دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

گسسته‌سازی زمانی بارش بر اساس مدل آبشاری میکروکانونیک (توسعه بسته نرم‌افزاری و مطالعه موردی)

محمد علی قربانی[۱]، محمد حسن فاضلی‌فرد[۲] و سید حسن حسینی[۳]

۱- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۲- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز (نویسنده مسوول: mhfazelifard@yahoo.com)
۳- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۲۶

چکیده

ایستگاه‌های باران‌سنجی که مقادیر بارش با گام‌های زمانی کوچکتر از مقیاس معمول روزانه را اندازه‌گیری نمایند عمدتاً از نظر تعداد و طول دوره آماری دارای محدودیت می‌باشند. از این‌رو مدل‌های گسسته‌سازی زمانی به دلیل توانایی در تبدیل داده‌های بزرگ‌مقیاس بارش به ریزمقیاس مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق از مدل آبشاری میکروکانونیک که در آن حجم کلی بارش بدون تغییر باقی مانده و مبتنی بر خصوصیت مقیاس‌گذاری پدیده بارش می‌باشد، جهت گسسته‌سازی زمانی بارش‌های بزرگ مقیاس به ریز مقیاس استفاده شده است. جهت نیل به این هدف ابتدا بر اساس تئوری حاکم بر مسئله یک بسته نرم‌افزاری توسعه داده شد و برای مقادیر بارش دو ایستگاه هواشناسی واقع در استان زنجان مورد بررسی قرار گرفت. جهت ارزیابی مدل آبشاری میکروکانونیک، درصد پالس‌های صفر، مقادیر پالس‌های بارش، طول دوره‌های تر، مقادیر بارش دوره‌های تر و طول دوره‌های خشک بارش‌های مشاهداتی و تولید شده مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که استفاده از مدل آبشاری میکروکانونیک در گسسته‌سازی بارش‌های روزانه به ۱۲، ٦، ۳ و ۱/۵ ساعته نتایج مطلوبی به همراه دارد.

واژه‌های کلیدی: مدل آبشاری میکروکانونیک، بارش، مقیاس‌گذاری، گسسته‌سازی زمانی، استان زنجان

مقدمه

بسیاری از مطالعات و تحلیل‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی و منابع آبی از قبیل استخراج نمودارهای شدت-مدت-فراوانی، مدل‌سازی بارش- رواناب به منظور برآورد دقیق مقدار و زمان وقوع اوج سیلاب‌ها و درنتیجه کنترل سیلاب و مدیریت ریسک سیلاب، مدل‌سازی انتقال آلودگی‌ها و طراحی زهکش‌های شهری تنها با در دست داشتن داده‌های بارش در مقیاس‌های زمانی چند ساعتی و گاه کوچکتر امکان‌پذیر می‌باشد (۱،۶،۱۰،۱۷). این در حالی است که دلایل گوناگونی نظیر بالا بودن هزینه اولیه دستگاه‌ها و همچنین هزینه پرسنلی و تجهیزات فنی امکان برداشت داده‌های کافی ریزمقیاس (چه به لحاظ توزیع مکانی و چه به لحاظ طول دوره آماری) را محدود می‌نماید. بنابراین در سال‌های اخیر، روش‌هایی موسوم به گسسته‌سازی داده‌های بارش جهت تبدیل بارش‌های بزرگ مقیاس (عموما روزانه) به بارش‌های چند ساعتی و کمتر توسعه چشمگیری یافته است. یکی از این روش‌ها بکارگیری مدل آبشاری میکروکانونیک[۱] می‌باشد که مبتنی بر استفاده از خصوصیت مقیاس‌گذاری[۲] بارش است. مقیاس‌گذاری بارش بر این موضوع دلالت دارد که خصوصیات مشاهده شده در مقیاس‌های مختلف به وسیله روابط ثابتی کنترل می‌شوند. تحقیقات زیادی وجود خصوصیات مقیاس‌گذاری بارش را تأیید می‌کند (۹،۱۱،۱۴،۱۵،۱۹). بر مبنی وجود خصوصیت مقیاس‌گذاری، با بررسی توزیع بارش در مقیاس‌های بزرگ‌تر، توزیع بارندگی مقیاس‌های کوچک‌تر قابل بازسازی می‌باشد (۷،۲۱). گوپتا و وایمایر (۴) رفتار چند مقیاس‌گذاری بارش را دلیل افزایش تغییرات فرآیند بارش با کاهش مقیاس بیان کردند که این افزایش تغییرات در فرآیند آبشاری هم با حرکت از ترازهای پایین به بالا، قابل مشاهده است. محققین این گونه بیان نموده‌اند که مدل آبشاری با فرضیات تئوری و مشاهدات طبقه‌بندی شده[۳] و سلسله مراتبی[۴] بارش نیز مطابقت دارد. السون (۱۸) یک مدل آبشاری میکروکانونیک را در نواحی معتدل جنوب سوئد، برای یک ایستگاه باران‌سنجی معرفی و مورد استفاده قرار داد که قادر بود تأثیر خصوصیات فیزیکی شدت و موقعیت بارش‌ها بر پارامترهای مدل را در نظر گیرد. با استفاده از این مدل، نسبت بین پالس‌های تر و خشک و همین‌طور توزیع حجم انفرادی مقادیر بارش به خوبی تولید گردید. هر چند که پارامترهای حجم مقادیر رخدادها، تداوم رخداد و طول دوره خشک بین دو رخداد بارش‌های تولید شده نسبتاً کمتر از مقدار مشاهداتی بودند. هم‌چنین این مدل توسط گونتنر و همکاران (۳) برای دو اقلیم متفاوت (ناحیه حاره‌ای نیمه خشک کشور برزیل و ناحیه معتدل کشور انگلستان) هر کدام با استفاده از سه ایستگاه باران‌سنجی مورد استفاده و آزمون قرار گرفت. نتیجه این مطالعه، تولید نسبتاً دقیق خصوصیات مقادیر ساعتی بارش توسط این مدل با استفاده از داده‌های بارش روزانه در هر دو اقلیم می‌باشد، و به طور کلی این مدل در مناطق خشک‌تر (اقلیم نیمه خشک برزیل) نتایج بهتری به همراه داشت. نتیجه دیگر این مطالعه، تولید مناسب مقادیر حداکثر بارش در ایستگاه‌های منتخب مناطق نیمه خشک برزیل بود. سیواکومار و شارما (۲۴) نیز جهت تولید داده‌های ریز مقیاس به ارزیابی یک مدل آبشاری تصادفی پرداختند. روش آن‌ها بر مبنای مقیاس‌گذاری یا ارتباط خصوصیات باران از یک مقیاس زمانی به یک مقیاس زمانی کوچک‌تر استوار بود و برای تولید داده از توزیع لوگ پواسون استفاده کردند. مؤثر بودن روش با استفاده از داده‌های بارندگی سیدنی استرالیا تست شد و با استفاده از بارش‌های ۲۴ ساعته به تولید داده‌های سه ساعته پرداختند.

1- Microcanonical Cascade Model 2- Scaling 3- Clusters 4- Hierarchical

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.9.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.96]

روپ و همکاران (۲۲) در نیوزلند، توزیع بتا و رابطه توزیع لوگ نرمال با پارامترهای مقیاس‌گذاری شده را بکار بردند و با دسته‌بندی داده‌ها از نظر شدت بارش و مقیاس، یک نوع مدل آبشاری ارائه داده و دریافتند که لحاظ نمودن شدت بارش در تعیین پارامترهای مدل، تأثیر زیادی بر بهبود نتایج مدل دارد و پس از آن در نظر گرفتن مقیاس زمانی نیز می‌تواند برآورد بهتری از پارامترهای مدل ارائه دهد. لیکزنار و همکاران (۱۲) نیز ضمن ارزیابی شش مدل گسسته‌سازی آبشاری با تأکید بر نیازهای هیدرولوژی شهری، به گسسته‌سازی بارش تا گام‌های ۵ دقیقه‌ای پرداختند. مناسب‌ترین مدل را نیز با توجه به استانداردهای اجرایی، یک مدل آبشاری میکروکانونیک با مولد جدید بتا- نرمال پیشنهاد نمودند. لیسنیات و همکاران (۱۳) نیز به گسسته‌سازی داده‌های روزانه یک ایستگاه باران‌نگار واقع در ساکسونی آلمان با روش السون (۱۸) پرداختند. آن‌ها از خصوصیت الگوهای گردش[1] جوی نیز استفاده نموده و امکان استفاده از این مدل در گسسته‌سازی داده‌های خروجی مدل‌های GCM[2] را بررسی نمودند.

در ایران نیز ذهبیون و همکاران (۲۵) با استفاده از مدل ارائه شده توسط السون (۱۸) به گسسته‌سازی زمانی داده‌های بارش روزانه یک ایستگاه واقع در شمال تهران پرداخته و با در نظر گرفتن خصوصیت فصلی بارش، به نتایج مطلوبی دست یافتند.

از نظر اقلیمی و براساس ضریب خشکی دومارتن[3]، استان زنجان در ناحیه نیمه خشک شمال غرب کشور واقع شده است (۸). با توجه به این که مدل آبشاری میکروکانونیک ارائه شده توسط السون (۱۸)، در مناطق نیمه خشک نتایج بهتری نسبت به مناطق معتدل داشته است (۳)، در این تحقیق به بررسی کارایی مدل آبشاری میکروکانویک السون پرداخته شده و هدف اصلی این تحقیق، تهیه، ارزیابی و ارائه نرم‌افزاری است که به منظور گسسته‌سازی زمانی بارش‌های روزانه ایستگاه‌های باران‌سنجی استان زنجان، از مدل آبشاری میکروکانونیک السون (۱۸) استفاده می‌کند.

مواد و روش‌ها

داده‌ها و منطقه مورد مطالعه

گسسته‌سازی بارش‌های یک ایستگاه با استفاده از مدل آبشاری میکروکانونیک متکی به داده‌های بزرگ مقیاس (روزانه) همان ایستگاه می‌باشد. لذا در این تحقیق از داده‌های بارش ایستگاه سینوپتیک زنجان با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۴۸/۵۲ و ۳۶/۶۵ و ایستگاه خودکار دندی واقع در شهرستان ماهنشان استان زنجان با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۴۷/۶۲ و ۳۶/۵۵ استفاده شده است. داده‌های بارندگی هر دو ایستگاه در مقیاس زمانی ۱۰ دقیقه‌ای و به مدت ۳ سال موجود می‌باشد. در جدول ۱ خصوصیات آماری سری زمانی بارش‌ها با مقیاس ده دقیقه‌ای آورده شده است. نمودار سری زمانی بارش‌های زنجان و دندی نیز با مقیاس ۱/۵ ساعته به ترتیب در شکل‌های ۶ و ۷ قابل مشاهده است.

جدول ۱- خصوصیات آماری سری زمانی بارندگی ده دقیقه‌ای

Table 1. Statistical properties of the 10-minute rainfall time series

ایستگاه	تعداد رکورد	کمینه (mm)	میانگین (mm)	میانه (mm)	بیشینه (mm)	انحراف معیار (mm)	چولگی	کشیدگی
زنجان	۱۸۲۴۰	۰/۱	۰/۲۸۶	۰/۲	۱۰/۳۰	۰/۴۵۴۵	۱۰/۱۹	۱۶۸/۶۰
دندی	۳۰۰۴	۰/۰۳۳	۰/۲۴۵	۰/۱۰۰	۹/۵۰	۰/۴۰۴۵	۱۰/۳۷	۱۷۱/۱۶

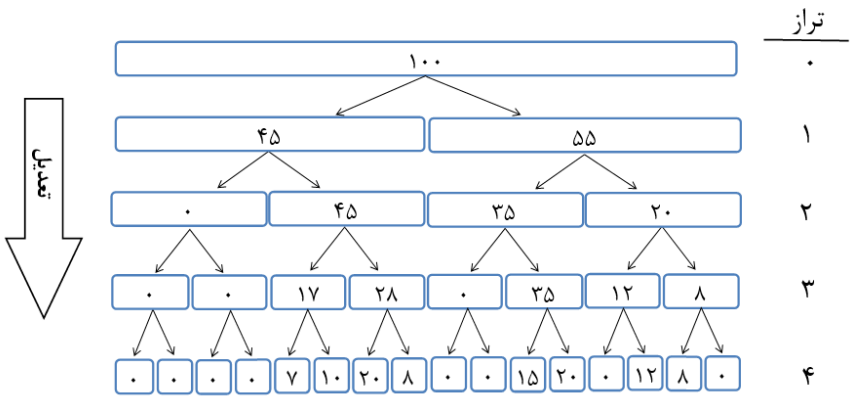
تئوری حاکم بر مدل آبشاری میکروکانونیک

به منظور مدل‌سازی رفتار مقیاس‌گذاری بارش اولین بار در سال ۱۹۸۷ توسط اسچرتزر و لاوجوی (۲۳) از مدل‌های آبشاری استفاده شد. آن‌ها این‌گونه بیان نمودند که مدل‌های آبشاری، توانایی برقراری ارتباط بین معادلات دینامیکی اتمسفر و خصوصیات مقیاس‌گذاری آماری بارش را دارند.

شکل ۱ نشان‌دهنده یک مدل آبشاری می‌باشد که در واقع یک سری زمانی بارش در مقیاس‌های زمانی متفاوت بوده و تراز nام آبشار یک مقیاس زمانی مشخص را ارائه می‌دهد. انتقال از یک تراز مشخص به سمت تراز بالاتر که در اینجا با نصف شدن مقیاس زمانی همراه است، یک تعدیل[4] نامیده می‌شود. تقسیم یک بازه زمانی T با بارش یکنواخت V به دو بازه زمانی T/2 با حجم بارش‌های V1 و V2 نیز انشعاب[5] نامیده شده است. گوپتا و وایمیر (۵) جهت ارائه بهتر تناوب‌های بارندگی و به حداقل رساندن پارامترهای مدل، عدد انشعاب ۲ را پیشنهاد دادند. مقدار ریزش باران در پالس‌های کوچک‌تر با ضرب اندازه بارش پالس بزرگ‌تر در وزن‌های W_1 $(0\le W_1\le 1)$ و W_2 $(0\le W_2\le 1)$ بدست می‌آید ($V_1= W_1*V$ و $V_2= W_2*V$). در مدل آبشاری میکروکانونیک، بر خلاف مدل‌های آبشاری کانونیک، همواره $W_1+W_2=1$. لذا جرم ترازهای مختلف مدل‌های آبشاری میکروکانونیک ثابت می‌باشد (۱۶).

1- Circulation Pattern
2- General Circulation Model
3- De-Martonne
4- Modulation
5- Branching

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.9.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.96]



شکل ۱- ساختار کلی یک مدل آبشاری تصادفی
Figure 1. General structure of a random cascade model

سه حالت ممکن W1 و W2 عبارتند از: ۱) W1=1 و W2=0 که در اینجا با 1|0 نمایش داده می‌شود. ۲) W1=0 و W2=1 (0|1) ۳) 0<W1<1 و 0<W2<1 (x|x). احتمال وقوع 1|0 ، 0|1 و x|x نیز به ترتیب با P(1|0) ، P(0|1) و P(x|x) نمایش داده شده و واضح است که P(1|0) + P(0|1) + P(x|x) =1. در مدل آبشاری فرض بر این است که در حالت x|x، وزن‌های $W_{x|x}$ از یک توزیع احتمالاتی تبعیت می‌کنند. در بخش کالیبراسیون فرضیه ثابت بودن مقادیر احتمال P و توزیع احتمالاتی $W_{x|x}$های تعدیل‌های مختلف نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت. بنابر این مدل مورد استفاده یک مدل آبشاری تصادفی با تولید کننده زیر می‌باشد (۲۰).

$$\left.\begin{array}{ll} \text{۱ و ۰} & \text{با احتمال } P(1|0) \\ \text{۰ و ۱} & \text{با احتمال } P(0|1) \\ W(x|x) \text{ و } 1\text{-}W(x|x) & \text{با احتمال } P(x|x) \text{ و توزیع احتمالاتی} \end{array}\right\} = W_2, W_1 \qquad (۱)$$

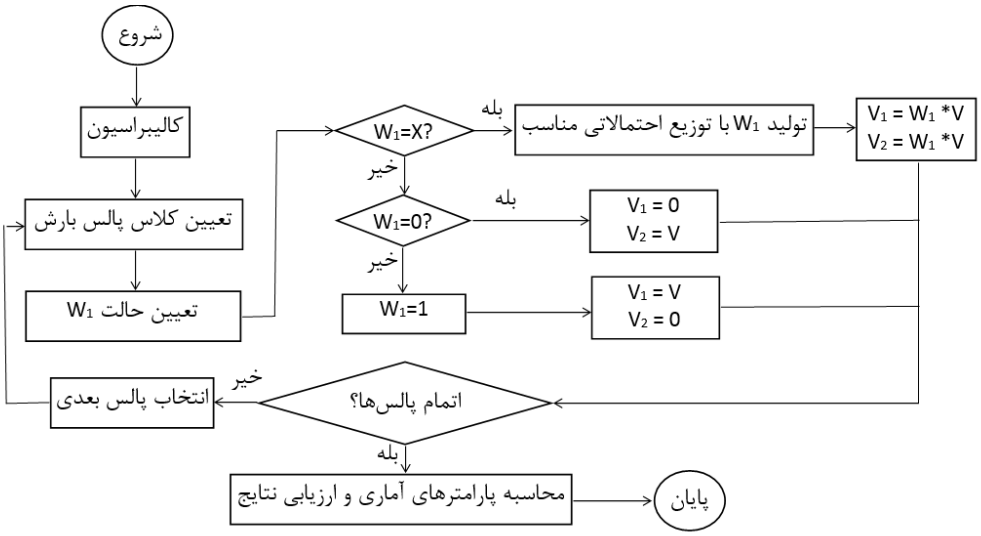
x

در این تحقیق به منظور افزایش کارایی مدل فرض وابستگی وزن‌های W_1 و W_2 به شدت و موقعیت پالس‌های بارش نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت.
در گسسته‌سازی بارش‌های ۲۴ ساعته موجود با مدل آبشاری میکروکانونیک بدین صورت عمل می‌شود که ابتدا با جمع نمودن داده‌های روزانه مجاور به صورت دو به دو، یک تراز ۴۸ ساعته بدست می‌آید که مقادیر W_1 آن قابل محاسبه است. احتمال وجود مقادیر صفر، یک و بین صفر و یک W_1 محاسبه گردیده و پس از آن به بررسی توزیع احتمالاتی مقادیر بین صفر و یک پرداخته شده است. بدین صورت مقادیر احتمالاتی و پارامترهای توزیع تمام ترازهای بالاتر از ۲۴ ساعت قابل محاسبه است.
استفاده از خصوصیت مقیاس‌گذاری بارش در گسسته‌سازی نیز بدین معنی است که مقادیر احتمال W_1 و W_2 در تعدیل‌های مختلف با یکدیگر مرتبط بوده (14) و از P(1|0)، P(0|1) و P(x|x)های بدست آمده در تعدیل‌های ۴۸ به ۲۴ ساعته و بالاتر می‌توان در گسسته‌سازی و تولید داده‌های ریزمقیاس بارش استفاده نمود.

نرم‌افزار RDS

RDS (Rainfall Disaggregation Software) نرم‌افزاری است که به منظور گسسته‌سازی زمانی بارش‌های یک ایستگاه هواشناسی تهیه شده است. گسسته‌سازی بارش در RDS بر مبنای خصوصیت مقیاس‌گذاری پدیده بارندگی و با استفاده از مدل آبشاری میکروکانونیک انجام می‌شود. الگوریتم گسسته‌سازی نرم‌افزار RDS بر اساس روش معرفی شده توسط السون (۱۸) نوشته شده و در شکل ۲ مراحل محاسباتی نشان داده شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.9.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.96]

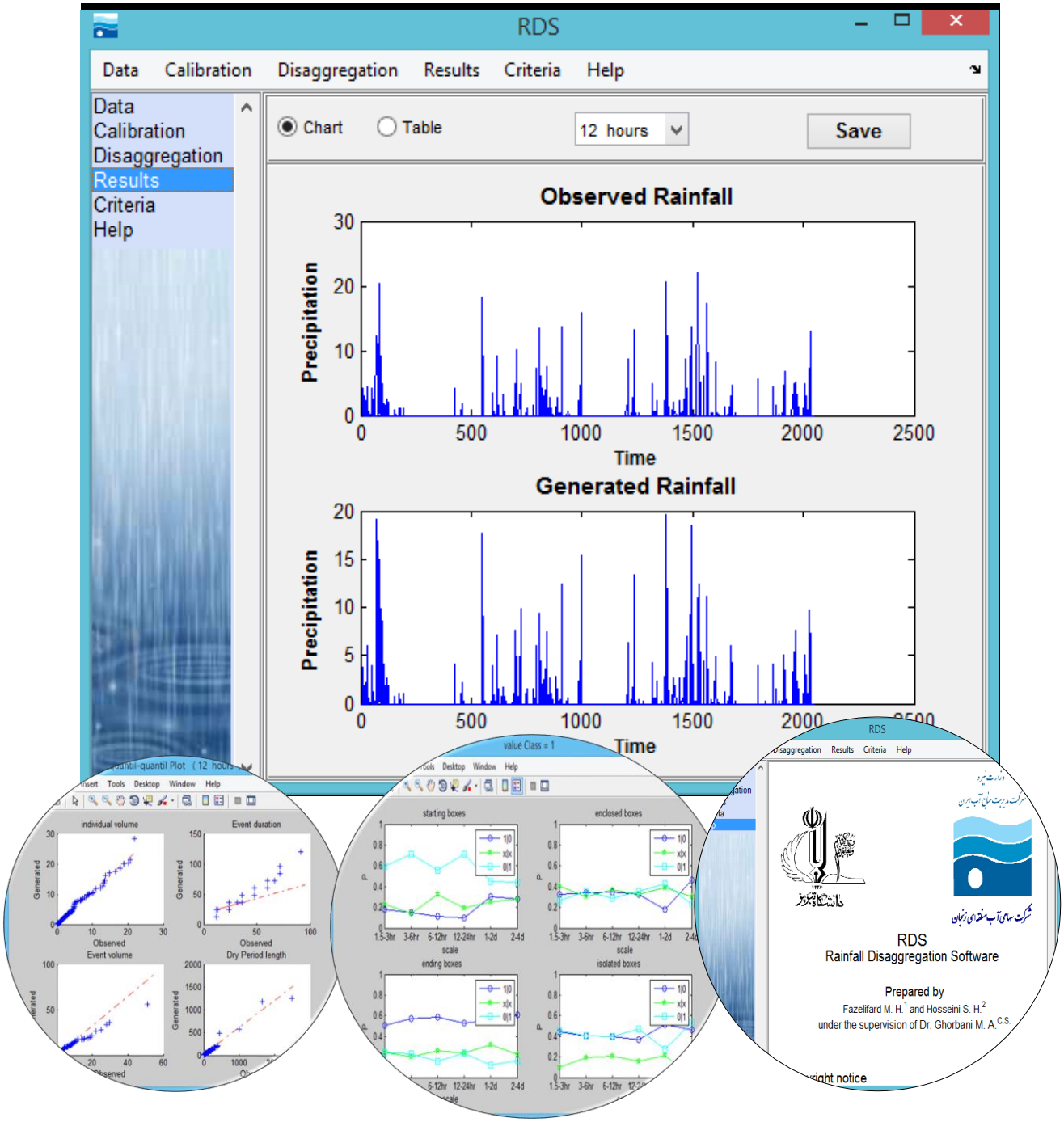


شکل ۲- الگوریتم گسسته‌سازی در نرم‌افزار RDS
Figure 2. Disaggregation algorithm in RDS software

با توجه به ماهیت مدل‌های آبشاری و رایج بودن اندازه‌گیری بارش‌ها در مقیاس روزانه، مقیاس‌های ۲۴، ۱۲، ۶، ۳، ۱/۵ و ۰/۷۵ ساعتی در نرم‌افزار تعریف شده است. گسسته‌سازی از هر مقدار بزرگتر به هر مقدار کوچکتر از بین این مقیاس‌ها (مثلا ۱۲ به ۱/۵ ساعتی) امکان‌پذیر است. در این نرم‌افزار داده‌های بزرگ مقیاس اولیه از فایل اکسل فراخوانی شده و داده‌های ریز مقیاس تولید شده نیز درفایل اکسل ذخیره می‌گردد. تصویری از نرم‌افزار RDS در شکل ۳ قابل مشاهده است.

هدف اصلی توسعه نرم‌افزار RDS توانمند نمودن کارشناسان و مهندسین مرتبط با مسائل آب در بررسی و شناسایی خصوصیات مختلف بارش‌های ریزمقیاس ایستگاه‌های باران‌سنجی فاقد باران‌نگار با تولید داده‌های ریزمقیاس می‌باشد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.9.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.96]



شکل ۳- تصویری از نرم‌افزار RDS

Figure 3. A screenshot of RDS software

نتایج و بحث

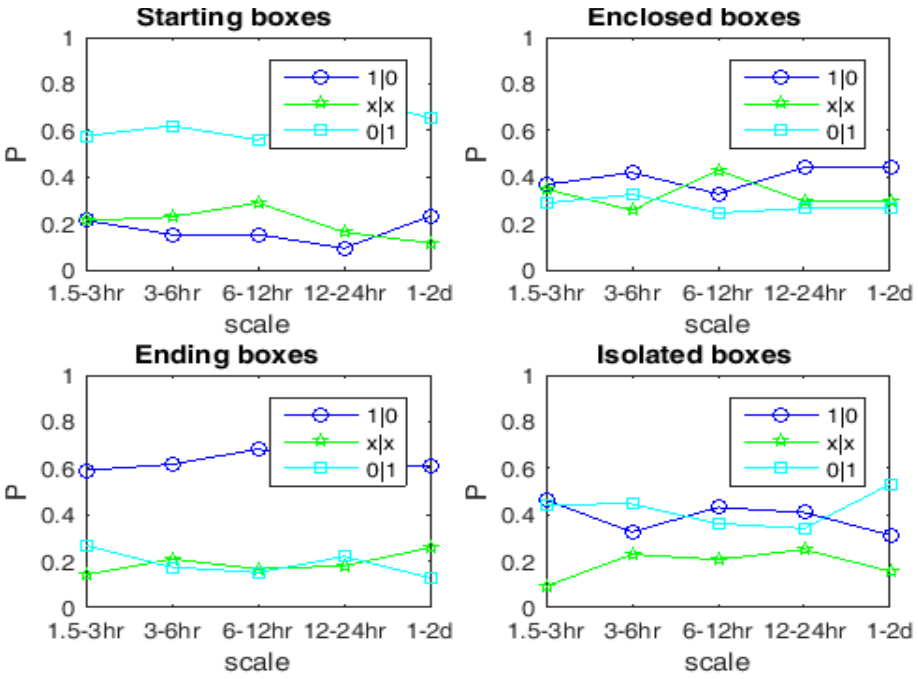
کالیبراسیون

در کالیبراسیون مدل آبشاری، خاصیت مقیاس‌گذاری بارش مورد استفاده قرار گرفته و فرض می‌شود که خصوصیت توزیع داده‌های ریزمقیاس بارش مشابه داده‌های بزرگ مقیاس است. لذا در ابتدا به بررسی وجود خصوصیت مقیاس‌گذاری پرداخته شده است. وابستگی وزن‌های مدل آبشاری به شدت بارش و موقعیت پالس بارش در سری زمانی از دیگر فرضیات مورد استفاده در مدل آبشاری بکارگرفته شده در این تحقیق می‌باشد. شدت بارش در بازه‌های زمانی یک تراز موجب به وجود آمدن تفاوت‌هایی در مقادیر احتمال و توزیع انشعاب آن‌ها می‌شود. به عنوان مثال در پالس‌هایی با حجم بیش از میانگین، $P(x|x)$ بیشتر از مقدار نظیر $P(x|x)$ بازه‌های با حجم کمتر از میانگین می‌باشد (۲۲). به منظور در نظر گرفتن وابستگی وزن‌ها به شدت بارش، بازه‌های تر به ۲ دسته با شدت‌های بیشتر و کمتر از میانگین تقسیم شدند. موقعیت

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.9.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.96]

بازه‌های یک تراز هم موجب به وجود آمدن تفاوت‌هایی در مقادیر احتمال و توزیع انشعاب آن‌ها می‌شود. به عنوان مثال در بازه‌های تری که قبل از آن‌ها خشک و بعد از آن‌ها تر باشد، P(0|1) افزایش پیدا می‌کند و برعکس P(1|0) برای بازه‌هایی که قبل از آن‌ها تر و بعد از آن‌ها خشک می‌باشد بیشتر خواهد بود. در مورد بازه‌هایی که قبل و بعد آن‌ها تر باشد، P(x|x) آن‌ها نسبت به حالتی که قبل یا بعد آن‌ها خشک است افزایش می‌یابد (۱۶). بر این اساس بازه‌های تر از لحاظ موقعیت زمانی آن‌ها در سری به چهار دسته تقسیم شدند. ۱- بازه‌هایی که قبل از آن‌ها خشک و بعد از آن‌ها تر باشد (بازه ابتدایی). ۲- بازه‌هایی که در دو طرف آن‌ها بازه‌های تر قرار دارد (بازه میانی). ۳- بازه‌هایی که قبل از آن‌ها تر و بعد از آن‌ها خشک باشد (بازه پایانی). ۴- بازه‌هایی که در دو طرف آن‌ها بازه‌های خشک قرار دارد (بازه ایزوله). بدین ترتیب جهت در نظر گرفتن تأثیر هم‌زمان شدت و موقعیت پالس‌های بارش، بازه‌ها به ۸ دسته تقسیم شده و برای هر دسته مقادیر احتمال P(1|0)، P(0|1) و P(x|x) محاسبه گردید.

شکل ۴ نمودار احتمالات تجربی P(1|0)، P(0|1) و P(x|x) را در مقابل تعدیل‌های بین مقیاس‌های زمانی ۱/۵ ساعت و ۲ روز برای چهار کلاس موقعیت و مقادیر کمتر از میانگین داده‌های بارش ایستگاه سینوپتیک زنجان را نشان می‌دهد. این احتمالات از سری زمانی داده‌های مشاهداتی بدست آمده‌اند. درمجموع همانگونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود محدوده تغییرات مقادیر احتمالات در بازه زمانی ۱/۵ ساعت تا دو روز تا حد قابل قبولی ثابت می‌باشند. اختلاف میان مقادیر این سه احتمال درون هرکلاس و بین کلاس‌های مختلف مشهود می‌باشد که مؤید فرض وابستگی پارامترهای مولد مدل آبشاری بر موقعیت بازه‌ها می‌باشد. قابل مشاهده است که در بازه‌های ابتدایی، P(0|1) بزرگتر از P(1|0) و در بازه‌های پایانی، P(1|0) بزرگتر از P(0|1) می‌باشد و P(0|1) و P(1|0) دو بازه ابتدایی و پایانی، تقریبا قرینه یکدیگرند. بعبارتی برای یک پالس بارش که قبل از آن خشک و بعد از آن تر است، احتمال این که بارش در نیمه دوم اتفاق افتاده و با بارش مجاور پیوسته باشد، بیشتر است و بالعکس. برای بازه های میانی و منفرد نیز تفاوت محسوسی بین P(0|1) و P(1|0) دیده نمی‌شود. در این شکل ملاحظه می‌گردد که P(x|x) دو بازه ابتدایی و انتهایی نیز با هم برابر بوده و P(x|x) بازه‌های میانی بزرگتر از P(x|x) بازه‌های دیگر می‌باشد.

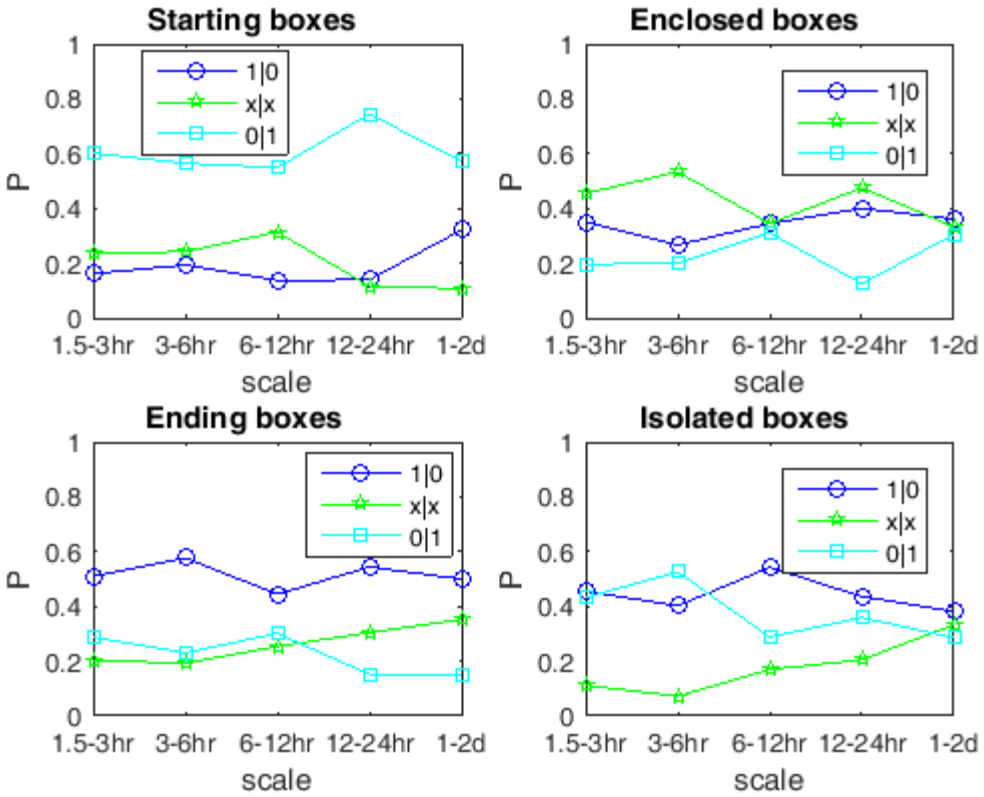


شکل ۴- احتمالات P(1|0) ، P(0|1) و P(x|x) مقادیر کمتر از میانگین بازه‌های ابتدایی (Starting boxes)، بازه‌های میانی (Enclosed boxes)، بازه‌های پایانی (Ending boxes) و بازه‌های منفرد (Isolated boxes) ایستگاه سینوپتیک زنجان.

Figure 4. Probabilities P(1|0), P(0|1) and P(x|x) for under mean values of Zanjan synoptic station for starting boxes, enclosed boxes, ending boxes and isolated boxes

شکل ۵ نمودارهای احتمالات تجربی P(1|0)، P(0|1) و P(x|x) در مقابل تعدیل‌های بین مقیاس‌های زمانی ۱/۵ ساعت و ۲ روز برای چهار کلاس موقعیت و مقادیر کمتر از میانگین داده‌های بارش ایستگاه خودکار دندی را نشان می‌دهد. قابل مشاهده است که مقادیر احتمال P(1|0)، P(0|1) و P(x|x) پالس‌های بارش ایستگاه دندی نیز مانند پالس‌های بارش ایستگاه زنجان وابسته به موقعیت پالس‌های بارش در سری زمانی می‌باشند.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.9.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.96]



شکل ۵- احتمالات P(1|0) ، P(0|1) و P(x|x) مقادیر کمتر از میانگین بازه‌های ابتدایی (Starting boxes)، بازه‌های میانی (Enclosed boxes)، بازه‌های پایانی (Ending boxes) و بازه‌های منفرد (Isolated boxes) ایستگاه خودکار دندی.

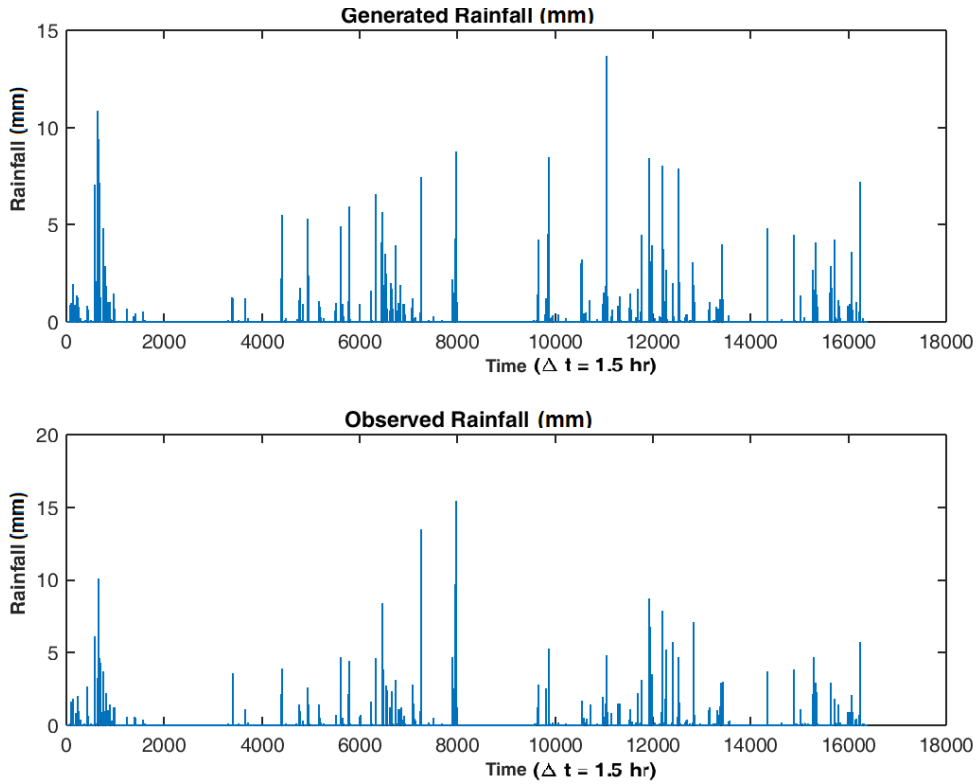
Figure 5. Probabilities P(1|0), P(0|1) and P(x|x) for under mean values of Dandi automatic station for starting boxes, enclosed boxes, ending boxes and isolated boxes

برای مقادیر بیشتر از میانگین نیز نتایجی مشابه مقادیر کمتر از میانگین حاصل گردید. با این تفاوت که مقادیر P(x|x) کلاس‌های بیشتر از میانگین، بیشتر از P(x|x)های نظیر در کلاس‌های کمتر از میانگین می‌باشد. بعبارتی احتمال این که بارش‌های با شدت بیشتر، در بازه زمانی طولانی‌تری اتفاق افتاده باشند، بیشتر است و پارامترهای مدل آبشاری وابسته به شدت بارش‌ها نیز می‌باشد که به دلیل اختصار از آوردن نمودار آن‌ها اجتناب شده است. نتایج مشابهی در ارتباط با وابستگی پارامترهای مدل آبشاری به شدت و موقعیت پالس‌های بارش توسط اولسون (۱۸) و فاضلی‌فرد (۲) ارائه گردیده است.

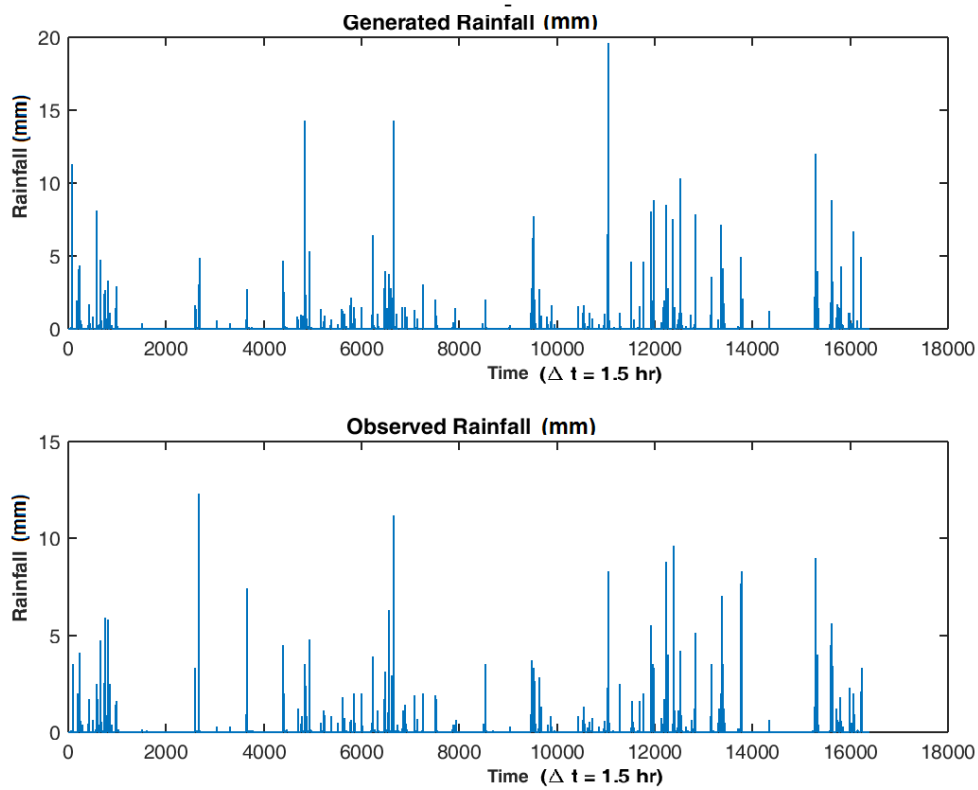
گسسته‌سازی زمانی بارش

با توجه به بررسی‌های انجام شده در بخش قبل، بارش‌های زمانی ایستگاه زنجان و دندی نیز در محدوده‌ی ۳-۱/۵ ساعت تا ۲-۱ روز دارای خاصیت مقیاس‌گذاری می‌باشند و می‌توان بارش‌های روزانه را حداقل تا مقیاس ۱/۵ ساعت گسسته نمود. بدین صورت که می‌توان از مقادیر احتمال P(1|0)، P(0|1) و P(x|x) تعدیل ۴۸ به ۲۴ ساعت، در گسسته‌سازی استفاده نمود. لذا پس از مشخص نمودن کلاس موقعیت و شدت بارش، با داشتن مقادیر احتمال P(1|0)، P(0|1) و P(x|x) کلاس‌های مختلف، به تولید W1های تصادفی با احتمال P(1|0)، P(0|1) و P(x|x) و توزیع احتمالاتی یکنواخت برای حالت x|x پرداخته شده و بدین ترتیب در محیط نرم‌افزار RDS گسسته‌سازی به روش آبشاری میکروکانونیک انجام شد. سری زمانی بارش ۱/۵ ساعته مشاهداتی و خروجی مدل RDS ایستگاه‌های زنجان و دندی به ترتیب در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. شباهت سری زمانی بارش‌های مشاهداتی و محاسباتی، توانایی مدل آبشاری میکروکانونیک در شبیه‌سازی بارش‌های استان زنجان را نمایش می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که مقادیر حدی سری زمانی ۱/۵ ساعته نیز به خوبی شبیه‌سازی شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.9.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.96]



شکل ۶- نمودار سری زمانی بارش‌های مشاهداتی (پایین) و محاسباتی (بالا) ایستگاه سینوپتیک زنجان در مقیاس ۱/۵ ساعته
Figure 6. Graph of both the observed (lower) and the generated (upper) time series of rainfalls of Zanjan synoptic station in 1.5 hour scale



شکل ۷- نمودار سری زمانی بارش‌های مشاهداتی (پایین) و محاسباتی (بالا) ایستگاه خودکار دندی در مقیاس ۱/۵ ساعته
Figure 7. Graph of both the observed (lower) and the generated (upper) time series of rainfalls of Dandi automatic station in 1.5-hour scale

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.9.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.96]

آماره‌های در نظر گرفته شده جهت بررسی کارایی مدل RDS عبارتند از: ۱) درصد مقادیر صفر ۲) میانگین پالس‌های بارش منفرد ۳) میانگین حجم رویدادهای بارش ۴) میانگین طول رویدادهای بارش ۵) میانگین طول بازه‌های خشک. جدول‌های ۲ و ۳ به ترتیب مقادیر آماره‌های مختلف بدست آمده از مشاهدات و خروجی مدل ایستگاه‌های زنجان و دندی را ارائه می‌کند. با مقایسه ستون دوم (درصد مقادیر صفر) جداول قابل مشاهده است که با کوچک شدن مقیاس بارش، اختلاف بین مقادیر مشاهداتی (Obs) و محاسباتی (Out) افزایش می‌یابد هر چند که در مقیاس‌های مختلف بارش ایستگاه زنجان، اختلاف بین درصد مقادیر صفر موجود در سری داده‌های مشاهداتی و داده‌های تولید شده توسط RDS، کمتر از یک درصد می‌باشد. بعبارتی تعداد پالس‌های تر تولید شده بوسیله مدل، نزدیک به تعداد پالس‌های تر مشاهداتی می‌باشد و نشان‌دهنده کارایی خوب مدل آبشاری در تولید تعداد پالس‌های صفر (و بطور ضمنی تعداد پالس‌های تر) می‌باشد. مقایسه آماره‌های دیگر نیز نشان می‌دهد که به طور کلی با کوچک شدن مقیاس بارش، اختلاف بین آماره‌های مشاهداتی و محاسباتی افزایش می‌یابد و بیشترین خطا در مقیاس ۱/۵ مشاهده شده است. در جدول ۲ قابل مشاهده است که برای ایستگاه زنجان در کوچکترین مقیاس نیز اختلاف کمی بین آماره‌های مشاهداتی و محاسباتی دیده می‌شود و نتایج مدل آبشاری میکروکانونیک در منطقه نیمه خشک زنجان بهتر از نتایج مدل در مناطق معتدل (۱۸) می‌باشد. اما در جدول ۳ با وجود این که مقادیر شدت و درصد پالس‌های بارش به خوبی شبیه‌سازی شده‌اند، در شبیه‌سازی رویدادهای بارندگی اختلاف قابل توجهی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی دیده می‌شود. کوچکتر بودن دوره‌های تر شبیه‌سازی شده یکی از نقاط ضعف مدل‌های آبشاری به نظر می‌رسد که در تحقیقات دیگر نیز به آن اشاره شده است (۳،۱۸). گونتنر (۳) برای حل این مشکل در تعریف دوره‌های تر، به جای وجود حداقل یک پالس خشک، وجود حداقل ۴ ساعت بین وقوع دو بارندگی را در نظر گرفت.

جدول ۲- آماره‌های عملکرد حاصل از اجرای RDS برای ایستگاه سینوپتیک زنجان

Table 2. The performance statistics obtained from the RDS run for Zanjan synoptic station

مقیاس زمانی	درصد مقادیر صفر	میانگین مقادیر منفرد (mm)	میانگین حجم رویدادها (mm)	میانگین دوره‌های تر (hr)	میانگین دوره‌های خشک (hr)
۱۲ hr(Obs)	۸۵/۴	۲/۳	۴/۸	۲۵/۳	۱۴۶/۸
۱۲ hr(Out)	۸۴/۹	۲/۲	۴/۶	۲۵/۱	۱۴۰/۱
۶ hr(Obs)	۸۹/۹	۱/۷	۳/۶	۱۲/۹	۱۱۴/۵
۶ hr(Out)	۸۹/۱	۱/۵	۳/۵	۱۳/۶	۱۱۰/۶
۳ hr(Obs)	۹۳/۳	۱/۲	۲/۵	۶/۲	۸۴/۹
۳ hr(Out)	۹۲/۴	۱/۱	۲/۳	۶/۲	۷۴/۹
۱/۵ hr(Obs)	۹۵/۴	۰/۹	۱/۹	۳/۱	۶۳/۶
۱/۵ hr(Out)	۹۴/۶	۰/۸	۱/۷	۳/۲	۵۶/۲

جدول ۳- آماره‌های عملکرد حاصل از اجرای RDS برای ایستگاه خودکار دندی

Table 3. The performance statistics obtained from the RDS run for Dandi automatic station

مقیاس زمانی	درصد مقادیر صفر	میانگین مقادیر منفرد (mm)	میانگین حجم رویدادها (mm)	میانگین دوره‌های تر (hr)	میانگین دوره‌های خشک (hr)
۱۲ hr(Obs)	۸۴/۰	۲/۱	۴/۵	۲۶/۲	۱۳۶/۸
۱۲ hr(Out)	۸۴/۱	۲/۱	۴/۰	۲۳/۰	۱۲۰/۸
۶ hr(Obs)	۸۸/۸	۱/۵	۳/۳	۱۳/۱	۱۰۳/۹
۶ hr(Out)	۸۹/۰	۱/۵	۲/۹	۱۱/۵	۹۲/۷
۳ hr(Obs)	۹۲/۱	۱/۱	۲/۵	۷/۱	۸۲/۰
۳ hr(Out)	۹۲/۵	۱/۱	۲/۱	۵/۶	۶۸/۹
۱/۵ hr(Obs)	۹۴/۵	۰/۷	۱/۷	۳/۵	۵۹/۴
۱/۵ hr(Out)	۹۵/۰	۰/۸	۱/۴	۲/۶	۴۹/۵

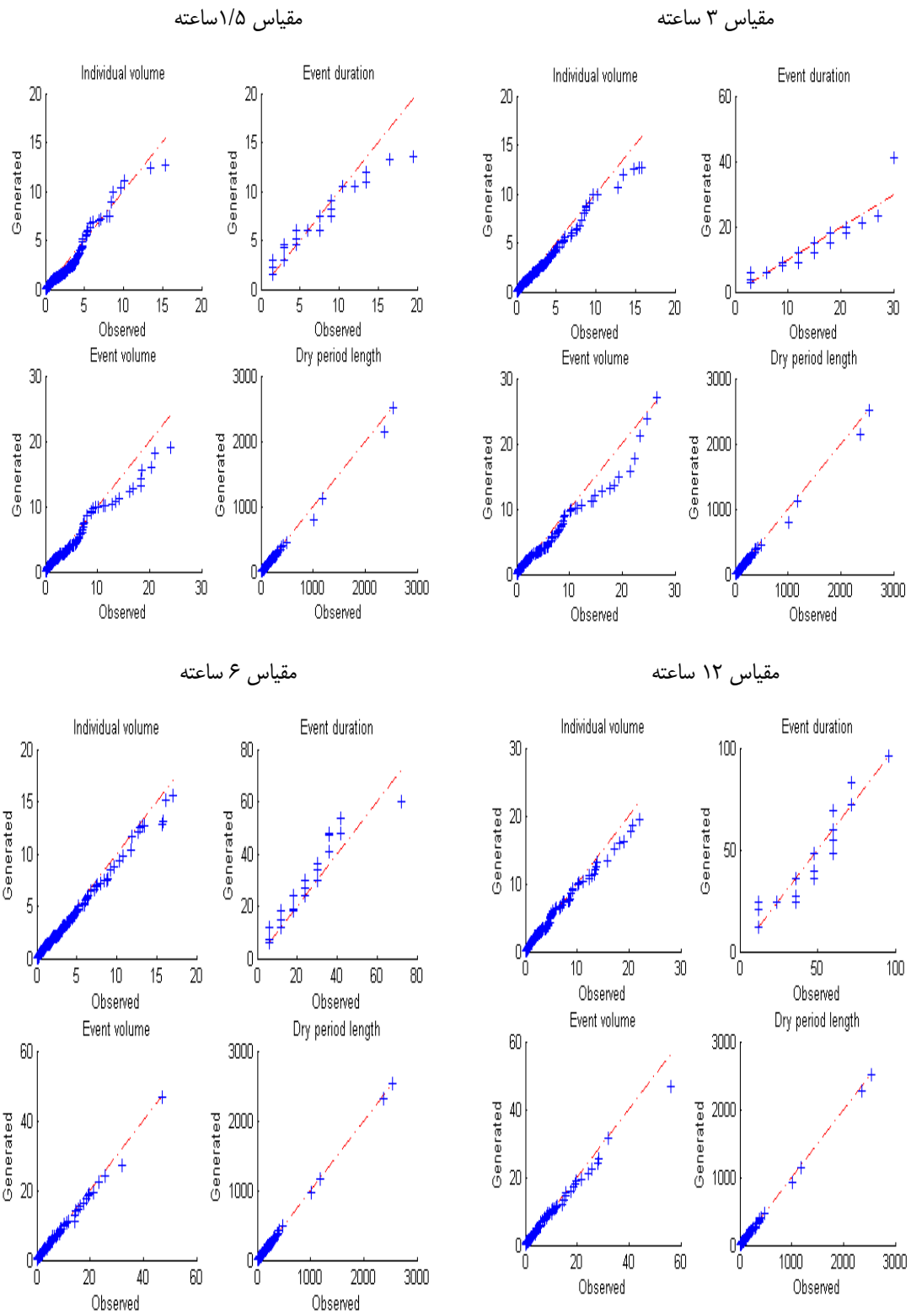
جهت مقایسه بصری توزیع آماری خصوصیت‌های بارش‌های مشاهداتی و محاسباتی ایستگاه‌های زنجان و دندی نیز نمودارهای چندکی[1] خصوصیات بارش‌های آن‌ها به ترتیب در شکل‌های ۸ و ۹ آورده شده است. مشاهده می‌گردد که مقادیر پالس‌های منفرد و طول دوره‌های خشک به خوبی توسط مدل شبیه‌سازی شده است. اما با وجود شبیه‌سازی مناسب شدت و مدت رویدادهای بارندگی‌های کوتاه مدت، شدت و مدت رویدادهای بلند مدت بعضی از مقیاس‌ها کمتر از مقادیر مشاهداتی تخمین زده شده است. همانگونه که در بالا اشاره شد، این تخمین کمتر، یکی ا ز نقاط ضعف مدل‌های آبشاری به حساب می‌آید و برای رفع آن نیز پیشنهادهایی ارائه شده است (۳،۱۸).

تشکر و قدردانی

از شرکت آب منطقه‌ای زنجان و معاونت پژوهشی دانشگاه تبریز به دلیل حمایت‌های مادی و معنوی و همچنین از اداره کل هواشناسی استان زنجان برای تهیه و ارائه داده‌های بارندگی سپاسگزاری می‌گردد.

1- Quantile-Quantile

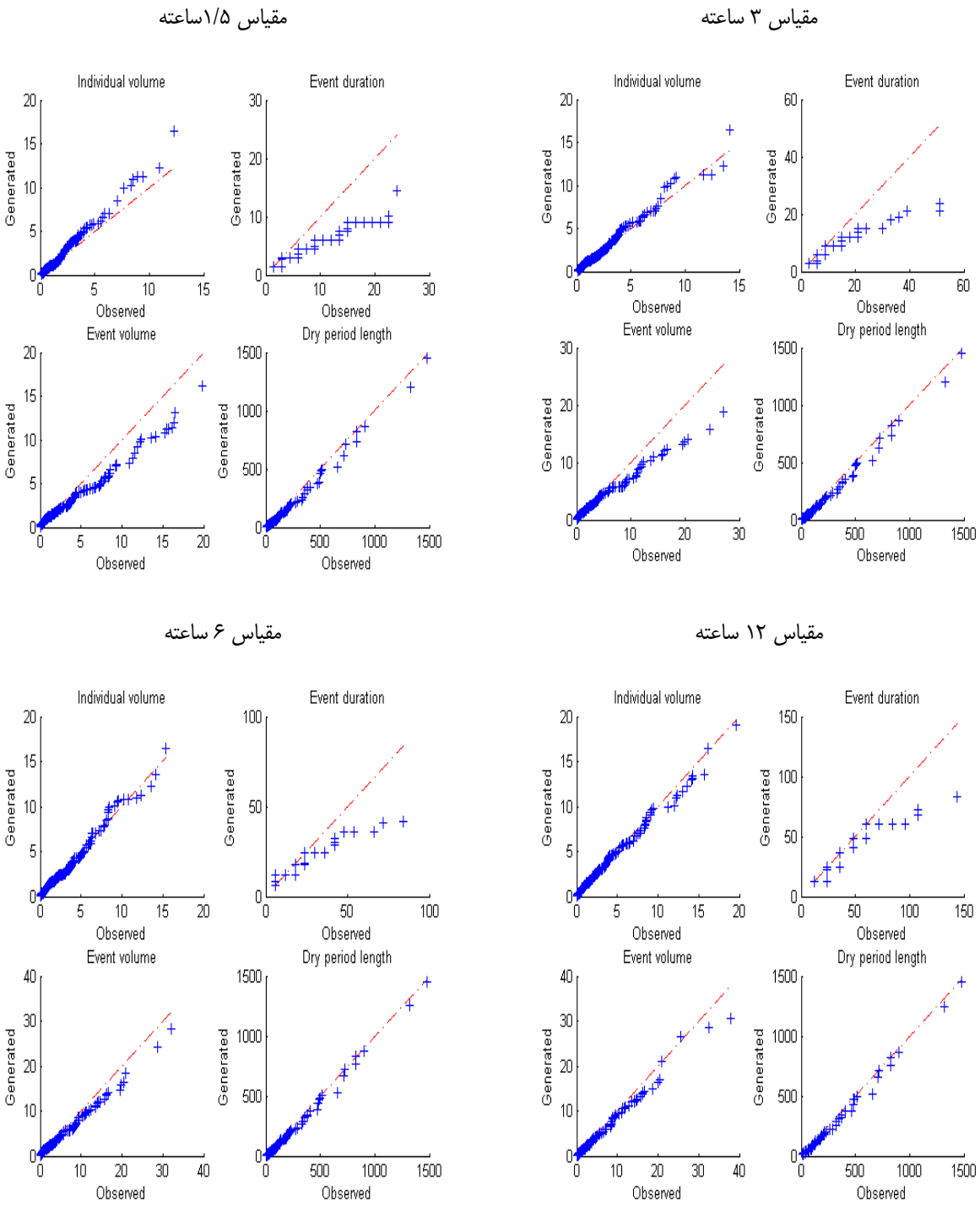
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.9.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.96]



شکل ۸- نمودار چندکی مقادیر بارش منفرد (Individual)، طول دوره‌های تر (Event duration)، مقادیر بارش دوره‌های تر (Event volume) و طول دوره‌های خشک (Dry period duration) در مقیاس‌های مختلف ایستگاه سینوپتیک زنجان

Figure 8. The quantile-quantile plots for individual values, wet events durations, wet events volumes, and dry period durations in different time scales for Zanjan synoptic station

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.9.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.96]



شکل ۹- نمودار چندکی مقادیر بارش منفرد (Individual)، طول دوره‌های تر (Event duration)، مقادیر بارش دوره‌های تر (Event volume) و طول دوره‌های خشک (Dry period duration) در مقیاس‌های مختلف ایستگاه خودکار دندی

Figure 9. The quantile-quantile plots for individual values, wet events durations, wet events volumes, and dry period durations in different time scales for Dandi automatic station

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.9.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.96]

منابع

1. Aslani, M., R. Fazl Ola and M. Ahmadizadeh. 2015. Determination of Nash Conceptual Model Parameter using auto calibration in Kasilian Watershed. Journal of Watershed Management Research, 6(12): 21-28 (In Persian).
2. Fazelifard, M.H. 2012. Disaggregation of Lighvan watershed's rainfall using microcanonical cascade model. MSc Thesis, Tabriz University, Tabriz, Iran, 96 pp (In Persian).
3. Güntner, A., J. Olsson, A. Calver and B. Gannon. 2001. Cascade-based disaggregation of continuous rainfall time series: the influence of climate. Hydrology and Earth System Sciences, 5(2): 145–164.
4. Gupta, V.K. and E. Waymire. 1990. Multiscaling properties of spatial rainfall and river flow distributions. Journal of Geophysical Research, 95(D3): 1999-2009.
5. Gupta, V.K. and E. Waymire. 1993. A statistical analysis of mesoscale rainfall as a random cascade. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 32: 251-267.
6. Hasanpour Kashani, M., M.A. Ghorbani, Y. Dinpazhouh and S. Shahmorad. 2015. Rainfall-runoff simulation in the Navrood River basin using Truncated Volterra Model and Artificial Neural Networks. Journal of Watershed Management Research, 6(12): 1-10 (In Persian).
7. Hershenhorn, J. and D.A. Woolhiser. 1987. Disaggregation of daily rainfall. Journal of Hydrology, 95: 299–322.
8. Hosseini, S.H., J. Jafari and M.A. Ghorbani. 2013. Sensitivity of the FAO-Penman Monteith reference evapotranspiration equation to change in climatic variables in the north-western Iran. Research in Civil and Environmental Engineering, 1 (01): 28-40.
9. Hubert, P. and J.P. Carbonnel. 1989. Dimensions fractales de occurrence de pluie en climat soudano-sahelien. Hydrol. Continent, 4: 3-10.
10. Janizadeh, S. and M. Vafakhah. 2017. Estimation of Event Flood Peak Discharge and Runoff Volume using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (A Case Study: Kasilian Waterched). Journal of Watershed Management Research, 8(15): 250-258 (In Persian).
11. Larsen, M.L., A. Clark, M. Noffke, G. Saltzgaber and A. Steele. 2010. Identifying the scaling properties of rainfall accumulation as measured by a rain gauge network. Atmospheric Research, 96: 149-158.
12. Licznar, P., J. Lomotowski and D.E. Rupp. 2011. Random cascade driven rainfall disaggregation for urban hydrology: an evaluation of six models and a new generator. Atmospheric Research, 99(3-4): 563-578.
13. Lisniak, D., J. Franke and C. Bernhofer. 2013. Circulation pattern based parameterization of a multiplicative random cascade for disaggregation of observed and projected daily rainfall time series. Hydrology and Earth System Sciences, 17: 2487-2500.
14. Lovejoy, S. 1981. The statistical characterization of rain areas in terms of fractals. Proceedings of the 20th Conference on Radar Meteorology, 476-483 pp. AMS, Boston.
15. Lovejoy, S. 1982. Area-perimeter relation for rain and cloud areas. Science, 216(4542): 185-187.
16. Mandelbrot, B. 1974. Intermittent turbulence on self-similar cascade: divergence of high moments and dimension on the carrier. Journal of Fluid Mechanics, 62: 331-358.
17. Mashari Eshghabad, S., A. Nohegar, I. Babaeian and C. Ershadi. 2017. Evaluating a Continuous Hydrological Model's Ability to Simulate Peak Flows with Short Time Step (Case Study: Zoshk Basin-Mashhad). Journal of Watershed Management Research, 8(16): 1-10 (In Persian).
18. Olsson, J. 1998. Evaluation of a scaling cascade model for temporal disaggregation model. Hydrology and Earth System Sciences, 2(1): 145-164.
19. Olsson, J., J. Niemczynowicz and R. Berndtsson. 1993. Fractal analysis of high-resolution rainfall time series. Journal of Geophysical Research, 98(23): 265-223.
20. Over, T.M., V.K. Gupta. 1994. Statistical analysis of mesoscale rainfall: dependence of a random cascade generator on large-scale forcing. Journal of Applied Meteorology, 33(12): 1526-1542.
21. Perica, S. and E. Foufoula-Georgiou. 1996. Model for multiscale disaggregation of spatial rainfall based on coupling meteorological and scaling descriptions. Journal of Geophysical Research, 101: 26347-26361.
22. Rupp, D.E., R.F. Keim, M. Ossiander, M. Brugnach and J.S. Selker. 2009. Time scale and intensity dependency in multiplicative cascades for temporal rainfall disaggregation. Water Resources Research, 45: 1-14.
23. Schertzer, D. and S. Lovejoy. 1987. Physical modeling and analysis of rain and clouds by anisotropic scaling multiplicative processes. Journal of Geophysical Research, 92: 9693-9714.
24. Sivakumar, B. and A. Sharma. 2008. A cascade approach to continuous rainfall data generation at point locations. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 22: 451-459.
25. Zahbiyoun, B., H. Fuladi Osguee and M.R. Omid Beigi. 2011. Test of random cascade in daily rainfall disaggregation. Journal of Civil Engineering and Surveying, 45(3): 327-323 (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.9.1]

[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.96]

Temporal Disaggregation of Rainfall Based on Microcanonical Cascade Model (A Software Development and Case Study)

Mohammad Ali Ghorbani[1], Mohammad Hasan Fazelifard[2] and Seyyed Hasan Hosseini[3]

1- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran
2- Ph.D. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran
(Corresponding author: mhfazelifard@yahoo.com)
3- Ph.D. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran
Received: July 7, 2016 Accepted: January 15, 2017

Abstract

Rain gauge stations that measure fine scale rainfall are mainly limited in number or in the length of the recorded data. Therefore, temporal disaggregation models have been considered because of their ability in generating fine scale data from coarse scale measurements of rainfall. In this study, microcanonical cascade model, which is based on the scaling properties of rainfall and constant volume of rainfall was used for the disaggregation purposes of rainfall. To this end, a software package was primarily developed based on the existing theory and then applied to rainfall data from two weather stations located in the Zanjan Province. In order to evaluate the performance of the microcanonical cascade model, comparisons were conducted between the observations and model results using some statistics including percentage of zero-values, volume of individual values, duration of events, volume of events and length of dry periods between events of rainfall. It was concluded that the use of microcanonical cascade model for disaggregation of daily rainfall to 12, 6, 3 and 1.5-hour rainfall will bring favorable results.

Keywords: Microcanonical cascade model, Rainfall, Scaling, Temporal disaggregation, Zanjan Province

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.9.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.96]