

تولید استوکستیک الگوی بارش توسط مدل RPG

احمد شرافتی^{*۱}

asharafati@srbiau.ac.ir

باقر ذهبیون^۲

تاریخ دریافت: ۹۰/۴/۶

تاریخ پذیرش: ۹۱/۳/۲۴

چکیده

زمینه و هدف : یکی از عوامل وجود عدم قطعیت در سیلاب های برآورد شده از مدل های بارش-رواناب، پارامترها و ساختار مدل بارش-رواناب و مقادیر ورودی مانند الگوی بارش می باشد. الگوی بارش از مهم ترین متغیرهای تصادفی ورودی به مدل های بارش-رواناب است. الگوی بارش دربرگیرنده مدت بارش، عمق بارش و نوسانات زمانی بارش در مدت رخداد آن می باشد. شناسایی دقیق متغیرهای تاثیرگذار بر الگوی بارش و بررسی عدم قطعیت های آن ها و در نهایت تحلیل این عدم قطعیت ها، کمک سودمندی در راستای تحلیل عدم قطعیت مدل سازی سیلاب می باشد.

روش بررسی: در این مقاله سعی شده است با معرفی مدل RPG (Rain Pattern Generator) که مبتنی بر شبیه سازی مونت کارلو و روش نمونه گیری خودکار می باشد، الگوی بارش متناسب با وقایع مختلف بارش در حوضه آبریز رودخانه سیمره با دقت مناسبی تولید گردد.

بحث و نتیجه گیری: با بررسی نتایج مشخص می گردد که ۹۰ درصد مدت بارش مشاهداتی در باند معنی دار تولیدی مدل RPG و ۹۸ درصد گام های زمانی الگوی بارش مشاهداتی در باند معنی دار الگوی بارش تولیدی توسط مدل RPG قرار دارد.

واژه های کلیدی: مدل RPG، عدم قطعیت، مونت کارلو، الگوی بارش

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

۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

مقدمه

چهار نوع الگوی بارش را معرفی کرد. هو و همکاران (۲۰۰۶) نیز با ارایه یک مدل استوکستیک و با استفاده از داده های ثبت شده، اقدام به تولید الگوی زمانی بارش نمودند. در این مدل پس از تقسیم بندی بارش به ۴ دسته همانند هاف (۱۹۶۷) برای هر دسته تولید بارش با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو انجام گردید. از ضعف های مدل هو و همکاران (۲۰۰۶) عدم امکان تعیین زمان تداوم بارش می باشد (۵،۳،۴).

در این مقاله سعی شده است با مدل سازی استوکستیک الگوی بارش و با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو و روش نمونه گیری خودکار، ضمن تأثیر پارامترهای مهم و مؤثر در الگوی بارش نظیر، عمق بارش و زمان بارش با تهیه یک مدل تولید آماری بارش به نام RPG، امکان تحلیل مکانی و زمانی بارش و تولید استوکستیک بارش برای حوضه های فاقد باران سنج فراهم آید و ضعف های مدل هو و همکاران (۲۰۰۶) نیز برطرف شود. بدین ترتیب با استفاده از مدل RPG با مشخص شدن عمق کل بارش علاوه بر الگوی بارش، زمان بارش و نوع بارش نیز تعیین شود و بدین ترتیب یک الگوی بارش با عدم قطعیت های کمتر و نزدیک به واقعیت جهت مدل سازی سیلاب تولید می گردد.

مواد و روش ها

مدل RPG یک مدل آماری بر پایه شبیه سازی مونت کارلو می باشد؛ بدین ترتیب که سه متغیر مهم در تعیین الگوی زمانی بارش در این مدل نقش به سزایی را ایفا می کنند. اولین متغیر عمق بارش می باشد و دو متغیر دیگر زمان بارش و نوع الگوی بارش هستند. در کنار مدل RPG از یک مدل پردازش گر داده ها، (Rain Data Processor) RDP نیز استفاده شده است. در این مدل توزیع احتمالی تجربی متغیرهای مورد استفاده در مدل RPG تهیه می شود. در مدل RDP، ابتدا رخدادهای بارش در ایستگاه های باران سنجی مختلف فراخوانی

در فرآیند شبیه سازی هیدروگراف و پیک سیلاب یکی از متغیرهای مهم الگوی بارش می باشد. الگوی بارش در برگیرنده زمان بارش، عمق بارش و نوسانات زمانی بارش در طول رخداد آن می باشد. ثبت الگوی بارش در ایستگاه های سینوپتیک و باران سنجی مجهز به باران-سنج های ثبات انجام می گردد. از این رو در تحلیل های هیدرولوژیکی بسیاری از حوضه های آبریز، اطلاعات الگوی بارش موجود نمی باشد.

جهت برآورد الگوی رگبار، بسیاری از مهندسیین طراح و محققین از الگوی رگبار SCS و یا از داده های نزدیک ترین ایستگاه باران سنج ثبات استفاده می کنند که باعث بروز خطا در شبیه سازی های هیدرولوژیکی می شود.

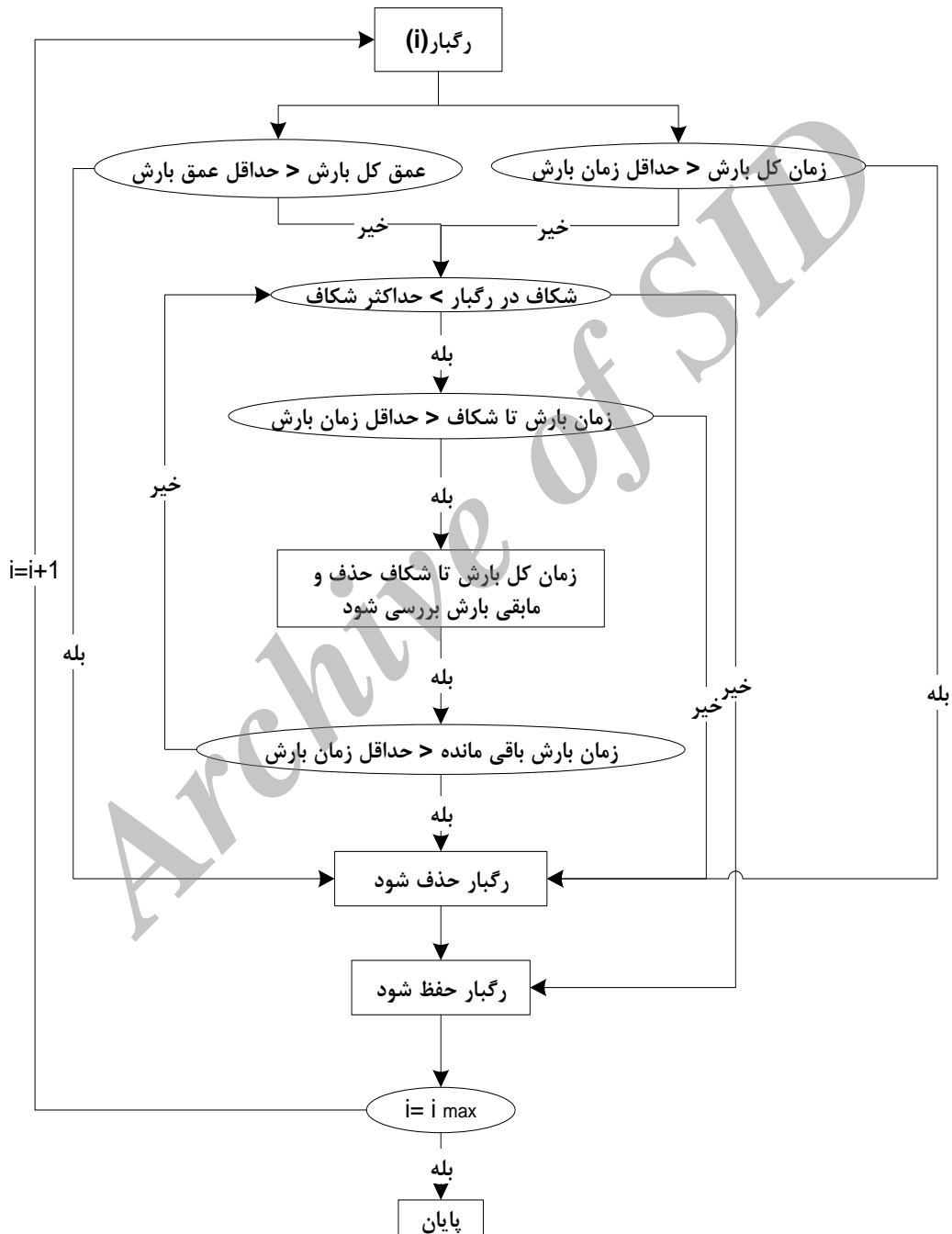
شناسایی دقیق متغیرهای تأثیرگذار بر الگوی بارش و بررسی عدم قطعیت های آن ها و در نهایت تحلیل عدم قطعیت الگوی بارش کمک سودمندی به محققین و طراحان می کند تا با شناسایی دقیق این متغیرها و عدم قطعیت های آن ها در تهیه الگوی بارش مناسب یک رخداد بارش، با خطای کمتری مواجه شوند.

جهت تولید الگوی بارش، محققین مختلف از روش های متنوعی استفاده کرده اند. ین و چاو (۱۹۸۰) با استفاده از رخدادهای بارش مشاهداتی، الگوی بارش مثلثی را تهیه کردند. پریول و پاپاداکیس (۱۹۷۳) با استفاده از منحنی های شدت-مدت-فراوانی نقطه ای اقدام به برآورد الگوی بارش برای حوضه آبریز سین سیناتی کردند. این روش برای برآورد سیلاب به روش منطقی و برای بارش های با دوره بازگشت های کم قابل استفاده می باشد. این روش به دلیل استفاده از IDF های نقطه ای دقت برای حوضه های آبریز بزرگ مناسب نمی باشد (۲،۱).

هاف (۱۹۶۷) با استفاده از رخدادهای مشاهداتی بارش و استفاده از روش های بی بعد سازی زمان و عمق بارش

شکاف زمانی دو گام زمانی یک ساعت و حداقل تداوم بارش صد دقیقه در نظر گرفته شده است. الگوریتم انتخاب رخدادهای بارش در مدل RDP در شکل ۱ ارایه شده است.

می‌شوند. پس از فراخوانی رخدادها بر اساس محدودیت‌های نظیر عمق بارش، زمان بارش، حداکثر شکاف زمانی میان دو گام زمانی بارش داده‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و رخدادهایی که در محدوده تعریف شده نباشند، حذف می‌گردند. در این تحقیق حداقل عمق تجمعی بارش دو میلی متر و حداکثر



شکل ۱- الگوریتم انتخاب رخداد های بارش در مدل RDP

فاصل ۲۵ درصد تا ۵۰ درصد زمانی بارش، در دسته سوم حداکثر ارتفاع بارش در حدفاصل ۵۰ تا ۷۵ درصد زمانی بارش و در گروه چهارم حداکثر ارتفاع بارش در ۲۵ درصد انتهایی زمانی بارش اتفاق می افتد.

علاوه بر تقسیم بندی های سه گانه ارایه شده، ترکیب این گروه ها نیز مد نظر می باشد که در جدول ۱ بیان شده است. بدین ترتیب در این مدل حداکثر حالت تقسیم بندی در هفت گروه با ۱۲۰ زیر گروه امکان پذیر می باشد.

جدول ۱- تقسیم بندی رخداد های بارش

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

پس از تقسیم بندی رخداد ها در گروه ها، رخداد از نظر زمانی و عمق بارش بدون بعد می شوند. نحوه بی بعد سازی یک رخداد بارش در نمودار ۱ نشان داده شده است.

پس از انتخاب نهایی رخداد ها، سه نوع تقسیم بندی بر اساس مدت بارش، عمق بارش و نوع الگوی بارش انجام می پذیرد.

تقسیم بندی بر اساس مدت زمان بارش (گروه ۱)

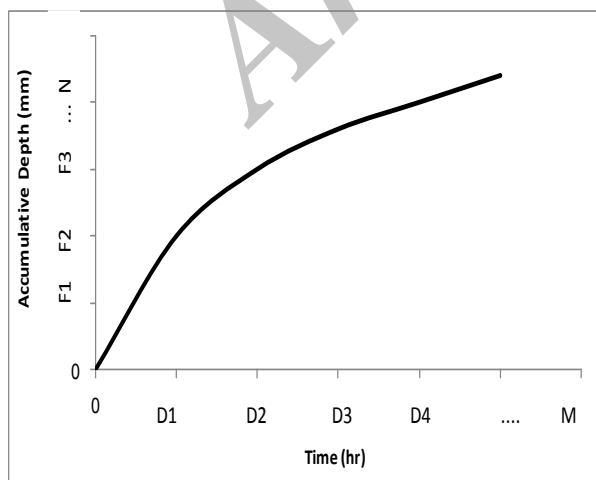
در مدل RDP، انتخاب حداکثر پنج بازه زمانی برای مدت بارش (تداوم بارش) ممکن می باشد. در این تحقیق از تقسیم بندی ۰-۳، ۳-۶، ۶-۱۲، ۱۲-۲۴ و بیشتر از ۲۴ ساعت استفاده شده است.

تقسیم بندی بر اساس عمق بارش (گروه ۲)

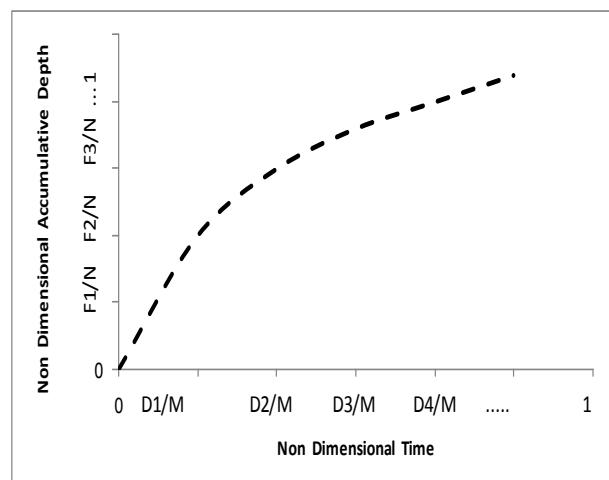
در مدل RDP، انتخاب حداکثر ۶ بازه برای عمق بارش ممکن می باشد. در این تحقیق از تقسیم بندی ۰-۲/۶۲، ۲/۶۲-۴/۵۳، ۴/۵۳-۶/۶، ۶/۶-۹/۵۳، ۹/۵۳-۱۴/۹۵ و بزرگتر از ۱۴/۹۵ میلی متر استفاده شده است. این تقسیم بندی بر اساس تعداد نمونه‌های متساوی الگوی بارش مشاهداتی تنظیم شده است و می توان بازه‌های دیگری را نیز انتخاب کرد.

تقسیم بندی بر اساس الگوی بارش (گروه ۳)

در این تقسیم بندی بر اساس این که حداکثر ارتفاع بارش در چه مقطع زمانی از بارش رخ داده است به چهار دسته تقسیم شدند. در دسته اول، حداکثر ارتفاع بارش در ۲۵ درصد ابتدایی زمانی بارش، در دسته دوم، حداکثر ارتفاع بارش در حد



ب) الگوی رگبار مشاهداتی



الف) الگوی رگبار بدون بعد

نمودار ۱- بی بعد سازی الگوی بارش

گروه، یک ماتریس با ابعاد $R \times P$ برای هر گروه ایجاد می شود. که در آن، R تعداد سطرها و برابر رخدادهای بارش مرتبط با گروه مد نظر و P تعداد گام های زمانی بدون بعد می باشد. درایه های این ماتریس نیز مقادیر عمق بارش های بدون بعد می باشند. نمونه این ماتریس ها در جدول ۲ ارائه شده است.

پس از بی بعد سازی رخدادهای بارش، این امکان در مدل RDP موجود است که گام های محور X (زمان بی بعد) و محور Y (عمق بارش بی بعد) به طور دلخواه تنظیم شوند که در این تحقیق در گام های $0/1$ محور X تقسیم بندی شده اند. پس از تنظیم گام ها و بی بعد سازی رخدادهای مرتبط با هر

جدول ۲- نمونه ماتریس رخداد های بی بعد مرتبط با یک گروه دلخواه

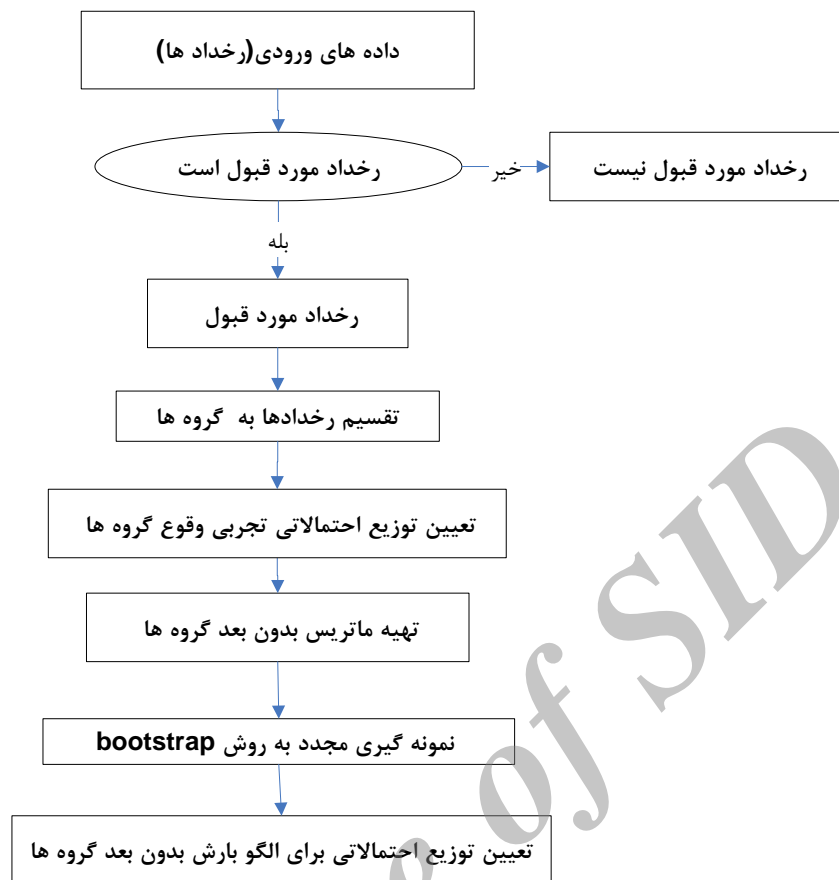
$A(1,1)$	$A(1,2)$	$A(1,3)$...	$A(1,P)$
$A(2,1)$...			$A(2,P)$
$A(3,1)$...		$A(3,P)$
⋮			...	⋮
$A(R,1)$	$A(R,2)$	$A(R,3)$...	$A(R,P)$

در ماتریس های بارش رابطه (۱) حاکم می باشد.

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

که از توزیع های احتمالاتی دیگر نظیر توزیع مثلثی و ... نیز برای مشخص کردن رفتار تصادفی الگوی بارش در گام های زمانی مختلف استفاده شود. هم چنین در مدل RDP با استفاده از رخدادهای انتخاب شده توزیع احتمالاتی عمق بارش، زمان بارش و نوع الگوی بارش، تعیین می شود. الگوریتم مدل RDP به طور خلاصه در شکل ۲ بیان شده است.

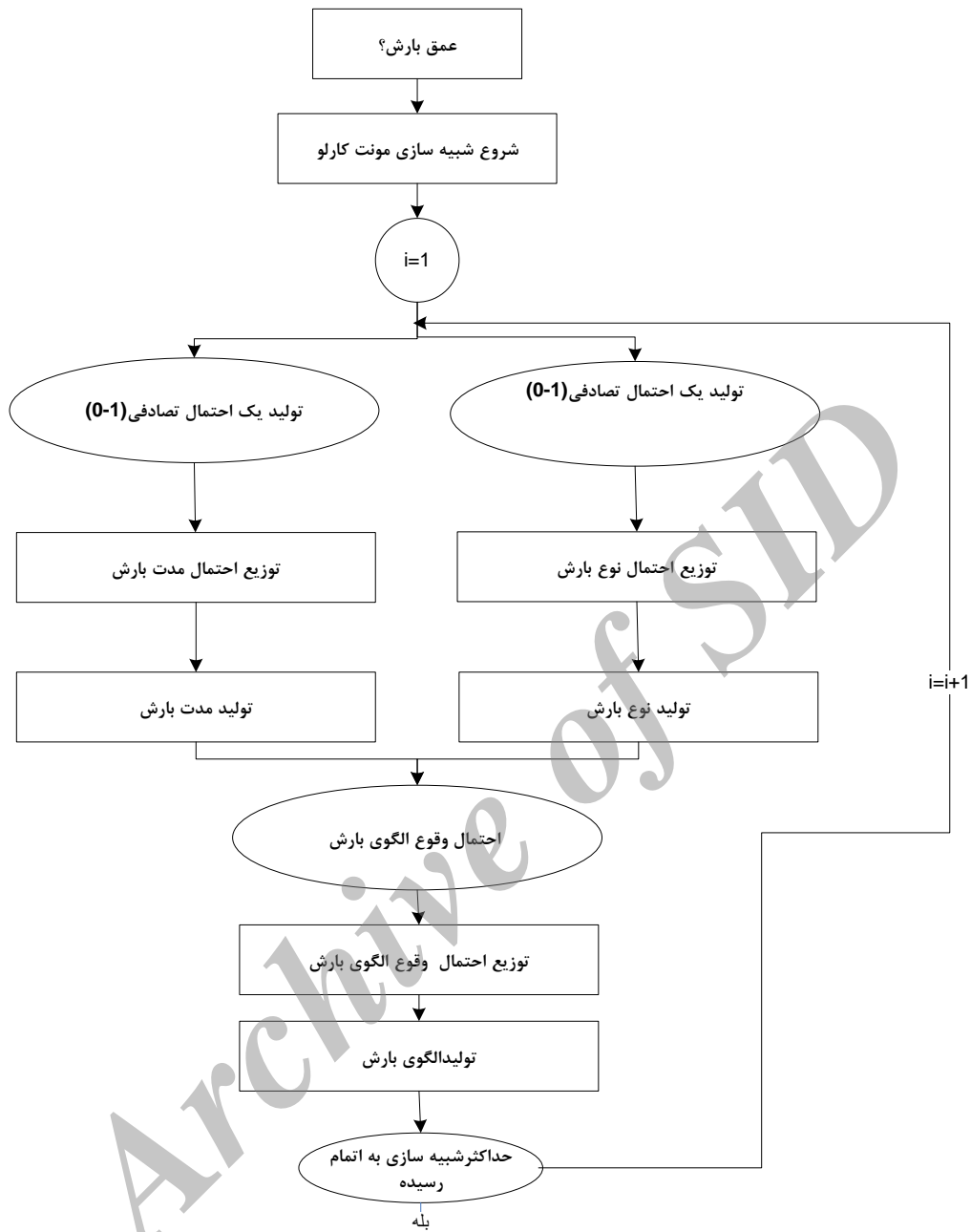
در مرحله بعد، توزیع احتمالی و پارامترهای توزیع احتمالی گام های زمانی ماتریس بی بعد بارش تعیین می شوند. در این تحقیق از توزیع احتمالی یکنواخت برای گام های زمانی استفاده شده است. لکن برای تعیین پارامترهای توزیع احتمالی یکنواخت و نزدیک شدن به جامعه آماری، روش نمونه گیری خودکار به کاررفته است. این امکان در مدل RDP موجود است



شکل ۲- الگوریتم مدل RDP در تعیین رفتار تصادفی بارش

بارش به صورت تصادفی تولید می شود. با تعیین زمان بارش و نوع بارش و مشخص بودن عمق بارش، با استفاده از توزیع احتمالی گروه بارش مدنظر و تولید تصادفی احتمال وقوع، الگوی بارش بدون بعد تولید می شود. در واقع الگوی بارش حاصل از تولید گام های زمانی بدون بعد می باشد. بدین ترتیب الگوی بارش برای یک عمق مد نظر تولید می شود. این عمل بر اساس تعداد شبیه سازی های مونت کارلو صورت می گیرد و در نهایت میانگین الگوهای بارش حاصل از شبیه سازی ها به عنوان الگوی بارش با احتمال وقوع مد نظر تعیین می شود. الگوریتم تولید الگوهای بارش در مدل RPG در شکل ۳ ارائه شده است.

پس از آماده سازی رخداد های بارش و تعیین توزیع احتمالاتی وقوع گروه های مختلف رخداد های بارش و توزیع احتمالاتی گام های زمانی بدون بعد هر گروه، امکان تولید وقایع بارش توسط مدل RPG می باشد. همان گونه که عنوان شد، در مدل RPG تولید رخدادها با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو انجام می شود. در واقع در این مدل در هر شبیه سازی پس از تعیین عمق بارش بر اساس عمق بارش مشخص شده با استفاده از توزیع احتمالی تجربی زمان بارش برای عمق بارش مدنظر و تولید تصادفی احتمال وقوع، زمان بارش به صورت تصادفی تولید می شود. هم چنین بر اساس عمق بارش مشخص شده با استفاده از توزیع احتمالی تجربی نوع بارش (نوع الگوی بارش) برای عمق بارش مدنظر و تولید تصادفی احتمال وقوع، نوع



$$\text{Rain_pattern} = \left[\sum_{i=1}^{\text{sim}_{no}} \text{Rain_pattern}(i) \right] / \text{sim}_{no}$$

شکل ۳- الگوریتم تولید الگوهای بارش در مدل RPG

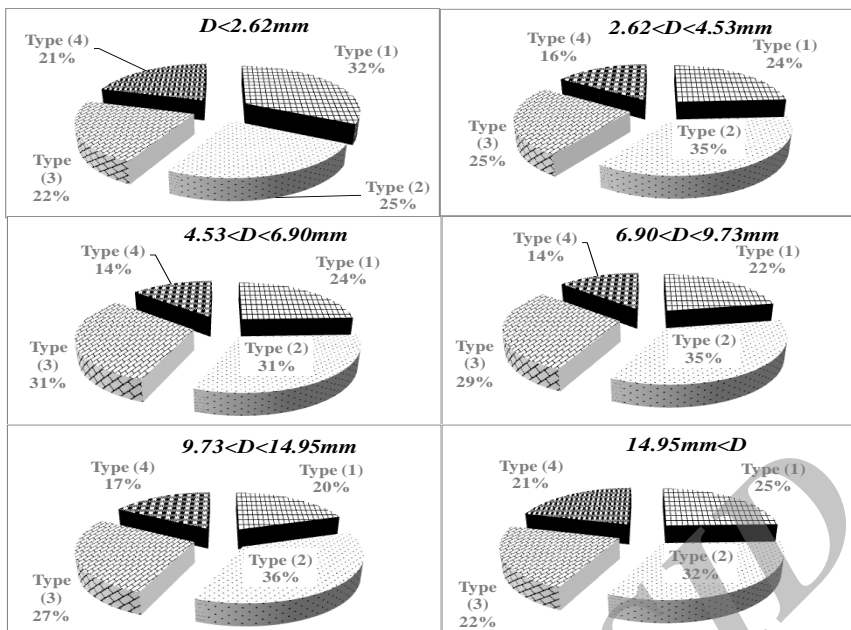
- مطالعه موردی

های اراک، بروجرد، دزفول، همدان، کنگاور، کرمانشاه، خرم آباد و هولیلان و در مجموع از ۲۶۵۸ بارش جهت آموزش و آزمایش مدل استفاده شده است. در جدول ۳ اطلاعات مرتبط با ایستگاه ها و در شکل ۴ پراکنش ایستگاه ها و حوضه آبریز رودخانه سیمره نمایش داده شده است.

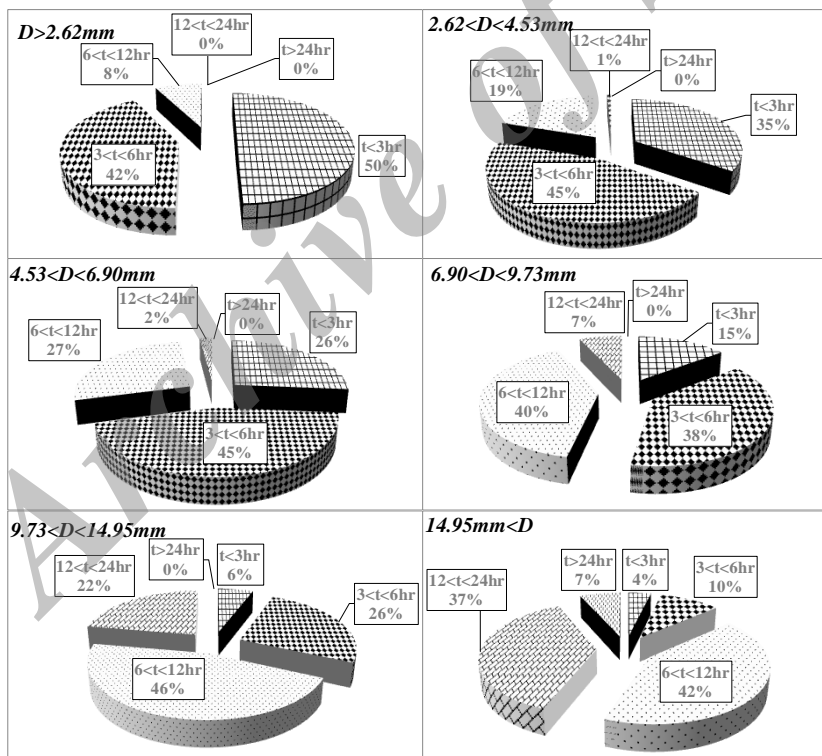
جهت بررسی و آزمایش تلفیق مدل های RDP و RPG در تولید الگوی بارش در حوضه های فاقد الگوی بارش، از اطلاعات حوضه آبریز رودخانه سیمره استفاده شده است. حوضه آبریز رودخانه سیمره در غرب ایران واقع شده است. مساحت آن در حدود ۲۹۲۴۴ کیلومترمربع و سرشاخه های اصلی این رودخانه رودخانه های قره سو و گاماسیاب می باشد. از اطلاعات ایستگاه

جدول ۳- مشخصات ایستگاه های مورد مطالعه

مورد استفاده	تعداد رگبار	عرض		طول		نوع ایستگاه	نام ایستگاه
		درجه	دقیقه	درجه	دقیقه		
آزمایش مدل	۱۰	۳۳-۴۶		۴۷-۰۶		باران سنجی	هولیلان
آموزش مدل	۳۲۴	۳۳-۵۵		۴۸-۴۵		سینوپتیک	بروجرد
آموزش مدل	۳۶۵	۳۳-۲۶		۴۸-۱۷		سینوپتیک	خرم آباد
آموزش مدل	۲۴۳	۳۲-۲۴		۴۸-۲۳		سینوپتیک	دزفول
آموزش مدل	۱۱۷	۳۴-۲۱		۴۷-۰۹		سینوپتیک	کرمانشاه
آموزش مدل	۷۶۲	۳۴-۳۰		۴۷-۵۹		سینوپتیک	کنگاور
آموزش مدل	۴۴۹	۳۴-۰۶		۴۹-۴۶		سینوپتیک	اراک
آموزش مدل	۳۷۸	۳۴-۵۲		۴۸-۳۲		سینوپتیک	همدان



نمودار ۲- درصد فراوانی نوع بارش برای بارش های با عمق بارش مختلف



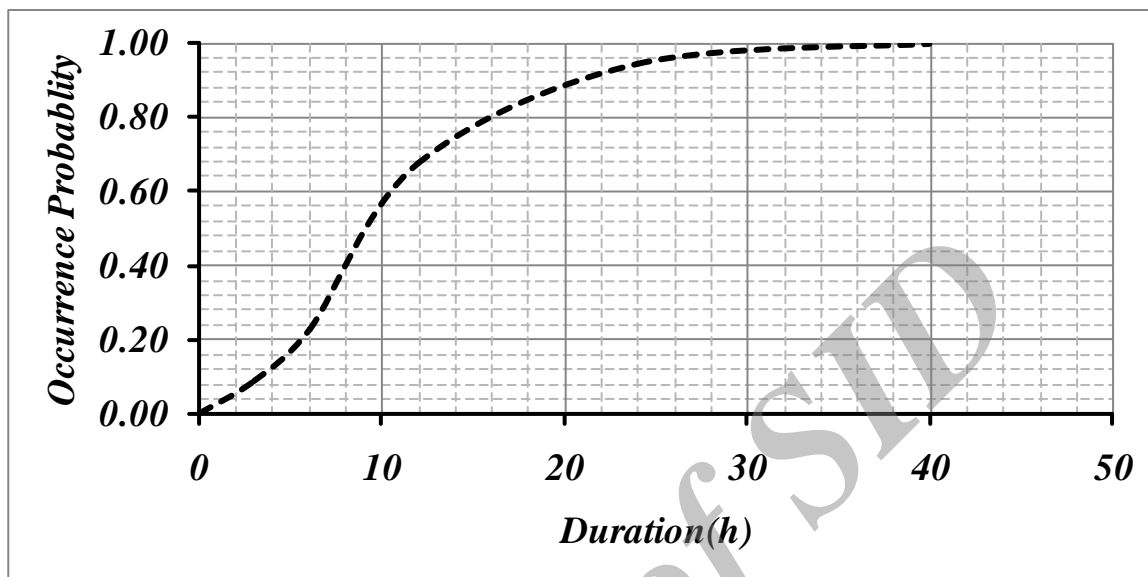
نمودار ۳- درصد فراوانی زمان تداوم بارش برای بارش های با عمق بارش مختلف

مربوط به بارش های با تداوم کمتر از شش ساعت و برای بارش های با عمق بیشتر از $9/73$ میلی متر، بیشترین فراوانی تداوم بارش شش تا 12 ساعت می باشد.

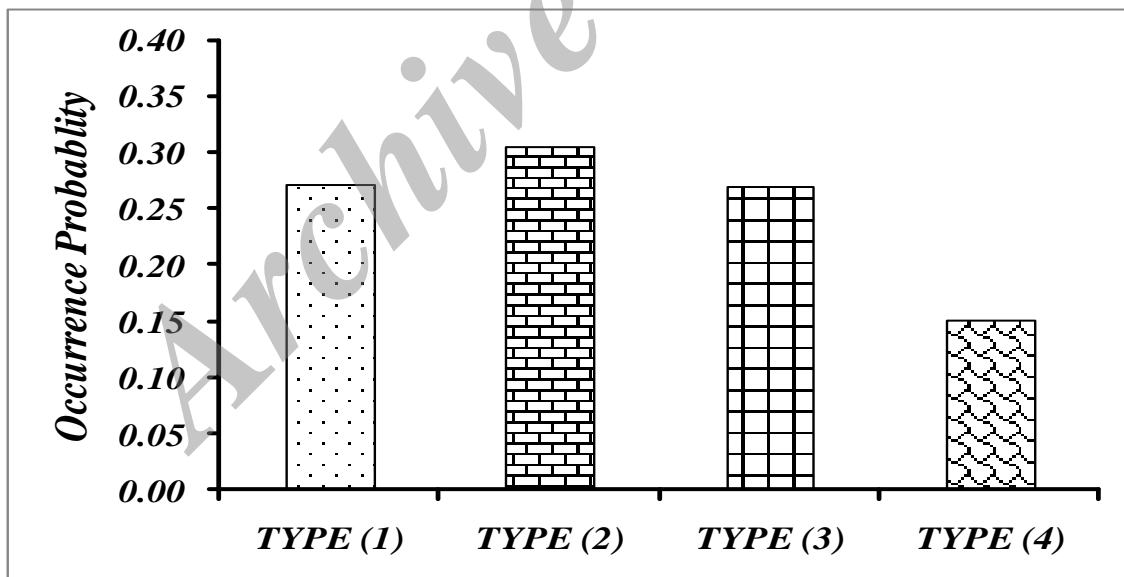
نمودار ۲ بیان گر آن است که برای کلیه عمق های بارش بیشترین فراوانی مربوطه به بارش های نوع ۱ و ۲ و کمترین درصد مربوطه به بارش های نوع ۴ می باشد. نمودار ۳ بیان می کند که برای بارش های با عمق کمتر از $9/73$ میلی متر، بیشترین فراوانی

مشخصی از بارش می باشد. برای مثال به ازای عمق بارش ۶ میلی متر توزیع احتمالاتی زمان تداوم بارش و توزیع احتمالاتی نوع بارش در یکی از شبیه‌سازی های مونت کارلو استخراج شده و در نمودارهای ۴ و ۵ ارایه شده است.

به عبارت دیگر برای کلیه عمق های بارش بیشترین فراوانی مربوط به بارش‌های تا ۱۲ ساعت می باشد. اولین گام در تولید الگوی بارش، استخراج توزیع احتمالاتی زمان تداوم بارش و توزیع احتمالاتی نوع بارش به ازای عمق



نمودار ۴- توزیع احتمال رخداد زمان تداوم بارش (بارش ۶ میلی متر)



نمودار ۵- توزیع احتمال رخداد نوع بارش (بارش ۶ میلی متر)

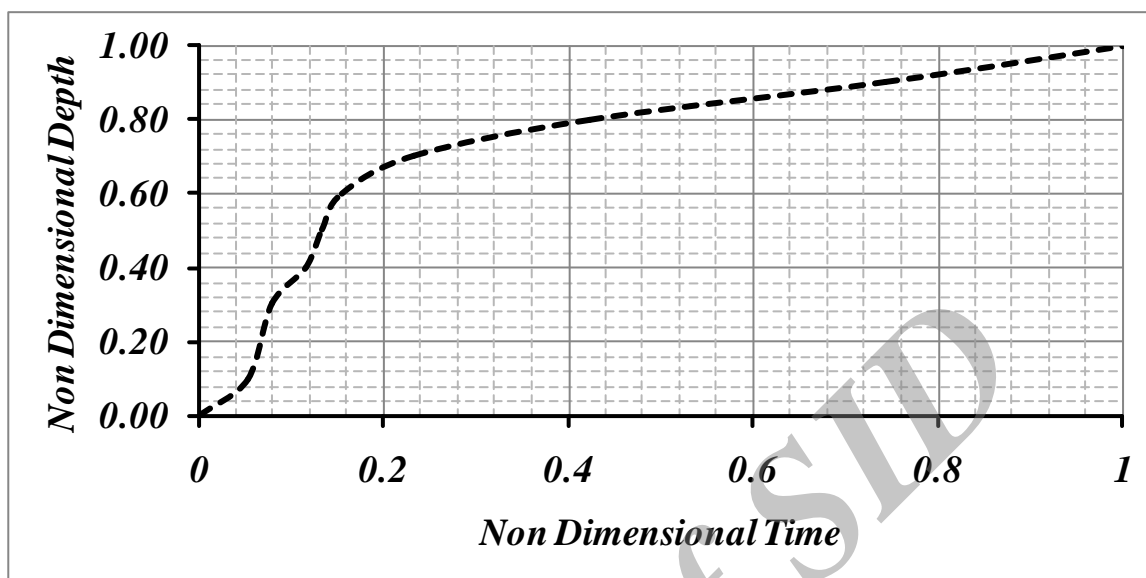
بر اساس عمق بارش، زمان تداوم بارش و نوع بارش با استفاده از نمونه گیری مجدد توزیع احتمالاتی کلیه گام‌های زمانی الگوی بارش بدون بعد تعیین می‌شود. سپس با تولید تصادفی احتمالات وقوع الگوی بارش، الگوی بارش در انتهای شبیه

پس از تعیین توزیع احتمالاتی زمان تداوم بارش و توزیع احتمالاتی نوع بارش به ازای عمق مشخصی از بارش، با تولید تصادفی احتمالات وقوع، مقادیر زمان تداوم بارش و نوع بارش تعیین می‌شود. پس از تعیین زمان تداوم بارش و نوع بارش،

درصد در نمودار (۶) ارایه شده است.

سازی مونت کارلو تولید می شود. برای مثال به ازای عمق بارش

۶ میلی متر الگوی بارش بدون بعد به ازای احتمال وقوع ۱۷/۵

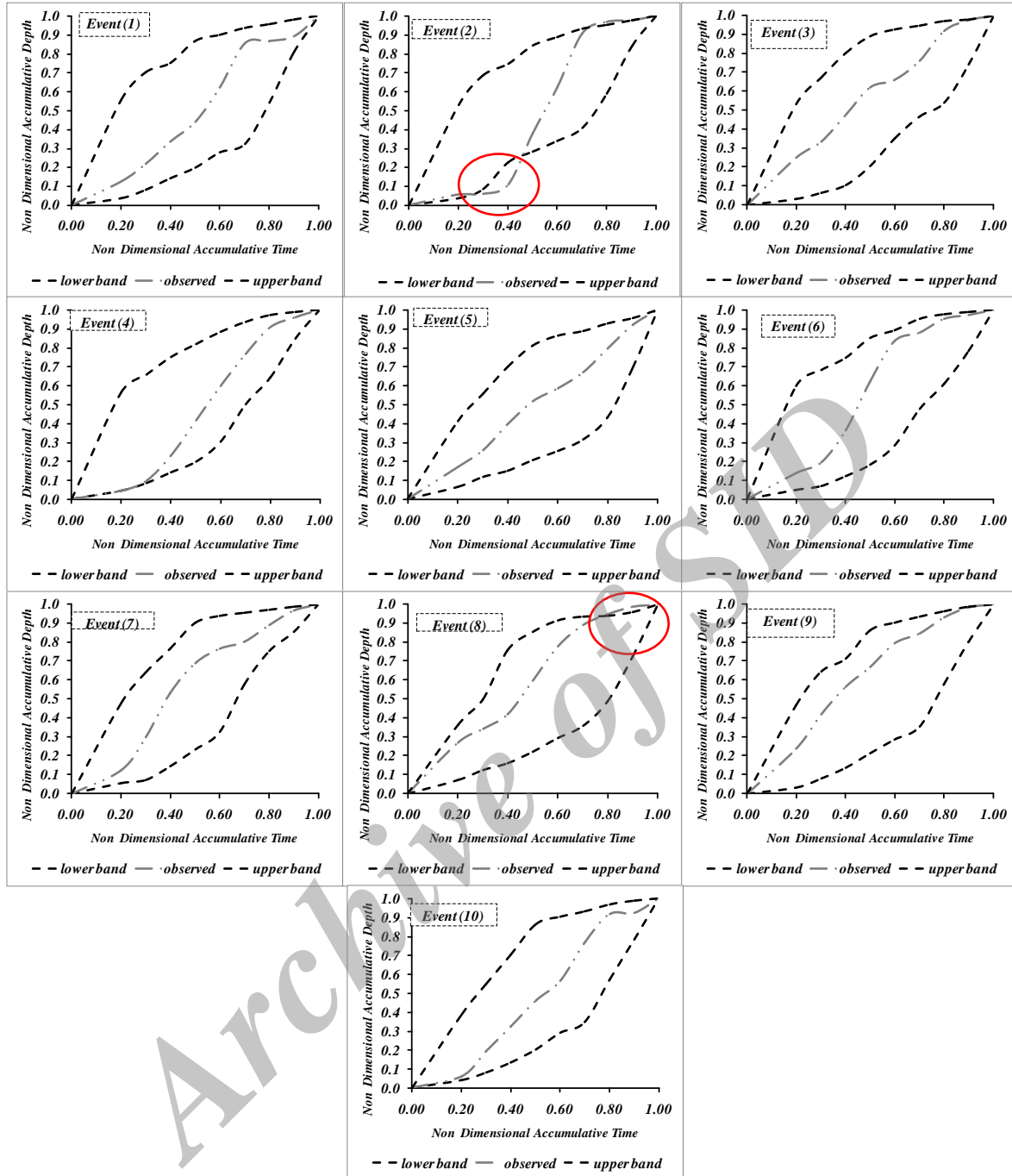


نمودار ۶- الگوی بارش بدون بعد به ازای احتمال وقوع ۱۷/۵ درصد (بارش ۶ میلی متر)

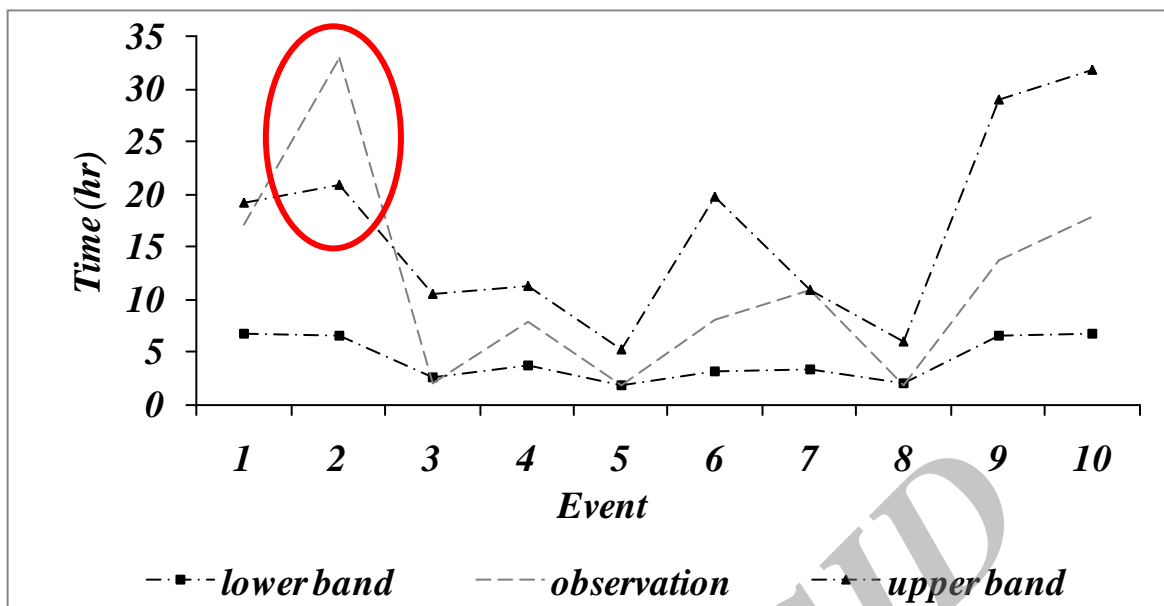
بحث و نتیجه گیری

احتمال وقوع ۵ درصد و ۹۵ درصد (باند الگوی بارش معنی دار) تولید گردیده و الگوی بارش و زمان بارش تولیدی با الگوی بارش و زمان بارش مشاهداتی مقایسه گردید. نمودار ۷ و ۸

جهت آزمایش مدل RPG در تولید الگوی بارش در حوضه های فاقد باران سنج ثبات از ۱۰ رخدادهای بارش ایستگاه هولیلان در حوضه آبریز رودخانه سیمره استفاده شده است. با توجه به عمق بارش های مورد آزمایش، الگوی بارش و زمان بارش به ازای



نمودار ۷- مقایسه الگوی بارش مشاهداتی با باند معنی دار الگوی بارش تولیدی مدل RPG



نمودار ۸- مقایسه زمان بارش مشاهداتی با باند معنی دار زمان بارش تولیدی مدل RPG

hyetographs for Cincinnati, Ohio. Water Resources Bulletin, American Water Resources Association. Vol. 9, No. 2, pp: 291-300.

3. Wu.S.J, Yang. J. C and Tung Y.K, (2006). ' Identification and stochastic generation of representative rainfall temporal patterns in Hong Kong territory', Stoch Environ Res Risk Assess.20,PP. 171-183
4. 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
5. Huff, F. A. (1967). Time distribution of rainfall in heavy storms. Water Resources Research, 3(4): 1007-1019.

با بررسی نتایج مشخص می‌گردد که ۹۰ درصد زمان تداوم بارش مشاهداتی در باند معنی دار تولیدی مدل RPG و ۹۸ درصد گام‌های زمانی الگوی بارش مشاهداتی در باند معنی‌دار الگوی بارش تولیدی توسط مدل RPG قرار دارد و این بیان‌گر دقت این مدل در تولید الگوی بارش متناسب با وقایع مختلف بارش در حوضه‌های فاقد الگوی بارش می‌باشد.

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