

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره نوزدهم، شماره یک، بهار ۹۶

## بررسی رفتار تصادفی الگوی بارش توسط مدل RDP در حوضه آبریز رودخانه

سیمره

احمد شرافتی<sup>\*۱</sup>

[asharafati@srbiau.ac.ir](mailto:asharafati@srbiau.ac.ir)

محمد رضا خزائی<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۴/۷/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۴/۳/۹

### چکیده

زمینه و هدف: الگوی بارش از متغیرهای مهم و موثر در شبیه سازی سیلاب محسوب می شود. تغییرات شدت بارش در طول مدت آن توسط الگوی بارش تبیین می گردد. رفتار تصادفی الگوی بارش ناشی از متغیر تصادفی موثر بر آن است. با توجه به تاثیر الگوی بارش بر سیلاب، جهت تحلیل عدم قطعیت سیلاب نیاز به بررسی رفتار تصادفی متغیرهای موثر بر الگوی بارش و تحلیل عدم قطعیت آنها است. روش بررسی: در این تحقیق با معرفی مدل RDP<sup>۳</sup> علاوه بر ارزیابی متغیرهای مؤثر بر الگوی بارش نظیر عمق و مدت بارش، رفتار تصادفی الگوی بارش نیز در حوضه آبریز رودخانه سیمره بررسی شده است.

نتایج: با بررسی نتایج مشخص گردید که وقایع بارش با مدت و عمق بارش بیشتر، دارای نوسانات شدت بارش کمتری هستند. به عبارت دیگر بارش های فوق دارای الگوی یکنواخت هستند. هم چنین بیش از ۶۰ درصد وقایع بارش در حوضه سیمره، از نوع ۱ و ۲ هستند. بحث و نتیجه گیری: نتایج نشان داد؛ با افزایش مدت بارش، نرخ افزایش عمق تجمعی در ابتدا کاهش سپس افزایش می یابد. هم چنین با افزایش نوع بارش، نرخ افزایش عمق تجمعی افزایش می یابد. بارش های از نوع بارش ۲، عمق بارش کمتر، زمان تداوم بیشتر دارای عدم قطعیت کمتری هستند.

واژه های کلیدی: مدل RDP، عدم قطعیت، الگوی بارش.

۱- استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران\* (مسوول مکاتبات).

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

## Exploration of Randomness Characteristic of Rainfall Pattern Using RDP Model in Symareh Catchment.

Ahmad Sharafati<sup>1\*</sup>

[asharafati@srbiau.ac.ir](mailto:asharafati@srbiau.ac.ir)

Mohammad Reza Khazaei<sup>2</sup>

### Abstract

**Background and Objective:** Rainfall pattern is one of the most important and effective variable in flood simulation. Variation of rainfall intensity in each event is illustrated by rainfall pattern. Many random variable cause the stochastic property of rainfall pattern. According to the relation between rainfall pattern and flood, uncertainty of flood is related to the variability of rainfall pattern.

**Method:** In this study, the RDP (Rainfall Data Processor), is used to quantify randomness characteristic of rainfall pattern in Symareh catchment.

**Findings:** The obtain result shown, the Brust factor in rainfall events with long time duration and more depth is less than others. Also, more than 60 percent of observed events in Symareh catchment are belong to type 1 and 2 categories.

**Discussion and Conclusion** the obtained result shown, the fraction of cumulative rainfall depth has not the same pattern. Also, the minimum uncertainty are related to the rainfall patterns that belong to the type 2 and has less depth and also more duration.

**Keywords:** RDP Model, Uncertainty, Rainfall Pattern

---

1- Assistant Professor, Technical and Engineering Department, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran \*(Corresponding Author)

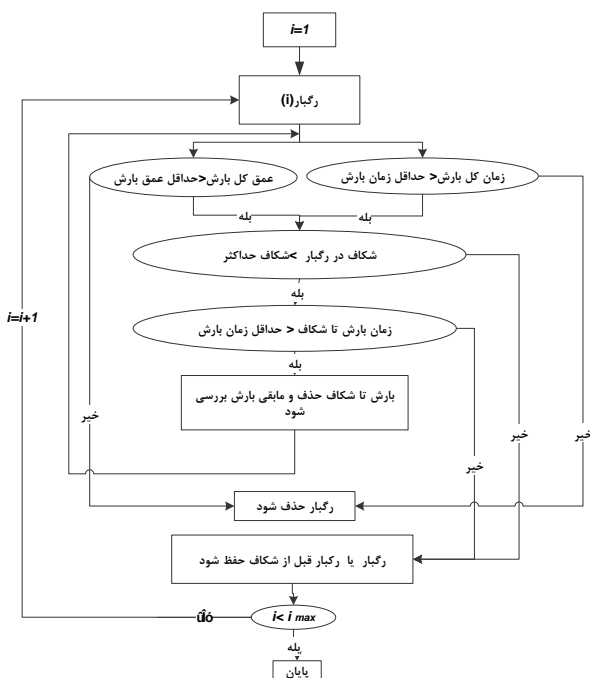
2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.

## مقدمه

نظیر عمق و مدت بارش، رفتار تصادفی الگوی بارش در حوضه آبریز رودخانه سیمره مورد ارزیابی قرار گیرد (۶).

## مواد و روش‌ها

مدل RDP یک مدل پردازش گر رخداد های بارش است. در این مدل بررسی رفتار تصادفی پارامترهای مهم و مؤثر بر الگوی بارش و تهیه توزیع احتمالاتی متغیرهای آن‌ها امکان پذیر است. مراحل پردازش رخداد های بارش در مدل RDP شامل فیلتر کردن رخداد های بارش، کلاسه بندی رخداد های بارش، تعیین ماتریس بدون بعد زیرگروه‌ها و استخراج توزیع های احتمالاتی زیرگروه‌ها هستند. الگوریتم انتخاب رخداد های بارش در مدل RDP در شکل (۱) ارایه شده است (۶).



شکل ۱- الگوریتم انتخاب رخداد های بارش در مدل

## RDP (۶)

Figure 1- Event selection algorithm in RDP model

در فرآیند شبیه‌سازی هیدروگراف و پیک سیلاب، الگوی بارش از متغیرهای مهم محسوب می‌شود. تغییرات زمانی بارش در طول مدت آن توسط الگوی بارش بیان می‌گردد. ارزیابی دقیق متغیرهای موثر بر الگوی بارش و بررسی عدم قطعیت‌های آن‌ها و در نهایت تحلیل عدم قطعیت الگوی بارش از مسایل بسیار مهم هیدرولوژی محسوب می‌شود. شناسایی دقیق این متغیرها و عدم قطعیت آن‌ها منجر به کاهش خطا در تهیه الگوی بارش می‌شوند. در زمینه تهیه الگوی بارش تحقیقات زیادی انجام شده است. ین و چو (۱۹۸۰) با استفاده از رخداد های بارش مشاهداتی الگوی بارش مثلثی را تهیه کردند. در این تحقیق با تحلیل و کنترل ۷۴۸۴ وقایع بارش مشخص شد که توزیع مثلثی تهیه شده کارایی مناسبی جهت تشریح تغییرات شدت بارش دارد (۱). پریول و پاپاداکیس (۱۹۷۳) با استفاده از منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی نقطه‌ای و با استفاده از داده‌های ثبت شده طی سه سال در سه باران سنج، الگوی بارش مصنوعی برای حوضه آبریز سین سیناتی را تهیه کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که با استفاده از روش‌شناسی این تحقیق می‌توان در تهیه الگوی بارش مورد نیاز در طراحی فاضلاب روها استفاده کرد. هم چنین این روش برای برآورد سیلاب به روش منطقی و برای بارش‌های با دوره بازگشت‌های کم قابل استفاده است. این روش به دلیل استفاده از IDF های نقطه‌ای دقت برای حوضه‌های آبریز بزرگ مناسب نیست (۲). هاف (۱۹۶۷) با استفاده از رخداد های مشاهداتی بارش و استفاده از روش‌های بی بعد سازی زمان و عمق بارش چهار نوع الگوی بارش را معرفی کرد (۳). هو و همکاران (۲۰۰۶) نیز با ارایه یک مدل استوکستیک و با استفاده از داده‌های ثبت شده و فن خوشه‌بندی به کمک شبیه‌سازی مونت کارلو اقدام به تولید الگوی زمانی بارش کردند. نتایج تحقیق مذکور نشان داد که روش‌شناسی مورد استفاده در تولید الگوی بارش بسیار کارا و دقیق است (۴،۵). در این مقاله سعی شده است با استفاده از مدل RDP (شرافتی و ذهبیون، ۲۰۱۴) ضمن شناسایی و بررسی تأثیر پارامترهای مهم و مؤثر بر الگوی بارش

## فیلترکردن رخدادهای بارش

اولین گام در RDP فراخوانی داده‌های ثبت شده مشاهداتی بارش است. در مدل RDP اطلاعات عمق بارش از فایل هایی با قالب txt استخراج می‌شود. پس از فراخوانی رخدادهای بر اساس محدودیت هایی نظیر عمق و مدت بارش، حداکثر شکاف زمان میان دو گام زمانی بارش، رخدادهای بارش کنترل و فیلتر می‌شوند. در نهایت رخدادهایی که در محدوده مشخص شده نباشند، حذف می‌گردند. در این تحقیق بر اساس اطلاعات اخذ شده از داده مشاهداتی موجود از حوضه آبریز مورد مطالعه، حداقل عمق تجمعی بارش ۲ میلی متر و حداکثر شکاف دو گام زمانی ۱ ساعت و حداقل مدت بارش ۱۰۰ دقیقه در نظر گرفته شده است. مبنای انتخاب آستانه‌های فوق، کنترل داده بارش در حوضه آبریز است که منجر به وقوع سیلاب شده است. پس از انتخاب نهایی رخدادهای، سه نوع تقسیم‌بندی بر اساس مدت، عمق و نوع الگوی بارش انجام می‌شود.

## تقسیم‌بندی بر اساس الگوی بارش (گروه ۳)

در این تقسیم‌بندی بر اساس این که حداکثر ارتفاع بارش در چه مقطع زمانی از بارش رخ داده است بارش‌ها در چهار دسته قرار گرفتند:

در دسته اول، حداکثر ارتفاع بارش در ۲۵ درصد ابتدایی زمانی بارش، در دسته دوم، حداکثر ارتفاع بارش در حد فاصل ۲۵ درصد تا ۵۰ درصد زمانی بارش، در دسته سوم حداکثر ارتفاع بارش در حد فاصل ۵۰ تا ۷۵ درصد زمانی بارش و در گروه چهارم حداکثر ارتفاع بارش در ۲۵ درصد انتهایی زمانی بارش اتفاق می‌افتد.

علاوه بر تقسیم‌بندی‌های سه‌گانه ارائه شده، ترکیب این گروه‌ها نیز مد نظر هست که در جدول ۱ ارائه شده است. بدین ترتیب در این مدل حداکثر حالت تقسیم‌بندی در گروه ۷ با ۱۲۰ زیرگروه امکان‌پذیر است.

## جدول ۱- طبقه‌بندی رخدادهای بارش

Table1- Rainfall event category

گروه	ترکیب گروه ها
۴	(۱) و (۲)
۵	(۱) و (۳)
۶	(۲) و (۳)
۷	(۱) و (۲) و (۳)

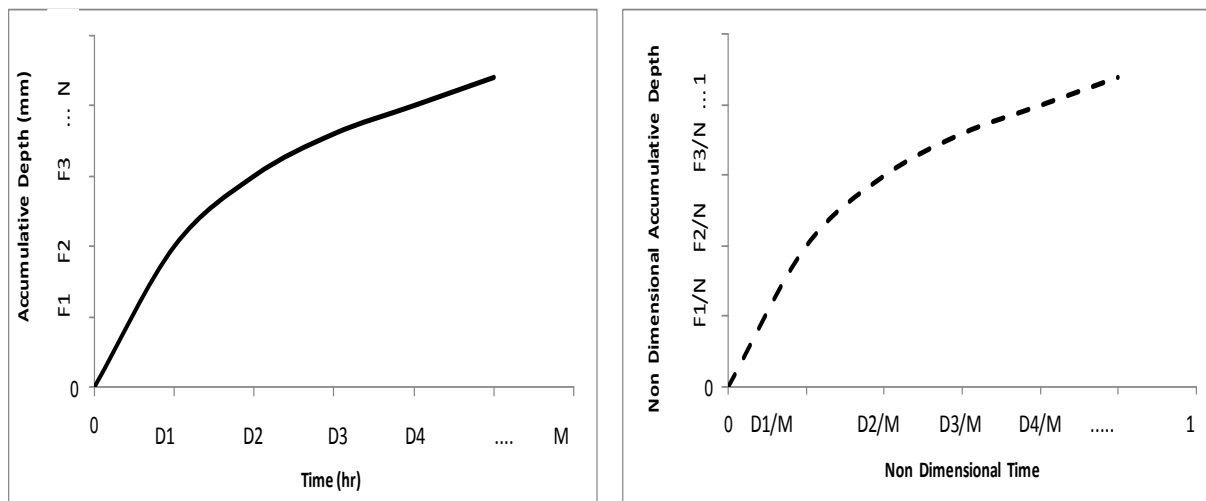
پس از تقسیم‌بندی رخدادهای در گروه‌ها، رخداد از نظر زمانی و عمق بارش بدون بعد می‌شوند. نحوه بی بعد سازی یک رخداد بارش در شکل ۲ ارائه شده است.

## تقسیم‌بندی بر اساس مدت زمان بارش (گروه ۱)

در مدل RDP، انتخاب حداکثر ۵ بازه زمانی برای مدت بارش (تداوم بارش) ممکن هست. در این تحقیق از تقسیم‌بندی ۰-۳، ۳-۶، ۶-۱۲، ۱۲-۲۴ و بیشتر از ۲۴ ساعت استفاده شده است. مبنای حدود تقسیم‌بندی مدت بارش، فراوانی تقریباً یکنواخت داده‌های مشاهداتی است.

## تقسیم‌بندی بر اساس عمق بارش (گروه ۲)

در مدل RDP، انتخاب حداکثر ۶ بازه برای عمق بارش ممکن است. در این تحقیق از تقسیم‌بندی ۰-۲/۶۲، ۲/۶۲-۴/۵۳، ۴/۵۳-۶/۶، ۶/۶-۹/۵۳، ۹/۵۳-۱۴/۹۵ و بزرگ‌تر از ۱۴/۹۵ میلی‌متر استفاده شده است. در این گروه مانند تقسیم‌بندی مدت بارش، مبنای حدود تقسیم‌بندی عمق بارش، فراوانی تقریباً یکنواخت داده‌های مشاهداتی است.



ب) الگوی بارش مشاهداتی

b- Observed Rainfall Pattern

الف) الگوی بارش بدون بعد

a- Non-dimensional Rainfall Pattern

شکل ۲- بی بعد سازی الگوی زمانی بارش

Figure 2- Non-dimensionalizing of rainfall pattern

تعداد سطرها و برابر رخدادهای بارش مرتبط با گروه مد نظر و  $P$  تعداد گام‌های زمانی بدون بعد است. درایه‌های این ماتریس نیز مقادیر عمق بارش‌های بدون بعد می‌باشند. نمونه این ماتریس‌ها در جدول (۲) ارائه شده است. در ماتریس‌های بارش رابطه (۱) حاکم است.

پس از بی بعد سازی رخدادهای بارش، این امکان در مدل RDP موجود است که گام‌های محور  $X$  (زمان بی بعد) و محور  $Y$  (عمق بارش بی بعد) به طور دلخواه تنظیم شوند. در این تحقیق محور  $X$  در گام‌های  $0/1$  تقسیم‌بندی شده‌اند. پس از تنظیم گام‌ها و بی بعد سازی رخدادهای مرتبط با هر گروه، یک ماتریس با ابعاد  $R \times P$  برای هر گروه ایجاد می‌شود که  $R$

جدول ۲- نمونه ماتریس رخدادهای بی بعد

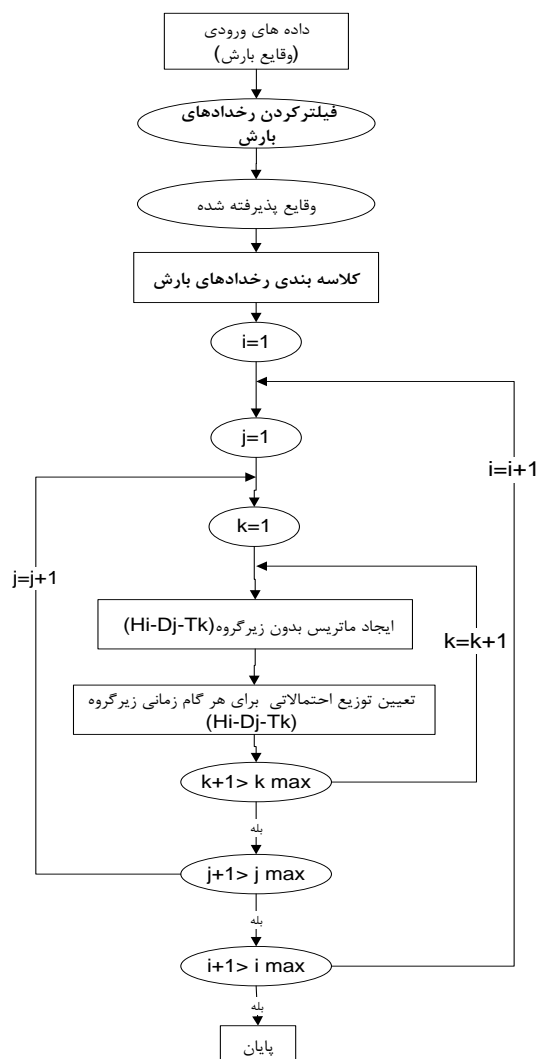
Table 2- Non-dimensional matrix of rainfall events

$A(1,1)$	$A(1,2)$	$A(1,3)$	...	$A(1, P_e)$
$A(2,1)$	...			$A(2, P_e)$
$A(3,1)$		...		$A(3, P_e)$
$\vdots$			...	$\vdots$
$A(R_e,1)$	$A(R_e,2)$	$A(R_e,3)$	...	$A(R_e, P_e)$

احتمالاتی یکنواخت برای گام‌های زمانی استفاده شده است. این امکان در مدل RDP وجود دارد که از توزیع‌های احتمالاتی دیگر نظیر توزیع مثلثی و ... نیز استفاده شود. الگوریتم مورد استفاده در مدل RDP به منظور تعیین توزیع احتمالاتی های توگراف بدون بعد در شکل ۳ ارائه شده است.

$$\begin{cases} A(i,1) = 0, i = 1,2,\dots,R_e & (1) \\ A(i,P) = 1, i = 1,2,\dots,R_e \\ 0 < A(i,j) < 1, i = 1,2,\dots,R_e, j = 1,2,\dots,P_e \\ A(i,j) < A(i,j+1) \end{cases}$$

در مرحله بعد توزیع احتمالاتی گام‌های زمانی ماتریس بی بعد بارش استخراج شده است. در این تحقیق از توزیع



شکل ۳- الگوریتم مدل RDP به منظور تعیین توزیع احتمالاتی هایتوگراف بدون بعد

Figure 3- Algorithm of RDP model

#### مطالعه موردی

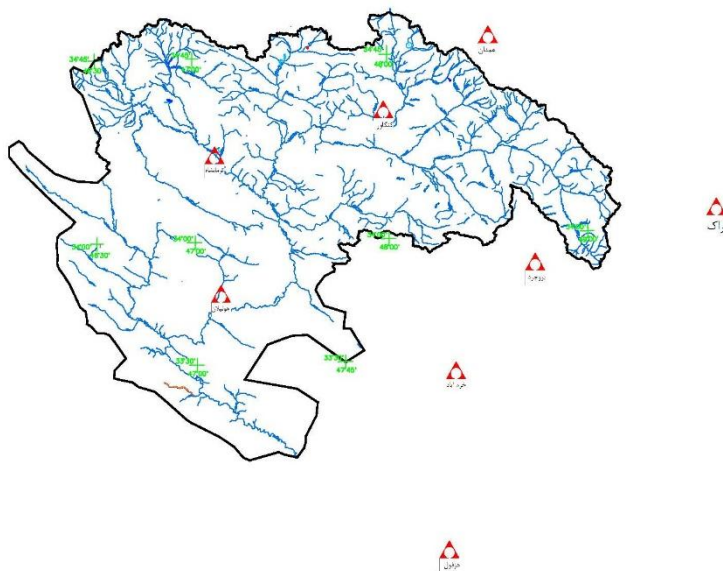
ایستگاه‌های اراک، بروجرد، دزفول، همدان، کنگاور، کرمانشاه، خرم آباد و در مجموع از ۲۶۴۸ رگبار استفاده شده است. در جدول ۳ اطلاعات مرتبط با ایستگاه‌ها و در شکل ۴ پراکنش ایستگاه‌ها و حوضه آبریز رودخانه سیمره نمایش داده شده است.

جهت بررسی مدل RDP در ارزیابی رفتار تصادفی الگوی بارش از اطلاعات حوضه آبریز رودخانه سیمره استفاده شده است. حوضه آبریز رودخانه سیمره در غرب ایران واقع شده است. مساحت آن در حدود ۲۹۲۴۴ کیلومترمربع است. سرشاخه‌های اصلی آن، رودخانه‌های قره‌سو و گاماسیاب است. از اطلاعات

## جدول ۳- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

Table 3- Specification of Climatology stations

تعداد رگبار	عرض		طول		نوع ایستگاه	نام ایستگاه
	درجه	دقیقه	درجه	دقیقه		
۳۲۴	۳۳	۵۵	۴۸	۴۵	سینوپتیک	بروجرد
۳۶۵	۳۳	۲۶	۴۸	۱۷	سینوپتیک	خرم آباد
۲۵۳	۳۲	۲۴	۴۸	۲۳	سینوپتیک	دزفول
۱۱۷	۳۴	۲۱	۴۷	۰۹	سینوپتیک	کرمانشاه
۷۶۲	۳۴	۳۰	۴۷	۵۹	سینوپتیک	کنگاور
۴۴۹	۳۴	۰۶	۴۹	۴۶	سینوپتیک	اراک
۳۷۸	۳۴	۵۲	۴۸	۳۲	سینوپتیک	همدان



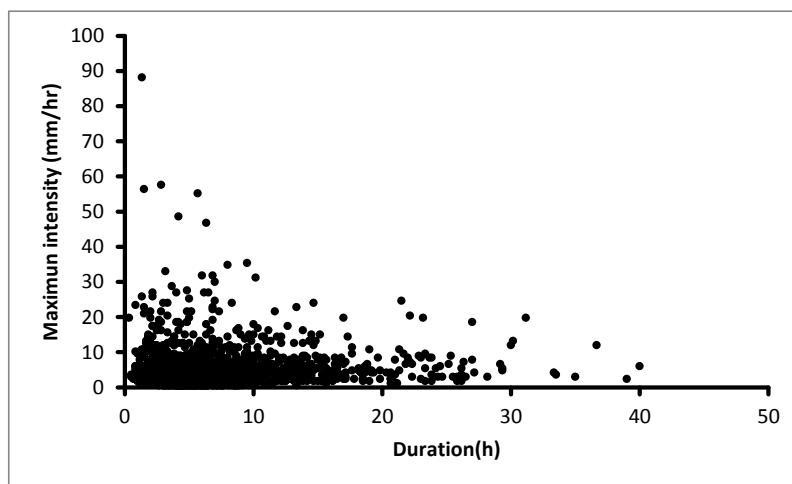
شکل ۴- پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی

Figure 4- Climatology Stations

## نتایج

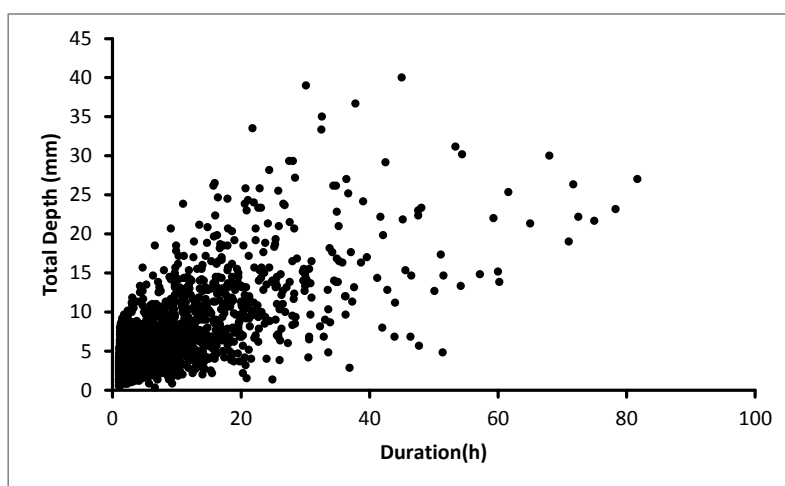
زمانی میان دو گام زمانی بارش بیش از یک ساعت بود، بارش‌های قبل از این شکاف با شرط این که حداقل مدت بارش آن بیشتر یا مساوی حداقل زمان مجاز بارش (۱۰۰ دقیقه) باشد، به عنوان رگبار جهت تحلیل‌های بعدی انتخاب گردید. جهت شناسایی مشخصات بارش در حوضه سیمره، تغییرات حداکثر شدت بارش و مدت تداوم بارش مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در شکل (۵) ارائه شده است.

جهت تحلیل رفتار تصادفی و عدم قطعیت متغیرهای الگوی بارش نظیر عمق، زمان و نوع بارش از اطلاعات ۲۶۴۸ رگبار با گام‌های زمانی ۱۰ دقیقه رخدادهای بارش ۷ ایستگاه که مجهز به باران‌سنج ثابت بودند، استفاده شد. از میان رگبارهای مورد مطالعه بر اساس ۲ معیار حداقل عمق بارش ۲ میلی‌متر و حداقل زمان ۱۰۰ دقیقه تعداد ۱۷۸۴ رگبار انتخاب گردید. هم‌چنین در یک رخداد بارندگی، در صورتی که شکاف



شکل ۵- تغییرات حداکثر شدت بارش نسبت به مدت بارش

Figure 5- Variation of maximum rainfall intensity versus rainfall duration



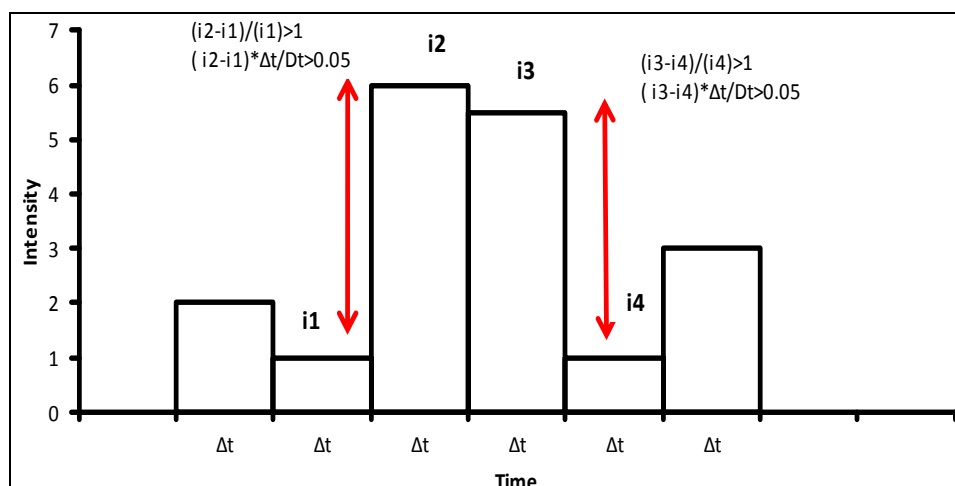
شکل ۶- تغییرات عمق بارش نسبت به مدت بارش

Figure 6- Variation of rainfall depth versus rainfall duration

پارامتر دیگری که جهت شناسایی خصوصیات الگوهای بارش در حوضه آبریز سیمره مورد بررسی قرار گرفت، جهش شدت بارش (Brust) ال سعیدی (۲۰۰۲) است (۷). جهش شدت بارش عبارت از تغییرات شدت بارش در گام‌های زمانی مساوی است به شرط آن که این تغییرات نسبت به شدت بارش قبل یا بعد خود دارای تغییرات بزرگ تر از ۱۰۰ درصد و تغییر عمق بارش بزرگ تر یا برابر ۵ درصد عمق کل بارش باشد. تعریف فوق در شکل ۷ ارایه شده است.

در شکل ۵ ملاحظه می‌گردد که رابطه معکوسی بین تداوم بارش و حداکثر شدت بارش وجود دارد. هم چنین تغییرات تداوم بارش و کل عمق بارش نیز بررسی شده که در شکل ۶ ارایه شده است. در شکل ۶ ملاحظه می‌گردد که رابطه مستقیمی بین تداوم بارش و کل عمق بارش موجود است. نتایج ارایه شده در شکل‌های ۵ و ۶ مشابه نتایجی است که ال سعیدی (۲۰۰۲) در تحقیق بر روی حوضه آبریز تگزاس به دست آورد.





شکل ۷- تعریف جهش شدت بارش

Figure 7- Definition of Burst

بارش‌های با تداوم بارش بیشتر از ۱۲ ساعت کمترین آشفتگی و بارش‌های ۶ تا ۱۲ ساعت بیش‌ترین آشفتگی را دارند. روند تغییرات جهش شدت بارش برای تداوم‌های مختلف بارش در جدول ۴ ارائه شده است.

در این تحقیق رخداد‌های بارش با تعداد جهش شدت کمتر یا مساوی ۴ به عنوان رخداد‌های با نوسانات کم یا یکنواخت و رخداد‌های بارش با تعداد جهش شدت بیشتر از ۲۰، رخداد‌های با نوسانات زیاد یا آشفته نام‌گذاری شده است. در میان رخداد‌های بارش حوضه سیمره ملاحظه می‌گردد که

جدول ۴- تغییرات جهش شدت بارش برای تداوم‌های مختلف بارش

Table 4- Variation of Burst versus rainfall duration

مدت بارش (ساعت)	تعداد جهش					
	۰-۴	۵-۸	۹-۱۲	۱۳-۱۶	۱۷-۲۰	۲۱<
>۳	۸۴	۱۳	۳	۰	۰	۰
۳-۶	۶۱	۱۰	۱۰	۸	۶	۴
۶-۱۲	۸۸	۲	۰	۰	۱	۹
۱۲-۲۴	۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۴>	۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۰

بارش‌های با تداوم بیشتر و عمق بارش بیشتر، از نوسانات شدت بارش کمتری برخوردار می‌باشند. روند تغییرات جهش شدت بارش برای عمق‌های مختلف بارش در جدول ۵ نشان داده شده است.

هم‌چنین با بررسی جهش شدت رخداد‌های بارش در عمق‌های مختلف مشخص گردید که بارش با عمق بیشتر از ۱۴.۹۵ میلی‌متر نوسانات کمتر و بارش‌های با عمق کمتر از ۲.۶۲ میلی‌متر بیش‌ترین آشفتگی را دارا می‌باشند. به عبارت دیگر

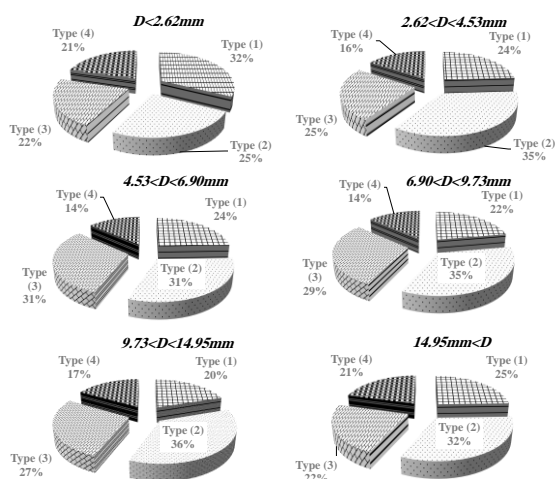
## جدول ۵- تغییرات جهش شدت بارش برای عمق‌های مختلف بارش

Table 5- Variation of Brust versus rainfall depth

عمق بارش (میلی متر)	تعداد جهش					
	۰-۴	۵-۸	۹-۱۲	۱۳-۱۶	۱۷-۲۰	۲۱<
>۶/۲	۵۰	۱۳	۱۲	۷	۷	۱۱
۲/۶ - ۴/۵	۸۵	۱۴	۰	۰	۰	۰
۴/۵ - ۶/۶	۹۳	۷	۰	۰	۰	۰
۶/۶ - ۹/۵	۹۱	۹	۰	۰	۰	۰
۹/۵ - ۱۵	۹۸	۲	۰	۰	۰	۰
۱۵>	۹۹	۱	۰	۰	۰	۰

برای گروه‌های مختلف عمق بارش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی در شکل ۸ و ۹ نشان داده شده است.

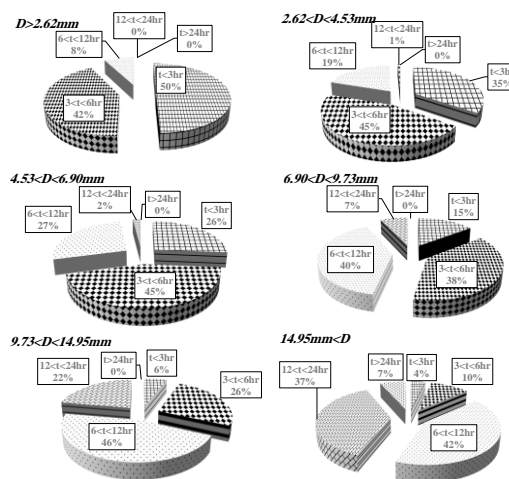
پس از مشخص شدن نحوه تغییرات جهش شدت بارش نسبت به عمق و تداوم بارش، درصد فراوانی نوع بارش و تداوم بارش



شکل ۸- درصد فراوانی نوع الگوی بارش برای بارش‌های با عمق مختلف

Figure 8- Frequency of rainfall pattern type for different rainfall depths

در شکل ۸ ملاحظه می‌گردد که برای کلیه عمق‌های بارش، بیش‌ترین فراوانی مربوط به بارش‌های نوع ۱ و ۲ و کمترین درصد مربوطه به بارش‌های نوع ۴ است.

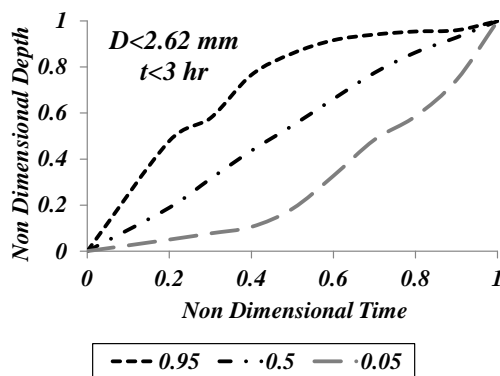


شکل ۹- درصد فراوانی مدت بارش برای بارش‌های با عمق مختلف

Figure 9- Frequency of rainfall duration for different rainfall depths

جهت تحلیل عدم قطعیت الگوی بارش برای زیرگروه‌های مختلف عمق بارش - زمان تداوم بارش و عمق بارش - نوع بارش ، الگوی بارش بدون بعد به ازای احتمال وقوع ۰/۹۵ ، ۰/۵۰ و ۰/۵ استخراج گردیده است. نمونه‌ای از الگوی های بدون بعد مذکور در شکل (۱۰) ارائه شده است .

در شکل ۹ ملاحظه می‌گردد که برای بارش‌های با عمق کمتر از ۹/۷۳ میلی‌متر، بیش‌ترین فراوانی مربوط به بارش‌های با تداوم کمتر از ۶ ساعت است و برای بارش‌های با عمق بیشتر از ۹/۷۳ میلی‌متر بیش‌ترین فراوانی تداوم بارش ۶ تا ۱۲ ساعت بوده است. به عبارت دیگر برای کلیه عمق‌های بارش، بیش‌ترین فراوانی مربوط به بارش‌های تا ۱۲ ساعت است.

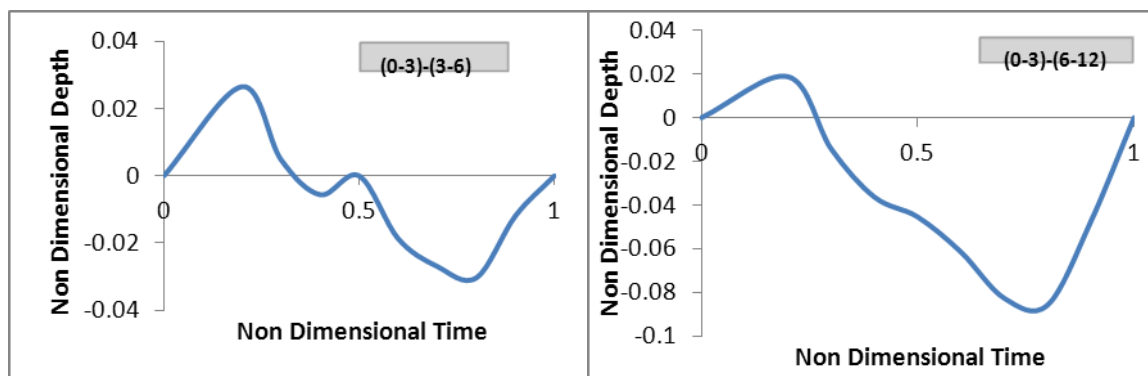


شکل ۱۰- نمونه‌ای از الگوی زمانی بارش بدون بعد

Figure 10- Sample of non-dimensional rainfall pattern

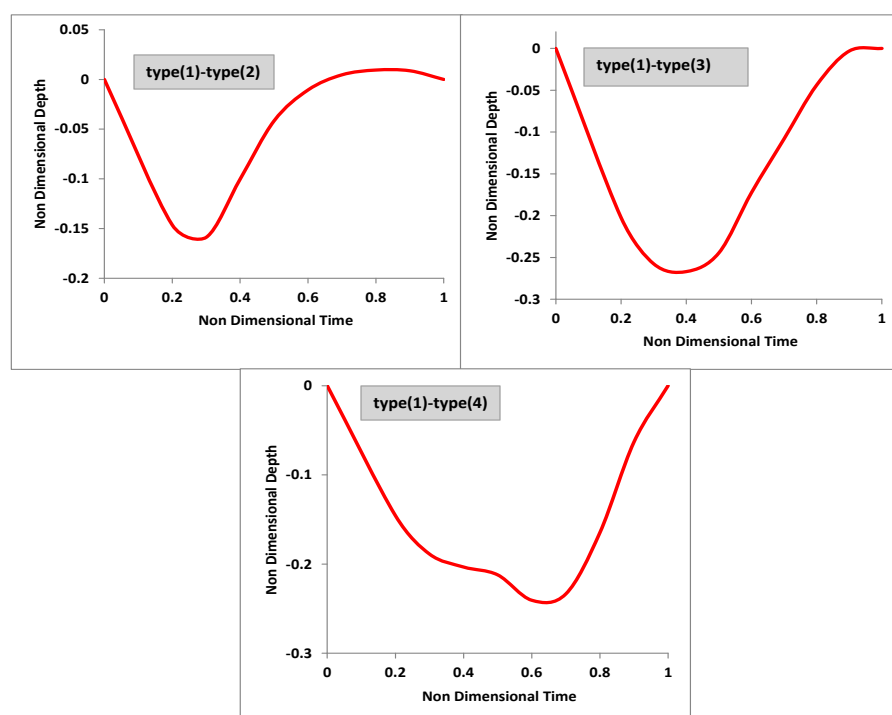
میان الگوی بارش بدون بعد با احتمال وقوع ۰/۵۰ درصد بارش‌های نوع اول تا نوع چهارم مورد بررسی قرار گرفت که نتایج در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ ارائه شده است.

جهت بررسی تأثیر نوع بارش و تداوم بارش بر روی الگوی بارش برای بارش‌های با عمق کمتر از ۲/۶۲ میلی‌متر، اختلاف میان الگوی بارش بدون بعد با احتمال وقوع ۰/۵۰ درصد بارش‌های ۳-۰ ساعت و بارش‌های ۶-۳ ساعت، ۱۲-۶ ساعت و نیز اختلاف



شکل ۱۱- اختلاف میان الگوی بارش بدون بعد با احتمال وقوع ۵۰ درصد با مدت بارش مختلف

Figure 11- Difference between 50% non-dimensional rainfall pattern with various duration



شکل ۱۲- اختلاف میان الگوی بارش بدون بعد با احتمال وقوع ۵۰ درصد با نوع الگوی بارش مختلف

Figure 12- Difference between 50% non-dimensional rainfall pattern with various depth

در شکل ۱۲ ملاحظه می‌گردد که با افزایش نوع بارش در الگوی بارش درصد عمق تجمعی افزایش می‌یابد. شیب نسبی این افزایش نسبت به بارش نوع ۱ در ابتدا افزایش یافته و در ادامه کاهش یافته است. برای مثال شیب نسبی افزایش یافته برای بارش‌های نوع ۴ نسبت به بارش‌های نوع ۱ تا حدود ۶۵ درصد ابتدای الگوی بارش ادامه دارد.

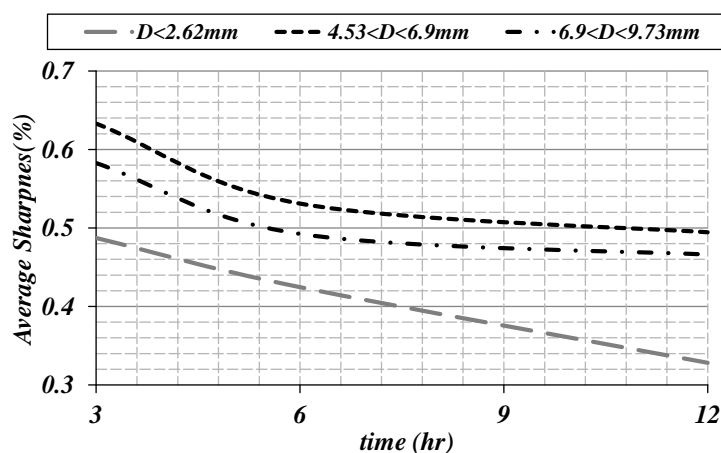
برای تحلیل عدم قطعیت الگوی بارش تحت تأثیر تداوم بارش از پارامتر Sharpness رامیرز (۲۰۰۷) استفاده شده

در شکل ۱۱ ملاحظه می‌گردد که با افزایش زمان تداوم بارش در الگوی بارش، درصد عمق تجمعی در ابتدا کاهش سپس افزایش می‌یابد. برای مثال برای بارش‌های با تداوم ۶ تا ۱۲ ساعت نسبت به بارش‌های کمتر از ۳ ساعت تا حدود ۲۸ درصد، در ابتدای الگوی بارش با کاهش درصد عمق تجمعی و سپس با افزایش درصد عمق تجمعی مواجه هستیم.

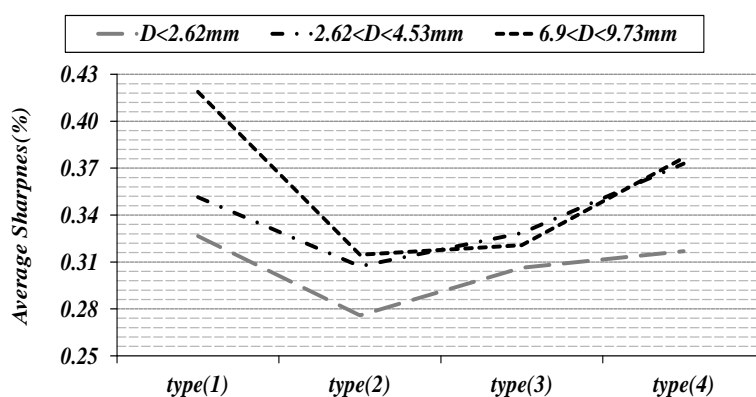
بارش کمتر از ۲/۶۲ میلی‌متر است. همچنین با ملاحظه شکل (۱۴) مشخص می‌گردد که بارش با عمق بارش کمتر از ۲/۶۲ میلی‌متر و نوع بارش ۲ کمترین عدم قطعیت الگوی بارش را دارا هست. به عبارت دیگر بارش‌های از نوع بارش ۲ و عمق بارش کمتر و زمان تداوم بیشتر دارای عدم قطعیت کمتری می‌باشند.

است. پارامتر Sharpness برابر با اختلاف بین حدود اطمینان یک متغیر است و زیاد بودن این پارامتر نشان‌دهنده بیشتر بودن عدم قطعیت آن متغیر است (۸).

با مقایسه پارامتر Sharpness در شکل (۱۳) مشخص گردید که با افزایش تداوم بارش، عدم قطعیت الگوی بارش در رخدادهای تا عمق ۹/۷۳ میلی‌متر کاهش می‌یابد. هم چنین کمترین عدم قطعیت الگوی بارش مربوط به بارش‌های با عمق



شکل ۱۳- تغییرات شاخص Sharpness در بارش با تداوم مختلف  
Figure 13- Variation of Sharpness Index in various rainfall duration



شکل ۱۴- تغییرات شاخص Sharpness در بارش با نوع الگوی مختلف  
Figure 14- Variation of Sharpness Index in various rainfall type

#### نتیجه‌گیری

بارش و کل عمق بارش وجود دارد. از طرفی بارش‌های با تداوم و عمق بارش بیشتر، از نوسانات شدت بارش کمتری برخوردار

با بررسی نتایج حاصل از این تحقیق در حوضه آبریز سیمره مشخص می‌گردد که رابطه معکوسی بین تداوم بارش و حداکثر شدت بارش موجود است. هم چنین رابطه مستقیمی بین تداوم

generation of representative rainfall temporal patterns in Hong Kong territory', *Stoch Environ Res Risk Assess.* 20, PP. 171-183

5. Wu.S.J, Yang.J.C and Tung Y.K, (2006). ' Stochastic generation of hourly rainstorm events', *Stoch Environ Res Risk Assess.* 21, PP. 195-212
6. Sharafati, A., and Zahabiyoun, B. (2014). Rainfall Threshold Curves Extraction by Considering Rainfall-Runoff Model Uncertainty. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(10), 6835-6849.
7. Al-Saadi.R, (2002). "HYETOGRAPH ESTIMATION FOR THE STATE OF TEXAS", MSc Thesis in Civil Eng, Texas Tech University
8. Ramires.J.N. (2007), Assessment of uncertainty in flow model parameter ,channel hydraulics properties and rainfall data of lumped watershed model , P.H.D thesis in civil Eng, Mississippi state university.

هستند. شایان ذکر است برای کلیه عمق‌های بارش بیش‌ترین فراوانی مربوط به بارش‌های تا ۱۲ ساعت است.

از سویی مشخص می‌گردد که با افزایش تداوم بارش در الگوی بارش، درصد عمق تجمعی در ابتدا کاهش سپس افزایش و با افزایش نوع بارش در الگوی بارش درصد عمق تجمعی افزایش می‌یابد.

با مقایسه پارامتر Sharpness مشخص گردید که بارش‌های از نوع بارش ۲، عمق بارش کمتر و زمان تداوم بیشتر دارای عدم قطعیت کمتری می‌باشند.

#### منابع

1. Yen, B. C. and V. T. Chow. (1980). Design hyetographs for small drainage structures. *Journal of the Hydraulics Division*, Vol. 106, No. HY 6, pp. 1055-1076.
2. Preul, H. C. and Papadakis, C. N. (1973). Development of design storm hyetographs for Cincinnati, Ohio. *Water Resources Bulletin*, American Water Resources Association. Vol. 9, No. 2, pp: 291-300.
3. Huff, F. A. (1967). Time distribution of rainfall in heavy storms. *Water Resources Research*, 3(4): 1007-1019.
4. Wu.S.J, Yang.J.C and Tung Y.K, (2006). ' Identification and stochastic