

## آزمون مدل تصادفی آبشاری در گسسته سازی داده‌های روزانه بارش

باقر ذهبیون<sup>۱\*</sup>، حجت اله فولادی اسگوئی<sup>۲</sup> و محمدرضا امیدبیگی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت ایران

<sup>۲</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد عمران - آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران

<sup>۳</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد عمران - آب دانشگاه علم و صنعت ایران

(تاریخ دریافت ۱۳۸۸/۰۳/۰۳، تاریخ دریافت اصلاح شده ۱۳۸۹/۰۱/۳۲، تاریخ تصویب ۱۳۹۰/۰۵/۲۹)

### چکیده

مدل‌های برآورد سیلاب و آلودگی، نیاز به داده‌های مشاهداتی با گام زمانی کوتاه باران (داده‌های ساعتی) دارد که اغلب در دسترس نبوده، در صورتی که داده‌های مشاهداتی بارش روزانه براهتی در اختیار قرار می‌گیرد. جهت ارائه راه حلی برای این مشکل، در این مقاله سعی بر آن است تا با طراحی مدل تصادفی آبشاری و بکارگیری داده‌های روزانه مشاهداتی مربوط به یک ایستگاه باران سنجی در شمال تهران بتوان داده‌های با گام زمانی کوتاه بدست آورد. قبلا در این رابطه مدلی به نام Olsson معرفی شده است. در این مقاله، پس از معرفی این مدل نسبت به اصلاح آن که بتواند بهتر داده‌های کوتاه مدت تولید نماید اقدام می‌گردد. پس از اصلاح و طراحی مدل جدید، اجرای مدل در دو مرحله انجام می‌گیرد. مرحله اول عبارت است از بررسی نحوه تبدیل داده‌های ۴۵ دقیقه‌ای به داده‌های روزانه (۲۴ ساعته) و مرحله دوم نیز برای تبدیل داده‌های ۲۴ ساعته به داده‌های کمتر از ۴۵ دقیقه ای. در پایان نتایج حاصل از کاربرد مدل اصلاح شده مورد بحث قرار می‌گیرد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که ویژگی‌های آماری داده‌های تولیدی بارش در بازه زمانی کوچک تر در مقایسه با داده‌های مشاهداتی می‌تواند حفظ گردد.

**کلمات کلیدی:** مدل بارش، کاهش مقیاس زمانی، مدل تصادفی آبشاری

### ۱- مقدمه

۱۹۷۲ به هیدرولوژی وارد شد [۱]. روش‌های به کار گرفته در این مدل‌ها گوناگون می‌باشد. بعضی از آنها با استفاده از روشهای پارامتریک به گسسته سازی داده‌ها می‌پردازند [۲]، [۳] و [۴] و بعضی دیگر از فرایندهای تصادفی مانند روشهای آبشاری بهره می‌برند [۶] و [۷]. در همه آنها، سعی می‌گردد که خروجی آنان دارای خصوصیات آماری مشابه با مقادیر مشاهداتی مربوط باشد. در این مقاله سعی شده است یکی از روشهای فرآیند تصادفی که توسط Olsson (۱۹۹۸) برای گسسته سازی داده‌های بارش روزانه استفاده شده است مورد اصلاح و بهبود قرار گیرد. در بخش بعدی این مدل معرفی و در بخش سوم اصلاحات آن توضیح داده می‌شود.

### ۲- فرآیند آبشاری تصادفی [۸]

از رهیافت‌های جدید برای گسسته سازی بارش در زمان، فرآیند آبشاری تصادفی (random cascade) است که توسط Olsson (۱۹۹۸) پیشنهاد شد. در این فرآیند بازه مورد نظر بطور پی در پی به سطح‌های کوچکتر تقسیم می‌شود. در هر سطح مقدار مربوطه براساس قواعدی بازتولید می‌شود. از این قواعد برای دوباره سازی رفتار مقیاسی داده‌های مشاهداتی باران استفاده می‌شود. مدل Olsson را برای داده‌های حوضه‌ای در جنوب سوئد مورد آزمایش قرار گرفت. در این مدل، اگر کل حجم باران در

اهمیت داده‌های بارش با گام زمانی کوتاه (مثلا ساعتی) برای برنامه ریزی، طراحی و مدیریت سیستمهای منابع آب و محیط زیست روز به روز بیشتر درک می‌شود. از جمله در شهرهای پرجمعیت، برای برآورد سیلاب‌ها و آلودگی‌های ناشی از آنها نیاز به داده‌های بارش با گام زمانی کوتاه می‌باشد. معمولاً این نوع داده‌ها یا موجود نیست و اگر هم اندازه گیری شده باشد با نقصان همراه می‌باشد. علاوه بر این، داده‌های با گام زمانی بزرگ (روزانه و بزرگتر) نمی‌تواند به عنوان ورودی مدل‌های ریاضی برای مطالعات مذکور مورد استفاده قرار گیرند. نبود این نوع داده‌ها به یکی از مهمترین محدودیت‌ها در برآوردهای هیدرولوژی در علوم مهندسی تبدیل شده است. یک روش بدیهی در جمع آوری اینگونه داده‌ها، استفاده از ادوات اندازه گیری مانند باران سنج ثبات است. این روش اندازه گیری معمولاً دارای هزینه نسبتاً زیاد و اغلب غیر ممکن می‌باشد. ولی داده‌های مشاهداتی بارش روزانه براهتی در اختیار قرار می‌گیرد. بدین ترتیب، نیاز به مطالعات و پژوهشهایی است که این نوع داده‌ها، را به داده‌های کوتاه تر زمانی با استفاده از مدل‌های ریاضی گسسته ساز (disaggregation) تبدیل نماید. بدین معنی که بتوان از داده‌های با گام زمانی بزرگ، داده‌های با گام زمانی کوچکتر تولید نمود. مدل‌های گسسته ساز در سال

هشت موقعیت متفاوت برای بازه تر خواهیم داشت که به قرار زیرند: ۱- بازه زمانی آغازین با حجم بیشتر از میانگین، ۲- بازه زمانی آغازین با حجم کمتر از میانگین، ۳- بازه زمانی میانی با حجم بیشتر از میانگین، ۴- بازه زمانی میانی با حجم کمتر از میانگین، ۵- بازه زمانی پایانی با حجم بیشتر از میانگین، ۶- بازه زمانی پایانی با حجم کمتر از میانگین، ۷- بازه زمانی منفرد با حجم بیشتر از میانگین، و ۸- بازه زمانی منفرد با حجم کمتر از میانگین.

بنابراین، در هر سطح (i)، ۲۴ وزن متفاوت W وجود دارد. در این مطالعه تعداد ۶ سطح (۲۴ ساعته، ۱۲ ساعته، ۶ ساعته، ۳ ساعته، ۱٫۵ ساعته و ۴۵ دقیقه) در نظر گرفته می‌شود. حال تعداد بازه‌های هر یک از هشت موقعیت مذکور برای هر سطح (i)، سری زمانی داده‌ها  $N_i$  نامیده می‌شود. همچنین برای هر موقعیت، تعداد بازه‌های با تقسیم ۱/۰- یا  $N_i(0,1)$ ، تعداد بازه‌های زمانی با تقسیم ۱/۰- یا  $N_i(1,0)$  و تعداد بازه‌های با تقسیم  $x/x$ - یا  $N_i(x,x)$  بدست می‌آید. سپس  $P(1/0)$ ،  $P(0/1)$  و  $P(x/x)$  برای هر موقعیت با فرمول‌های (۵) تا (۷) برآورد می‌گردد.

$$P(1/0) \cong f(1/0) = \frac{N_i(1/0)}{N} \quad (5)$$

$$P(0/1) \cong f(0/1) = \frac{N_i(0/1)}{N} \quad (6)$$

$$P(x/x) \cong f(x/x) = \frac{N_i(x/x)}{N} \quad (7)$$

### ۳- اصلاح مدل

برای اصلاح مدل که بتواند داده‌های گسسته اوج را نیز شبیه سازی نماید اقدام به مدلسازی به تفکیک هر فصل گردید. بدین ترتیب که برای هر ۶ ماه (بجای هر سال) مدل جداگانه‌ای ارائه گردد. دلیل آن مربوط به جدا بودن رژیم و خصوصیات بارش‌های بهاره-تابستانه از بارش‌های پاییزه-زمستانه در حوضه امامه است. توضیح اینکه بارش‌ها بطور کلی در طول دوره اول سال آبی دارای تداوم زیاد و شدت کم و در دوره دوم سال آبی دارای تداوم کم و شدت زیاد می‌باشد. بدین ترتیب، با اختصاص دو موقعیت جدید به ۶ ماه اول و ۶ ماه دوم سال پارامترهای بیشتری نیز وارد مدل می‌شود. با تحصیل احتمالات مربوط به هر موقعیت نسبت به گسسته سازی داده‌های روزانه اقدام شد. خلاصه ساختار مدل اصلاحی با استخراج ۱۶ موقعیت متفاوت برای هر بازه به شرح زیر است.

۱- بازه آغازین در ۶ماهه اول سال با حجم بیشتر از میانگین،  
 ۲- بازه آغازین در ۶ماهه دوم سال با حجم کمتر از میانگین،  
 ۳- بازه آغازین در ۶ماهه اول سال با حجم بیشتر از میانگین،  
 ۴- بازه آغازین در ۶ماهه دوم سال با حجم کمتر از میانگین،

هر بازه زمانی V باشد، آن به دو قسمت  $V_1 = W_1 \times V$  (بازه اول) و  $V_2 = W_2 \times V$  (بازه دوم) تقسیم می‌شود و این فرآیند تا رسیدن به سطح مورد نظر ادامه می‌یابد. وزن‌های  $W_1$  و  $W_2$  به طور مستقیم بوسیله نسبت حجم هر بازه به حجم مجموع تخمین زده می‌شود. با ادامه این روند، داده‌ها به مقادیر کمتر در بازه‌های زمانی (سطح) کوتاه تر تبدیل می‌شود. در هر سطحی، در صورت  $V=0$ ، آن بازه زمانی خشک و اگر  $V>0$  باشد، بازه ی زمانی تر نامیده می‌شود بنابراین

$$V_1 = W_1 \times V \quad 0 \leq W_1 \leq 1 \quad (1)$$

$$V_2 = W_2 \times V \quad 0 \leq W_2 \leq 1 \quad (2)$$

$$W_1 + W_2 = 1 \quad (3)$$

برای تبدیل بارش هر سطح به سطح پایین تر از یکی از حالات زیر بهره گرفته می‌شود.

۱- کل مقدار بارش در بازه ی اول قرار گیرد (تقسیم ۱/۰-)

$W_1=1$ ،  $W_2=0$   
 ۲- کل مقدار بارش در بازه ی دوم قرار گیرد (تقسیم ۰/۱-)

$W_1=0$ ،  $W_2=1$   
 ۳- هر دو بازه اول و دوم دارای مقداری بارش باشد (تقسیم  $x/x$ -)

$$0 \leq W_1 \leq 1, \quad 0 \leq W_2 \leq 1$$

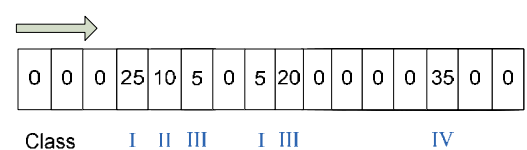
در هر سطح احتمالات سه حالت بالا یعنی احتمال حالت اول  $P(1/0)$ ، و با چه احتمال حالت دوم  $P(0/1)$ ، و با چه احتمال حالت سوم  $P(x/x)$ ، برآورد می‌گردد. برای هر بازه تر می‌توان نوشت:

$$P(1/0) + P(0/1) + P(x/x) = 1 \quad (4)$$

$$W_1, W_2 = \begin{cases} 1 \text{ and } 0 & \text{with } P(1/0) \\ 0 \text{ and } 1 & \text{with } P(0/1) \\ W_{x/x} \text{ \& } 1 - W_{x/x}, \quad 0 < W_{x/x} < 1 & \text{with } P(x/x) \end{cases}$$

چهار موقعیت (Class) نیز در هر سطحی به ترتیب زیر تعریف می‌گردد: (I) بازه آغازین که قبل آن خشک و بعد آن تر باشد. (II) بازه میانی که قبل و بعد آن تر باشد. (III) بازه پایانی که قبل آن تر و بعد آن خشک باشد. (IV) بازه منفرد که قبل و بعد آن خشک باشد (شکل ۱).

موقعیت‌ها به نوبه ی خود به دو موقعیت بیشتر از میانگین و کمتر از میانگین تقسیم می‌شود. بدین ترتیب،



شکل ۱. موقعیت بندی بارش

شکل ۲. موقعیت ایستگاه باران‌سنجی

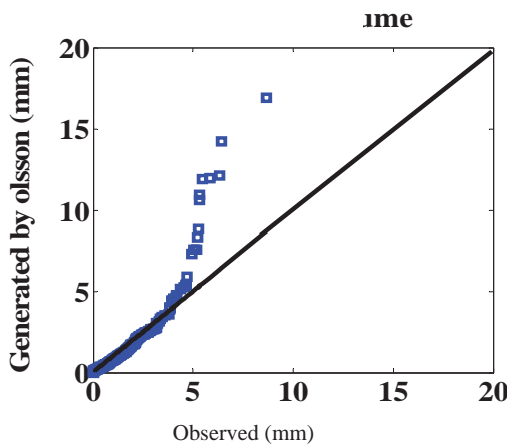


۵- بازه میانی در ۶ ماهه اول سال با حجم بیشتر از میانگین،  
 ۶- بازه میانی در ۶ ماهه دوم سال با حجم کمتر از میانگین،  
 ۷- بازه میانی در ۶ ماهه اول سال با حجم بیشتر از میانگین،  
 ۸- بازه میانی در ۶ ماهه دوم سال با حجم کمتر از میانگین،  
 ۹- بازه پایانی در ۶ ماهه اول سال با حجم بیشتر از میانگین،  
 ۱۰- بازه پایانی در ۶ ماهه دوم سال با حجم کمتر از میانگین،  
 ۱۱- بازه پایانی در ۶ ماهه اول سال با حجم بیشتر از میانگین،  
 ۱۲- بازه پایانی در ۶ ماهه دوم سال با حجم کمتر از میانگین،  
 ۱۳- بازه منفرد در ۶ ماهه اول سال با حجم بیشتر از میانگین،  
 ۱۴- بازه منفرد در ۶ ماهه دوم سال با حجم کمتر از میانگین،  
 ۱۵- بازه منفرد در ۶ ماهه اول سال با حجم بیشتر از میانگین،  
 ۱۶- بازه منفرد در ۶ ماهه دوم سال با حجم کمتر از میانگین،  
 بدین ترتیب تعداد احتمالات (P) و وزن‌های مدل (W) نیز دو برابر می‌گردد.

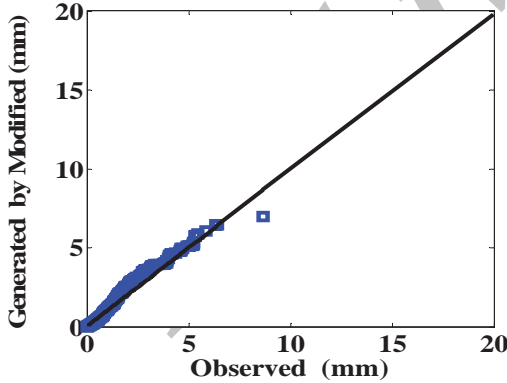
#### ۴- کاربرد مدل‌های Olsson و اصلاح شده بر داده‌های بارش حوضه و ارائه نتایج

۴-۱- معرفی داده‌های بارش ایستگاه باران‌سنجی ایستگاه باران سنج حوضه آبریز امامه (در بخش رودبار قصران استان تهران) در نزدیکی روستای امامه با عرض جغرافیایی ۳۵-۵۴ و طول جغرافیایی ۳۵-۵۱ در ارتفاع ۱۸۹۰ متر از سطح دریای آزاد واقع است. (شکل ۲) با استفاده از مقادیر داده‌های بارش این ایستگاه در گام‌های زمانی ۱ دقیقه‌ای اقدام به واسنجی (با داده‌های سالهای ۷۵-۱۳۷۴) و صحت‌سنجی (با داده‌های سال‌های ۷۲-۱۳۷۱) این مدل‌های Olsson و اصلاحی گردید.

۴-۲- کاربرد مدل Olsson و اصلاح شده با ارائه نتایج با اجرای این دو مدل با استفاده از سری زمانی روزانه همراه با تولید اعداد تصادفی و استفاده از پارامترهای هر دو مدل صحت‌سنجی شد. اقدام به تولید داده‌های ۴۵ دقیقه‌ای به طور جداگانه گردید. نتایج به صورت استخراج آمارها در جدول ۱ و به صورت نمودار Q-Q در شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب برای مدل Olsson و اصلاح شده آمده است. متناظر هر یک همانطور در جدول ۱ مشاهده می‌شود درصد خطاهای مقادیر مدل اصلاحی نسبت به مقادیر مشاهداتی بهبود یافته است. همچنین در شکل‌های ۳ و ۴ بهبود معنی‌داری مدل اصلاحی برای سطح ۴۵ دقیقه‌ای قابل ملاحظه می‌باشد. در یک مقایسه دیگر بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی حاصل از دو مدل ۴ آماره به شرح زیر است:



شکل ۳. نمودار Q-Q داده‌های مشاهداتی و تولیدی مدل Olsson



شکل ۴. نمودار Q-Q داده‌های مشاهداتی و تولیدی مدل اصلاحی

- ۱- نسبت وقایع صفر
  - ۲- میانگین عمق رخدادها
  - ۳- میانگین تداوم رخدادها
  - ۴- میانگین فاصله بین رخدادها
- مورد مقایسه قرار گرفته نتایج در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول شماره ۱. مقایسه آماره‌های اصلی داده‌های بارش تولیدی مدل Olsson، مشاهداتی با اصلاحی

آماره‌ها	مشاهداتی	مدل Olsson	حدود % خطا	مدل اصلاحی	حدود % خطا
میانگین (mm)	0.03	0.03	0.0	0.03	0.0
واریانس (mm) <sup>2</sup>	0.06	0.10	64.0	0.08	27.0
حداکثر (mm)	8.67	16.93	95.0	7.0	20.0

### ۵- بحث بر روی نتایج و نتیجه گیری

۲- واریانس داده‌های حاصل از مدل اصلاحی در مقایسه با داده‌های مشاهداتی بسیار نزدیک تر است تا داده‌های حاصل از مدل Olsson.

۳- مقادیر حداکثر داده‌های حاصل از مدل اصلاحی در مقایسه با داده‌های مشاهداتی نیز بسیار نزدیک تر است تا داده‌های حاصل از مدل Olsson.

۴- در مورد بقیه آماره تفاوت معنی داری بین دو مدل مشاهده نمی‌شود.

بنابراین مدل اصلاحی می‌تواند یک مدل امید بخش در مقایسه با مدل Olsson تلقی گردد.

در این مطالعه نسبت به بهبود مدل Olsson برای گسسته سازی داده‌های بارش روزانه اقدام گردید. برای اینکار مدل جدید (اصلاحی) مورد طراحی قرار گرفت و پس از واسنجی و صحت سنجی پارامترهای آن نسبت به تولید داده‌ها گسسته در بازه‌های ۱۲ ساعته، ۶ ساعته، ۳ ساعته، ۱.۵ ساعته و ۴۵ دقیقه‌ای اقدام گردید. پس از ارائه نتایج و بحث، نتیجه گیری به شرح زیر ارائه می‌گردد.

۱- میانگین داده‌های حاصل از مدل اصلاحی در مقایسه با داده‌های مشاهداتی نزدیک تر است تا داده‌های حاصل از مدل Olsson.

جدول شماره ۲. مقایسه دیگر آماره‌های داده‌های تولیدی مدل Olsson (۱۹۹۸)، مشاهداتی با اصلاحی

گام زمانی (hr)	داده‌ها	نسبت دوره خشک	SD ± میانگین عمق رخدادها	SD ± میانگین تداوم رخدادها	SD ± میانگین دوره‌های خشک
12	مشاهداتی	0.907	12.71±17.87	28.1±19.5	240.0±586.0
	Olsson	0.905	14.18±18.54	37.0±21.5	240.0±608.0
	اصلاحی	0.905	15.4±24.7	32.4±22.5	240.0±613.0
6	مشاهداتی	0.933	11.0±16.51	17.5±14.91	240.0±553.0
	Olsson	0.920	10.84 ±16.53	25.2±16.43	240.0±510.0
	اصلاحی	0.926	12.7±17.3	21.0±13.7	240.0±569.0
3	مشاهداتی	0.945	9.83 ±14.27	12.8±11.0	210.0±527.0
	Olsson	0.930	8.88±15.23	18.2±13.6	210.0±463.0
	اصلاحی	0.935	9.62±12.0	13.2±10	210.0±506.0
1.5	مشاهداتی	0.954	7.23±10.62	10.8±8.6	160.0±462.0
	Olsson	0.940	6.7 ±12.57	9.6±7.6	160.0±463.0
	اصلاحی	0.942	7.0 ± 8.92	12.2±10.9	150.0±440.0
0.75	مشاهداتی	0.961	4.67±7.0	9.49 ±9.85	110.0±378.0
	Olsson	0.950	4.31±7.85	8.3±7.85	105.0±370.0
	اصلاحی	0.950	4.23±6.45	12.0±7.9	90.0±348.0

## مراجع

- 1- Valencia, D., Schaake, J.C., 1972. "A Disaggregation Model for Time Series Analysis and Synthesis", Report No. 149, Ralph M. Parsons Laboratory for Water Resources and Hydrodynamics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass.
- 2- Conolly, R.D., Schirmer, J., Donn, P.K., 1998. „A Daily Rainfall Disaggregation Model“, Agricultural and Forest Meteorology 92, PAGES 105-117.
- 3- Cowpurtwait, P.S.P., O’Connell, P.E., Metcalfe, A.V., Mawdsley, J.A., 1996. “Stochastic Point Process Modeling of Rainfall. II. Regionalization and Disaggregation”, Journal of Hydrology 175, PAGES 47–65.
- 4- Econopouly, T.W., Davis, D.R., Woolhiser, D.A., 1990. “Parameter Transferability For A Daily Rainfall Disaggregation Model”, Journal of Hydrology 118, PAGES 209–228.
- 5- Hershenhorn, J., Woolhiser, D.A., 1987. „Disaggregation of Daily Rainfall“, Journal of Hydrology 95, PAGES 299–322.
- 6- Olsson, J., Berndtsson, R., 1998. “Temporal Rainfall Disaggregation Based on Scaling Properties”, Water Sci Technol, VOL 11, No 37, PAGES 73–79.
- 7- Sivakumar, B., Sharma, A. (2008). “A Cascade Approach to Continuous Rainfall Data Generation at Point Locations”, Stoch Environ Res Risk Assess ,22:451-459
- 8- Olsson, J., 1998. “Evaluation of a Scaling Cascade Model for Temporal Disaggregation Model”, Hydrology and Earth System Sciences, VOL 2, No. 1, PAGES 145–164.