- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

۴- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

## مقدمه

مربع در شرق ایلت ایلینویز آمریکا، به چارک اول تا چهارم بر اساس حداکثر میزان بارش در هر چارک و تعیین فراوانی وقوع، الگوی نهایی توزیع زمانی احتمالاتی را با سطوح احتمال ۱۰ تا ۹۰ درصد برای ۲۶۰ رگبار ثبت شده را به صورت منحنی‌های بدون بعد بدست آوردند.

پیلگریم و کردری (۱۹۷۵)، الگوی توزیع زمانی بارش در منطقه سیدنی استرالیا را با استفاده از ۵۰ رگبار شدید با پایه‌های زمانی مختلف مربوط به ۵۱ سال آماری را به روش‌های میانگین ترسیمی و میانگین محاسباتی ارائه نمودند.

کیفر و چو (۱۹۷۵) با استفاده از منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی اقدام به تهیه الگوی زمانی رگبار طراحی شهر شیکاگو نمودند. با آنالیز داده‌های بارندگی، ضریب پیشروی رگبار (۲) را برابر ۰,۳۷۵ بدست آوردند.

ین و چاو (۱۹۸۰) با تجزیه و تحلیل بیش از دویست و پنجاه هزار رگبار ثبت شده در سراسر ایالات متحده آمریکا، هیتوگراف بدون بعد رگبار طرح مثلثی را توسعه دادند و نقشه زمان وقوع نقطه اوج رگبار را برای کل کشور بدست آوردند.

چوکوما و شواب (۱۹۸۳)، تعداد ۴۵۴ رگبار در آپالاشین شمالی واقع در ایالت اوهایو آمریکا را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. برحسب وقوع بیشترین بارش در هر کدام از سه جزء زمانی یکسان در طول بارش، رگبارها را به سه تیپ پیشرفته، میانی تاخیری تقسیم کردند. این تحلیل مشابه مشابه بارش‌های چارکی در روش هاف است. بوستامی و همکاران (۲۰۱۲) روش میانگین تغییرپذیری را برای هفت ایستگاه هواشناسی در منطقه جنوبی ساراواک اندونزی به کاربرند و الگوهای زمانی بارندگی را برای تداوم‌های ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۳۶۰ دقیقه بدست آوردند و نتیجه گرفتند که این الگوی زمانی بارندگی با آنچه برای جزیره مالزی توسعه یافته متفاوت است.

طالب بیدختی (۱۳۷۴)، با استفاده از روش‌های ارائه شده توسط پیلگریم و هاف، الگوی توزیع زمانی بارش را در ۱۷ ایستگاه هواشناسی سمنان استخراج نمودند.

امین (۱۳۷۹)، الگوی توزیع زمانی بارش در ۴ ایستگاه استان فارس را با استفاده از روش احتمالاتی هاف و رسم منحنی‌های بدون بعد تجمعی و تقسیم‌بندی بارش‌ها به چارک‌های اول تا چهارم و اعمال روش‌های آماری در

برآورد سیلاب طراحی از جمله مهم‌ترین مطالعات مورد نیاز در پروژه‌های منابع آب به ویژه کانال‌های جمع‌آوری سیلاب‌های شهری و طرح‌های سدسازی است. نخستین گام در برآورد سیلاب طراحی، انتخاب بارش طراحی است. بارش طراحی که پایه سیلاب طراحی است با ویژگی‌هایی مشخص می‌شود که از جمله مهم‌ترین این ویژگی‌ها توزیع زمانی بارندگی است. بارش طراحی دارای شدت ثابت و یکنواخت نیست و در عمل در طول مدت وقوع بارندگی دارای شدت‌های مختلف است. برای تعیین شدت باران طرح باید از یک الگوی مناسب استفاده کرد که این الگو چگونگی ریزش باران طی زمان بارندگی را تعیین می‌کند و آن را اصطلاحاً توزیع زمانی یا الگوی زمانی باران طراحی می‌نامند (لشنی زند، ۱۳۷۹).

الگوی توزیع زمانی بارش در امر شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز کاربرد فراوانی داشته و به عنوان یک ورودی اساسی در مدل‌های بارش رواناب به منظور دستیابی به نتایج دقیق‌تر ضروری می‌باشند (قنبرپور و تلوری، ۱۳۸۲).

سیلاب‌های ناشی از بارندگی در حوضه‌های شهری نیز متأثر از الگوی توزیع زمانی بارش قرار دارد. زمان وقوع اوج شدت بارندگی در طول زمان بارش، بر شکل هیدروگراف و همچنین زمان وقوع پیک دبی رواناب سطحی تاثیر می‌گذارد. بارش‌هایی که اوج شدت آن‌ها در میانه مدت زمان بارش قرار دارد دبی پیک رواناب بزرگ‌تری را در مقایسه با بارش‌هایی که اوج شدت آن‌ها در ابتدا یا انتهای زمان بارندگی قرار دارد تولید می‌نمایند چرا که شدت نفوذ آب در خاک با گذشت زمان کاهش یافته در نتیجه میزان رواناب افزایش می‌یابد.

روش‌های مختلفی جهت تعیین الگوی توزیع زمانی بارش توسط محققین ارائه گردیده است. مطالعات زیادی نیز بر اساس این روش‌ها در سراسر دنیا صورت گرفته که به اختصار به برخی از آن‌ها پرداخته می‌شود.

هرشفیلد (۱۹۶۲) با انتخاب ۳۰۰ رگبار شدید از بین داده‌های ۱۵۰ ایستگاه هواشناسی در ایالات متحده آمریکا و تفکیک آن‌ها به بارش‌های ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعته، الگوی میانگین بارش را برای هر پایه زمانی تهیه نمود.

هاف (۱۹۶۷)، با تفکیک بارش‌های ۱۱ ساله در ۴۹ ایستگاه هواشناسی در منطقه‌ای به وسعت ۱۰۳۲ کیلومتر

مناسبتی هم برخوردار است. ضمناً بیان داشتند که بهترین حالت برای رسم منحنی احتمالات روش هاف در هر تداوم، این است که همه رگبارهای چارک اول، دوم، سوم و چهارم آن تداوم را با هم یک جا در نظر گرفته شوند که در این حالت منحنی‌های بدست آمده واضح‌تر و دقیق‌تر خواهند بود.

خاک سفیدی و همکاران (۱۳۸۹)، برای تعیین الگوی توزیع زمانی بارش در استان سیستان و بلوچستان از گراف‌های ۹ ایستگاه باران‌سنج ثابت پراکنده در سطح استان استفاده نمودند که در برگزیده ۱۱۳۶ رگبار شدید بین سال‌های ۱۳۴۷ تا ۱۳۸۵ در تداوم‌های ۱، ۲، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعته بوده است. نتایج نشان داد که در تداوم‌های یک ساعته، مقدار حداکثر بارش در چارک اول و دوم رخ می‌دهد و حدود ۸۰٪ بارش‌های کوتاه‌مدت (۱، ۲، ۳ و ۶ ساعته) در ۲۵٪ اول و دوم زمان بارندگی و در تداوم‌های بلند مدت (۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعته) در ۲۵٪ سوم اتفاق می‌افتد.

بنی‌اسدی (۱۳۹۰)، روش‌های محاسباتی پیلگریم و هاف را برای تعیین الگوی زمانی بارش در استان کرمان به کار بردند و به این نتیجه رسیدند که در مناطق جنوبی استان، اکثر بارش‌ها جزء بارش‌های چارک اول و در مناطق شمالی و شمال‌شرقی جزء بارش‌های چارک سوم و در غرب نیز بیشتر بارش‌ها در چارک دوم رخ داده است. بنابراین اکثر بارش‌های روی داده در استان جزء بارش‌های چارک اول و سوم هستند.

این تحقیق با هدف انتخاب مناسب‌ترین روش جهت تعیین الگوی توزیع زمانی بارش به منظور برآورد سیلاب‌های ناشی از بارندگی در شهر بابلسر می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

ایستگاه سینوپتیک بابلسر با مختصات ۵۲/۳۹ درجه طول جغرافیایی، ۳۶/۴۳ درجه عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریای آزاد ۲۱/۰- متر در داخل محدوده شهر بابلسر و در مجاورت رودخانه بابلرود واقع شده است. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق برگرفته از گراف‌های بارندگی سازمان هواشناسی کشور، بین سال‌های ۱۹۶۶ تا ۱۹۹۸ می‌باشد. ۳۲۹ رگبار پیوسته برای تعیین الگوهای توزیع زمانی بارندگی مورد استفاده قرار گرفت. رگبارها به

پایه‌های زمانی مختلف با احتمال‌های ۱۰ تا ۹۰ درصد ارائه نمودند و با بررسی ۳۸۷ رگبار بارندگی در این استان نتیجه گرفته شد که به علت تنوع آب و هوایی در استان فارس امکان برآزش یک منحنی به کل داده‌ها به عنوان منحنی معرف برای استان امکان‌پذیر نمی‌باشد.

وزیری (۱۳۷۶) الگوی توزیع زمانی بارندگی‌های ۲۴ و ۴۸ ساعته منطقه جنوب‌غرب ایران را به صورت تجمعی و بدون بعد ترسیم کرده و آن‌ها را با الگوهای تیپ SCS مقایسه نمود و نتیجه گرفت که با هیچ یک از این الگوهای تیپ SCS همخوانی ندارند.

حجام و مالکی فرد (۱۳۸۱)، از دو روش ترسیمی پیلگریم و هاف برای تعیین الگوی توزیع زمانی بارش در برخی ایستگاه‌های منتخب استان خراسان استفاده نمودند و دریافتند که در روش پیلگریم، تغییر تداوم رگبار، تقریباً تأثیری روی الگوی توزیع زمانی بارش نمی‌گذارد اما در روش هاف، این تغییر به خوبی مشهود است، لذا نتیجه گرفته شد که روش پیلگریم، روش مناسبی برای تعیین الگوی توزیع زمانی بارش در ایستگاه‌های استان خراسان نیست.

تلوری و همکاران (۱۳۸۱)، الگوهای توزیع زمانی بارش‌ها در ایستگاه‌های سینوپتیک شمال کشور را بررسی کردند. نتایج این تحقیق، نشان داده که اکثر رگبارهای شدید، به ترتیب جزء بارش‌های چارک سوم و دوم می‌باشد. مقایسه الگوهای بدست آمده با الگوهای تیپ SCS حاکی از آن است که تنها الگوهای تیپ احتمالاتی و میانه چارک سوم با احتمال ۵۰٪ با الگوهای SCS IA مطابقت دارد.

رادمنش و همکاران (۱۳۸۶)، با آنالیز داده‌های مربوط به ۱۳ رگبار رخ داده بین سال‌های ۱۳۴۹ تا ۱۳۸۱، یک الگوی توزیع زمانی مناسب را بر اساس میانگین درصد تجمعی بارندگی در پایه‌های زمانی مشترک برای هر یک از رگبارها و یک الگوی دیگر، که از الگوی مربوط به ۱۳ رگبار است را برای کل حوضه آبریز رود زرد پیشنهاد دادند. نورا و همکاران (۱۳۸۹) با آنالیز ۲۰۵ رگبار منفرد مربوط به ایستگاه باران‌سنج ثابت شهرستان زابل، به مقایسه روش‌های پیلگریم و هاف برای تعیین الگوی توزیع زمانی بارش پرداختند و به این نتیجه رسیدند که روش پیلگریم ساده و گویاتر از روش هاف بوده و در صورت دسترسی به داده‌های مناسب در عین سادگی از دقت

شدند. تعداد و درصد فراوانی رگبارها در تداوم‌های مختلف در جدول (۱) نشان داده شده است.

۵ دسته کوچکتر از ۶ ساعت، ۶ تا ۱۲ ساعت، ۱۲ تا ۱۸ ساعت، ۱۸ تا ۲۴ ساعت و بزرگتر از ۲۴ ساعت تفکیک

جدول(۱): تعداد و درصد فراوانی رگبارها در تداوم‌های مختلف(ساعت)

تداوم	کوچکتر از ۶	۶ تا ۱۲	۱۲ تا ۱۸	۱۸ تا ۲۴	بزرگتر از ۲۴	جمع
تعداد واقعه	۱۴۸	۵۱	۴۸	۲۲	۶۰	۳۲۹
درصد فراوانی	۴۵	۱۵،۵	۱۴،۶	۶،۷	۱۸،۲	۱۰۰

دقیقه و دوره بازگشت ۱۰ ساله، شدت بارندگی استخراج می‌شود.

### روش ین و چاو

ین و چاو (۱۹۸۰)، با تجزیه و تحلیل بیش از ۲۵۰،۰۰۰ رگبار ثبت شده در ۳۰۰ ایستگاه هواشناسی سراسر ایالت متحده آمریکا، هایتوگراف مثلثی بدون بعد عمومی شده‌ای را به صورت شکل(۱) ارائه دادند. که  $i$  شدت بارندگی،  $\bar{t}$  متوسط شدت بارندگی،  $t$  زمان،  $t_d$  مدت بارندگی،  $i_p$  حداکثر شدت بارندگی و  $t_p$  زمان وقوع حداکثر شدت بارندگی می‌باشد. در حالت ایده‌آل،  $\frac{i_p}{\bar{t}}$  برابر ۲ می‌باشد و تنها باید زمان وقوع اوج شدت بارندگی ( $t_p$ ) محاسبه گردد.

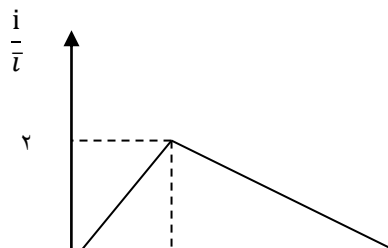
مدت بارندگی ( $t_p$ ) به  $n$  قسمت با گام‌های زمانی  $\Delta t$  تقسیم شده ( $\Delta t = \frac{t_d}{n}$ )، گشتاور اول بدون بعد برای هر رگبار با فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$m_1 = \frac{\Delta t \sum_{j=1}^n (j-0.5) d_j}{\bar{t} t_d^2} \quad (1)$$

متوسط گشتاور اول تمام رگبارهای ثبت شده برای یک دوره مشخص آماری ( $\overline{m_1}$ ) محاسبه شده و با کمک رابطه زیر،  $t_p$  بدست می‌آید (برومند نسب، ۱۳۸۲):

$$\frac{t_p}{t_d} = 3\overline{m_1} - 1 \quad (2)$$

ین و چاو (۱۹۸۳) برای نقاط مختلف ایالات متحده آمریکا نسبت  $\frac{t_p}{t_d}$  را محاسبه کرده و نقشه هم مقدار را برای کل کشور ترسیم نمودند.



برای تعیین الگوی توزیع زمانی بارندگی، مقدار بارش در بازه‌های زمانی ده دقیقه‌ای از زمان شروع تا پایان بارش استخراج گردید. با توجه به کوچک بودن حوضه شهری بابلسر و ضریب رواناب بالا که پاسخ هیدرولوژیکی سریع را به دنبال خواهد داشت، رگبار طرح ۲ ساعته به عنوان بارش طراحی در نظر گرفته شد.

انتخاب دوره بازگشت باران طرح به عوامل مختلفی چون اهمیت سازه در دست طراحی، هزینه‌های اجرای طرح، میزان سازه‌های حفاظتی زهکشی طرح و خسارت ناشی از تخریب سازه بستگی دارد. معمولاً دوره بازگشت سیلاب‌های شهری بین ۲ تا ۲۵ سال تغییر می‌کند (برومند نسب، ۱۳۸۱).

در این تحقیق، روش‌های ین و چاو، شیکاگو و بلوک‌های ساختگی برای تعیین الگوی توزیع زمانی رگبار طرح ۲ ساعته و دوره بازگشت ۱۰ ساله مورد بررسی قرار می‌گیرند.

### رگبار طرح ۲ ساعته

برای محاسبه رگبار طرح ۲ ساعته با دوره بازگشت ۱۰ ساله، لازم است تا دسته منحنی‌های متوسط شدت، مدت و دوره بازگشت برای ایستگاه سینوپتیک بابلسر محاسبه و ترسیم گردد. نخست حداکثر بارش‌های با تداوم انتخابی (مثلاً ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ دقیقه و ...) در هر سال آماری استخراج شده سپس مجموعه آمار بدست آمده با یک نوع توزیع آماری برازش داده می‌شود. احتمال فراتر رفتن برای مقادیر متفاوت باران با استفاده از این توزیع تعیین می‌گردد. نهایتاً عمق‌های باران به دست آمده بر مدت زمان باران‌های مربوط به آن تقسیم شده تا روابط شدت-مدت-فراوانی به دست آید. برای بارش‌های با تداوم ۱۲۰

شکل (۱): هایتوگراف مثلثی بدون بعد ارائه شده توسط ین و چاو

$$t_a = t - t_p \quad \text{و} \quad t_b = t_p - t$$

بهرتر است که ضریب پیشروی رگبار (r) را با آنالیز داده‌های بارندگی ثبت شده در هر ایستگاه هواشناسی محاسبه کرد و یا از نقشه‌های موجود استفاده نمود. حداکثر شدت بارندگی محاسبه شده در روش شیکاگو برای یک دوره بازگشت معین ثابت بوده و صرف نظر از مدت بارندگی برابر  $\frac{A}{C}$  می‌باشد. چرا که با صفر قرار دادن  $t_b$  و  $t_a$  در فرمول‌های فوق،  $i$  برابر  $\frac{A}{C}$  بدست می‌آید که چندان هم دور از واقعیت نمی‌باشد. چرا که رگبارهای بحرانی دارای مدت کوتاه و شدت زیاد برای همان دوره بازگشت، در هایتوگراف بارندگی بدست آمده از روش شیکاگو قرار می‌گیرند.

### روش هایتوگراف بلوک ساختگی

از منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی محل مورد نظر برای تهیه رگبار طرح با تداوم و دوره بازگشت معین استفاده می‌شود. هایتوگراف ساخته شده در این روش به صورت هیستوگرام مجزا می‌باشد. برای ساخت هر هایتوگراف مربوط به رگبار طرح، رگبارهای با تداوم کمتر و شدت بیشتر مشارکت دارند. در این روش، حداکثر شدت بارندگی به گام‌های زمانی استفاده شده، بستگی دارد و ترتیب قرارگیری شدت‌های بارندگی تا حدودی اختیاری است. یک قاعده سرانگشتی این است که بخش دارای شدیدترین بارندگی بین یک سوم و یک دوم طول زمانی بارندگی باشد. شدت‌های بارندگی مربوط به بازه‌های زمانی مختلف را به صورت نزولی مرتب کرده، پس از قرار دادن اولین شدت بارش در محل مورد نظر به تناوب شدت‌های کوچک‌تر بعدی را قبل و بعد از شدت حداکثر قرار

### روش شیکاگو

این روش که به کیفر و چو (۱۹۵۷) نسبت داده شده به روش شیکاگو معروف است چرا که اولین بار برای طراحی شبکه جمع‌آوری زه‌آب‌های شهر شیکاگو توسعه یافت. این روش را می‌توان برای نقاط دیگری که منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی مربوط به بارندگی موجود است مورد استفاده قرار داد. در این روش، رابطه شدت - مدت بارندگی هر نقطه برای دوره بازگشت طراحی انتخابی به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$\bar{t} = \frac{A}{t_d^B + C} \quad (3)$$

که  $A$ ،  $B$  و  $C$  پارامترهای برازش منحنی هستند و  $t_d$  مدت زمان رگبار است. شدت لحظه ای رگبار طرح با روابط زیر محاسبه می‌گردد:

$$i = \frac{A[(1-B)(t_b/r)^B + C]}{[(t_b/r)^B + C]^2} \quad (4)$$

$$i = \frac{A\{(1-B)[t_a/(1-r)]^B + C\}}{\{[t_a/(1-r)]^B + C\}^2} \quad (5)$$

که رابطه اول و دوم به ترتیب برای قبل و بعد از حداکثر شدت بارندگی است.

$i$ : ضریب پیشروی رگبار

$t_p$ : زمان اوج شدت باندگی

رابطه (۱) بدست آمد. برای تمام رگبارها و همچنین هر دسته تداوم، متوسط  $m_1$  محاسبه و با قرار دادن آن در رابطه (۲)، نسبت  $\frac{t_p}{t_d}$  بدست آمد. نتایج در جدول (۲) آورده شده است.

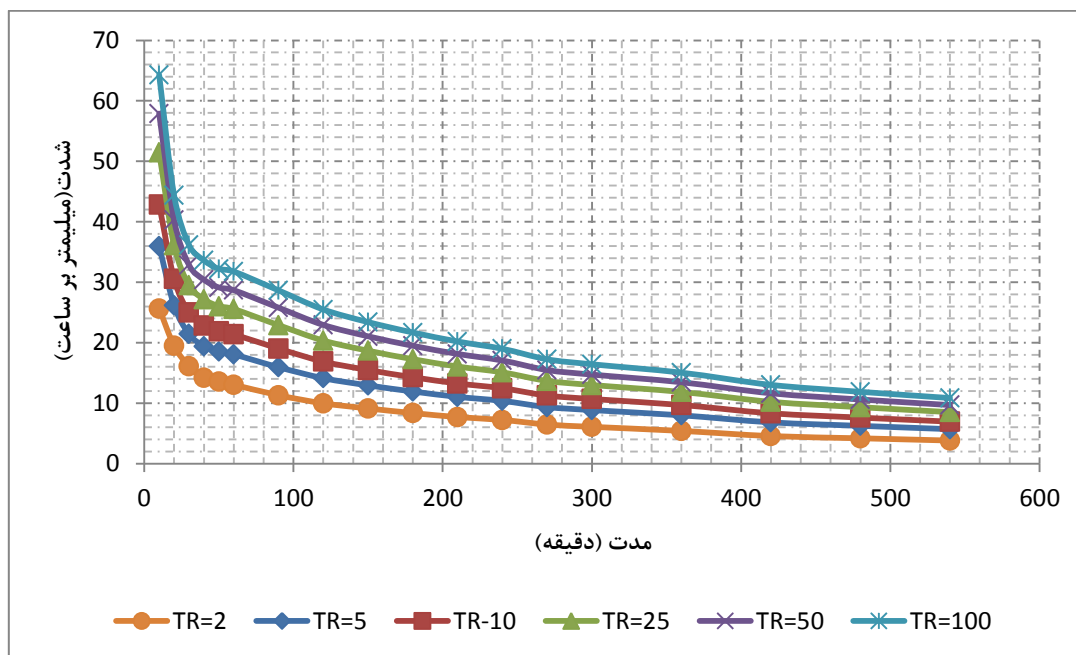
نسبت  $\frac{t_p}{t_d}$  برای تمام رگبارها برابر  $۰/۳۴۵$  محاسبه شد که برای رگبار طرح ۲ ساعته،  $t_p$  یا زمان اوج گیری رگبار  $۰/۶۹$  ساعت یا تقریباً ۴۰ دقیقه بدست آمد. نظر به این که در روش ین و چاو نسبت  $\frac{t_p}{T}$  یا نسبت شدت بارش حداکثر به شدت متوسط، برابر ۲ در نظر گرفته شده است لذا شدت بارش حداکثر برای رگبار طرح ۲ ساعته  $۳۳/۷۶$  میلیمتر در ساعت می باشد که ۴۰ دقیقه پس از شروع بارندگی رخ می دهد. به دلیل خطی بودن تغییرات شدت بارش نسبت به زمان، شدت بارش مربوط به بازه های زمانی دیگر با میان یابی بدست می آید. هایتوگراف حاصل در شکل (۳) نشان داده شده است.

می دهند. همچنین می توان از نقشه های هم  $\frac{t_p}{t_d}$  جهت تعیین زمان اوج گیری رگبار استفاده نمود.

## نتایج و بحث

آنالیز فراوانی داده های بارش حداکثر سالانه با توزیع مقادیر حدی نوع یک انجام شده و دسته منحنی های شدت- مدت- فراوانی برای دوره بازگشت های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله ترسیم گردید که در شکل (۲) نشان داده شده است.

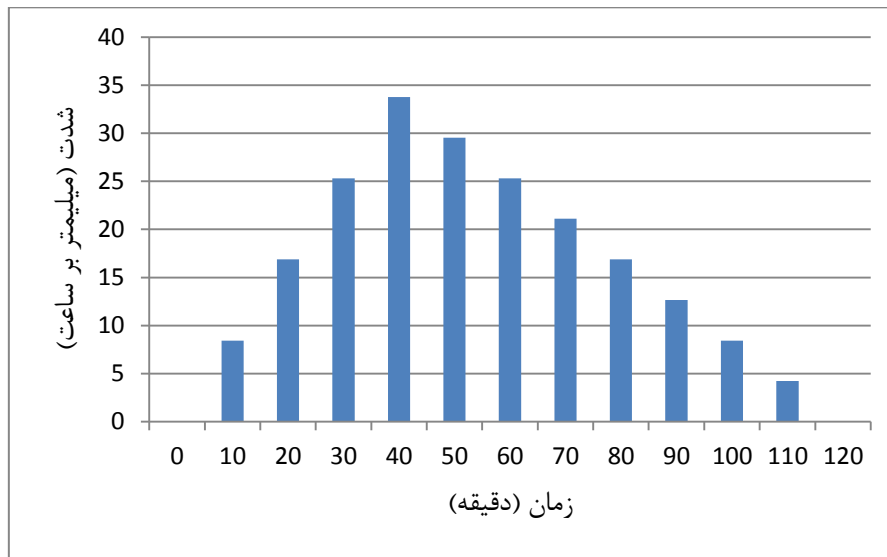
متوسط شدت بارندگی مربوط به رگبار ۲ ساعته با دوره بازگشت ۱۰ ساله  $۱۶/۸۸$  میلیمتر بر ساعت برآورد شد. با توجه به استفاده از گراف های بارندگی سازمان هواشناسی، مقدار جمعی بارندگی برای هر رگبار و همچنین شدت بارندگی در بازه های زمانی ده دقیقه ای محاسبه گردید. برای تعیین الگوی توزیع زمانی بارش به روش ین و چاو، ضریب  $m_1$  مربوط به هر رگبار از



شکل (۲): منحنی های شدت - مدت - فراوانی ایستگاه سینوپتیک بابلسر

جدول (۲): نسبت  $\frac{t_p}{t_d}$  محاسبه شده به روش ین و چاو برای تداوم های مختلف

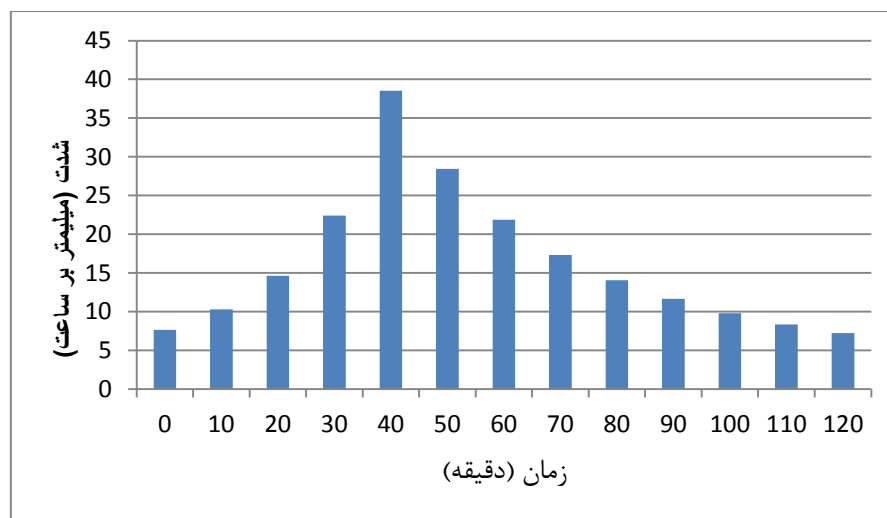
تداوم (ساعت)	کوچکتر از ۶	۶ تا ۱۲	۱۲ تا ۱۸	۱۸ تا ۲۴	بزرگتر از ۲۴	تمام رگبارها
نسبت $\frac{t_p}{t_d}$	۰/۲۷	۰/۴۴	۰/۳۷	۰/۲۹	۰/۴۱	۰/۳۴۵



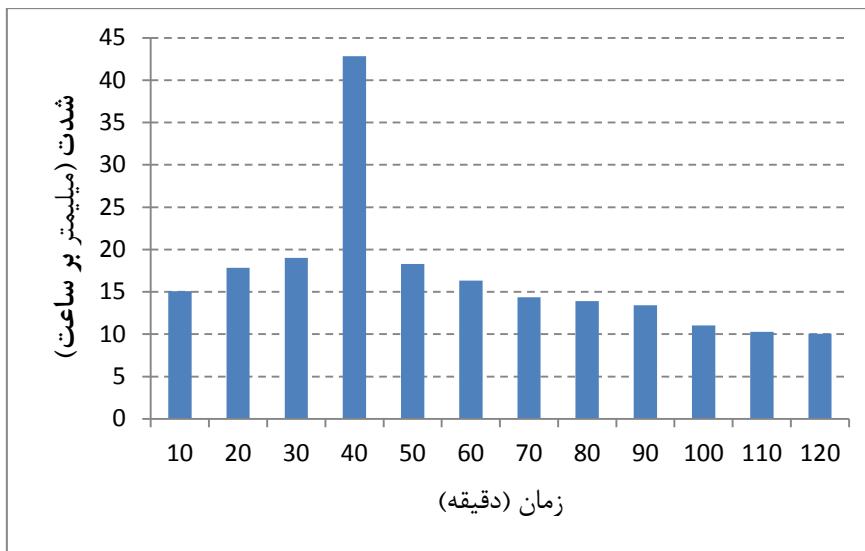
شکل (۳): هایتوگراف ۲ ساعته با دوره بازگشت ۱۰ ساله (روش ین و چاو)

هایتوگراف ۲ ساعته با دوره بازگشت ۱۰ ساله را که با روش شیکاگو بدست آمده نشان می دهد. برای رسم هایتوگراف بلوک ساختگی مربوط به بارش طرح ۲ ساعته با دوره بازگشت ۱۰ ساله، از دسته منحنی های شدت-مدت-فراوانی استفاده می شود. شدت بارندگی مربوط به هر یک از زمان های ۱۰ تا ۱۲۰ دقیقه استخراج شد و یکبار با قرار دادن شدت حداکثر در وسط (زمان ۶۰ دقیقه) و دیگری در زمان اوج گیری رگبار (زمان ۴۰ دقیقه) اقدام به تهیه دو هایتوگراف مجزا گردید.

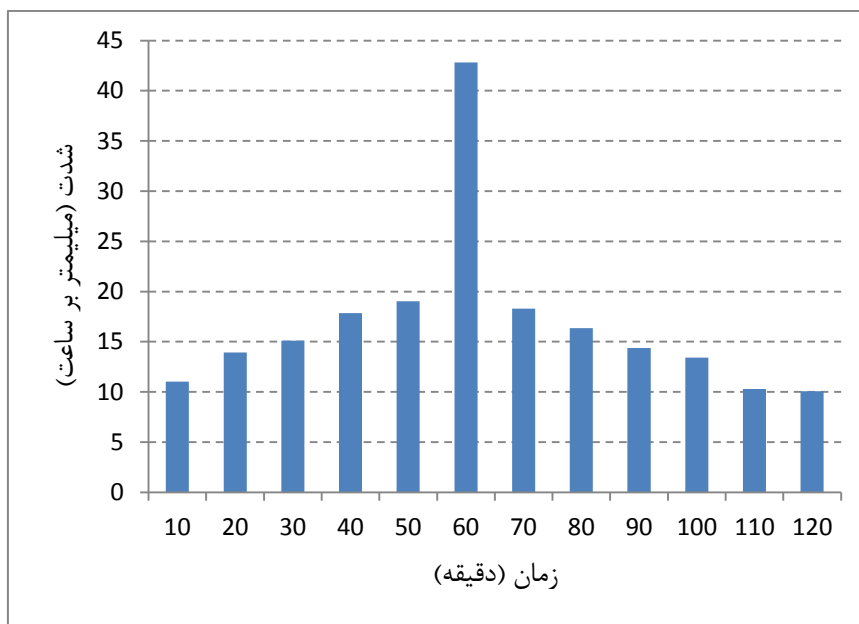
با استفاده از نرم افزار Curve Expert می توان منحنی شدت-مدت-فراوانی مربوط به دوره بازگشت ۱۰ ساله را به صورت رابطه (۳) نوشت که ضرایب A، B و C برای داده های شدت های بارش به میلیمتر بر ساعت و زمان به دقیقه به ترتیب برابر ۳۵۹۱، ۱ و ۹۳/۲۱ محاسبه گردید. ضریب پیشروی رگبار (r) همان نسبت  $\frac{t_p}{t_d}$  روش ین و چاو است که برابر ۰/۳۴۵ محاسبه شد. لذا زمان اوج گیری رگبار ( $t_p$ ) برابر ۴۰ دقیقه خواهد بود. با قرار دادن مقادیر ضرایب A، B، C، r و  $t_p$  در روابط (۴) و (۵)، شدت بارندگی در هر گام زمانی ۱۰ دقیقه محاسبه می گردد. شکل (۴)



شکل (۴): هایتوگراف ۲ ساعته با دوره بازگشت ۱۰ ساله (روش شیکاگو)



شکل (۵): هایتوگراف بلوک ساختگی ۲ ساعته با دوره بازگشت ۱۰ ساله و ضریب پیشروی رگبار ۰/۳۴۵



شکل (۶): هایتوگراف بلوک ساختگی ۲ ساعته با دوره بازگشت ۱۰ ساله و ضریب پیشروی رگبار ۰/۵

غیرخطی منظم بوده که شیب یال صعودی آن بیشتر از شیب یال نزولی است. در روش بلوک‌های متناوب تغییرات شدت بارش به صورت غیرخطی و نامنظم بوده که به صورت ناگهانی افزایش و کاهش می‌یابد. با توجه به محاسبه ضریب پیشروی رگبار (۲) یا همان زمان اوج‌گیری رگبار به روش ین و چاو، بهتر است در روش‌های دیگر، همانند بلوک‌های متناوب مورد استفاده قرار گیرد. تاثیر زمان وقوع شدت حداکثر بر هیدروگراف سیلاب‌های شهری که در اشکال (۵) و (۶) مشهود است، انکار ناپذیر می‌باشد. مقایسه هایتوگراف‌های حاصل، با شبیه‌سازی

## نتیجه‌گیری

در شکل‌های ۳ تا ۶ هایتوگراف‌های مربوط به رگبار طرح ۲ ساعته با دوره بازگشت ۱۰ ساله به روش‌های مختلف ترسیم شده است. که تفاوت‌های فاحشی بین آن‌ها مشاهده می‌گردد. شدت‌های حداکثر بارش روش‌های ین و چاو، شیکاگو و بلوک‌های متناوب به ترتیب برابر ۳۳/۷۶، ۳۸/۵۳ و ۴۲/۸۳ میلیمتر بر ساعت محاسبه گردید. در روش ین و چاو تغییرات شدت بارش به صورت خطی و تدریجی است که شیب یال صعودی آن بیشتر از شیب یال نزولی می‌باشد. در روش شیکاگو تغییرات به صورت



سیلاب‌های شهری ناشی از رگبار طرح و به تبع آن وضعیت هیدرولیکی جریان در مجاری آبرو قابل انجام می‌باشد.

## منابع

۱. امین، س.، ع.ر. سپاسخواه، و ب. کشمیری پور. ۱۳۷۹. بررسی الگوی توزیع شدت بارش در پایه‌های زمانی مختلف در استان فارس، دومین همایش ملی فرسایش و رسوب.
۲. برومندنسب، س. ۱۳۸۱. هیدرولوژی رگبار در حوضه‌های شهری. انتشارات دانشگاه شهید چمران. ص. ۳۱۳.
۳. بنی‌اسدی، م. ۱۳۹۰. تعیین الگوی زمانی بارش در استان کرمان. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال دوم، شماره ۵. ص. ۶۱-۷۴.
۴. تلوری، ع.، م. قنبرپور، ن. غیائی، ع. عباسی و م. عرب‌خدری. ۱۳۸۱. بررسی ویژگی‌های باران در رابطه با روش‌های برآورد سیلاب در ایران- جلد دوم: الگوی توزیع زمانی بارش، گزارش‌های طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
۵. حجام، س. و ف. مالکی فرد. ۱۳۸۱. تعیین الگوی توزیع زمانی بارندگی در ایستگاه‌های منتخب استان خراسان. نشریه فیزیک زمین و فضا، جلد ۲۸، شماره ۲. ص. ۳۵-۴۴.
۶. خاک سفیدی، ع.، ن. نورا، ن. بیرودیان و ع. نجفی نژاد. ۱۳۸۹. الگوی توزیع زمانی بارش در استان سیستان و بلوچستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد هفدهم، شماره اول. ص. ۴۵-۶۱.
۷. رادمنش، ف.، ع. بهنیا، ج. پر همت، ع. م. آخوندعلی و ح. صدقی. ۱۳۸۶. الگوی توزیع زمانی بارندگی در حوزه آبریز رود زرد. مجله علمی کشاورزی، جلد ۳۰، شماره ۱. ص. ۱۰۱-۱۱۴.
۸. طالب بیدختی، م. ۱۳۷۴. الگوی توزیع زمانی بارش در استان سمنان. پایاتن نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس. ۱۲۳ ص.
۹. قنبرپور، م.ر.، و ع. تلوری. ۱۳۸۲. الگوی توزیع زمانی بارش‌های رگباری در ایستگاه‌های سینوپتیک شمال ایران. پژوهش و سازندگی، جلد ۱۶، شماره ۲ (پی‌آیند ۵۹). ص. ۱۰۳-۹۶.
۱۰. لشنی‌زند، م. ۱۳۷۹. تعیین الگوی توزیع زمانی بارش در استان لرستان. گزارش‌های طرح تحقیقات، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی لرستان. ص. ۲۱۰.
۱۱. نورا، ن.، ع. خاک سفیدی و ط. رضیئی. ۱۳۸۹. مقایسه روش‌های پیلگریم و هاف برای تعیین الگوی توزیع زمانی بارش در ایستگاه سینوپتیک زابل. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد هفدهم، شماره سوم، ص. ۱۶۰-۱۴۳.
۱۲. وزیری، ف. ۱۳۷۶. تعیین الگوی توزیع زمانی بارندگی‌های ۲۴ و ۴۸ ساعته در جنوب غرب ایران، انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
13. Bustami, R. A., N. A. Rosli, J. H. Adam and K. P. Li. 2012. Development of Temporal Rainfall Pattern for Southern Region of Sarawak. UNIMA E. Journal of Civil Engineering. Vol. 3.( Special Issue), pp 17-23.
14. Chuckwuma, G. O. and Schwab, G. O. 1983. Procedure for developing design hyetographs for small watersheds, Transactions of the ASAE, 26: 5.1386-1389.
15. Hershfield, D. M. 1961. Rainfall Frequency Atlas of United States for Durations from 30 Minutes to 24 Hours and Return Periods 1 to 100 Years. Technical Paper 40, U. S. Department of Commerce, Weather Bureau, Washington, DC.
16. Huff, F.A. 1967. Time distribution of rainfall in heavy storms. Water Resources Research. 3(4):1007-1019.
17. Kiefer, C. J. and H. H. Chu. 1957. Synthetic Storm Pattern for Drainage Design. Journal, Hydraulic Division, ASCE, 83 (HY4):1-25.
18. Pilgrim, D.H., and Cordery, I. 1975. Rainfall Temporal Patterns for Design Floods, Journal of Hydraulic Division, ASCE, 101 :1.81-95.

19. -Soil Conservation Service. 1986. Urban Hydrology for Small watershed. Technical Release 55, U. S. Department of Agriculture, Washington, DC.
20. -Yen , B. C. and Chow, V. T. 1980. Design Hyetographs for Small Drainage Structures. Journal, Hydraulic Division, ASCE, 106(HY6): 1055-1076.
21. Yen , B. C. and Chow, V. T. 1983. Local Design Storm, Vol. II, Report No FHWA/RD-82-064, Federal Highway Administration, Washington, DC.

## Comparison of Some Rainfall Temporal Pattern Determination for Urban Flood Estimation (Case Study : Babolsar)

V. Karimi<sup>۱</sup>, K. Solaimani<sup>۲</sup>, M.Habibnejad Roshan<sup>۳</sup> and K. Shahedi<sup>۴</sup>

### Abstract

Rainfall intensity changes during storm time advancement has more influence on shape of hydrograph and the time of peak storm flood discharge. One of the most important inputs in storm flood simulation models is rainfall pattern that applied in rainfall- runoff simulation section and affect the hydraulic characteristics of streams in water conduits, both open and closed. There are several methods for determination of rainfall temporal patterns. In this study Yen & chow, Chicago and Synthetic Block methods are used. Because of high imperviousness and small area of Babolsar Urban catchment, 2 hour design storm with 10 year return periods was accepted. 329 continuous storm among the 1966 to 1998 was selected. Storms was separated in 5 categories ,less than 6 hr, 6-12 hr, 12-18 hr, 18-24 hr and longer than 24 hr. IDF curves are calculated and drawn.  $\frac{t_p}{t_d}$  value was calculated by Yen & Chow method, and used instead of advancement coefficient(r) in Chicago method. Centre of storm duration in Synthetic Block, determined by  $\frac{t_p}{t_d}$  value. Results of this research emphasis that by Yen & Chow method can be used as a trustable method for determination of rainfall advancement coefficient in one station or an area.

**Key Words:** Design Storm, Synthetic Block Method, Chicago Method, Yen & Chow Method, Storm Peak Time, Storm Advancement Coefficient.

---

1-Ph.D. Student, College of Natural Resources, Mazandaran University Sari, Iran, 09113272853, vkarimi80@gmail.com

2- Professor, College of Natural Resources, Sari Agricultural Science and Natural Resources University

3 - Associate Professor, College of Natural Resources, Sari Agricultural Science and Natural Resources University

4 - Assistance Professor, College of Natural Resources, Sari Agricultural Science and Natural Resources University