



دانشگاه گورگان علمی و فناوری

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک  
جلد شانزدهم، شماره چهارم، ۱۳۸۸  
www.gau.ac.ir/journals

گزارش کوتاه علمی

## شبیه‌سازی بارندگی ماهانه و سالانه در مناطق با طول دوره آماری کم و ضریب تغییرات بالا (مطالعه موردی: جنوب شرق درگز)

\*مینا حسین‌پورطهرانی<sup>۱</sup>، بیژن قهرمان<sup>۲</sup> و کامران داوری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد،

<sup>۲</sup>استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، <sup>۳</sup>دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۸۸/۱/۳۱؛ تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۰/۹

### چکیده

بهره‌برداری از سیستم‌های منابع آب مستلزم مقادیر بارندگی به‌عنوان یکی از ورودی‌های سیستم مخزن سد می‌باشد. چنان‌چه طول دوره بارندگی تاریخی کوتاه باشد با استفاده از تولید مصنوعی بارندگی می‌توان مبادرت به ایجاد توالی استوکاستیکی با طول دوره آماری بلندمدت نمود. این مقاله رویکردی است به شبیه‌سازی استوکاستیکی توالی‌های سالانه و ماهانه بارندگی که سعی در ایجاد مقادیری با وابستگی‌های طولانی‌مدت آماری و توابع توزیعی مشابه مقادیر تاریخی دارد. بارندگی ماهانه و سالانه در ایستگاه درگز به‌عنوان ایستگاه باران‌سنجی سد ایلانجق واقع در خراسان‌شمالی با طول دوره آماری ۱۵ سال، با استفاده از مدل‌های استوکاستیکی به‌طور مناسبی شبیه‌سازی شده است. فرآیند مارکف مرتبه اول برای تولید جریان سالانه استفاده شده در حالی‌که از روش فرگمنت برای تولید بارندگی ماهانه استفاده شده است. مقایسه ویژگی‌های آماری مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر تاریخی و مشابهت‌های آماری در هر دو مدل ماهانه و سالانه نسبت به مقادیر تاریخی درستی مدل تولید سالانه و ماهانه بارندگی را تأیید می‌کند. با توجه به شرایط موجود در مسأله (طول دوره آماری کوتاه و ضریب تغییرات بالا)، روش فرگمنت نتایج خوبی را در این مطالعه نشان می‌دهد که می‌تواند برتری استفاده این روش را در شرایط نامطلوب تأیید کند.

**واژه‌های کلیدی:** شبیه‌سازی بارندگی، مدل ماهانه، روش فرگمنت، مدل سالانه، مارکف مرتبه اول

\* مسئول مکاتبه: mihp\_tehrani@yahoo.com

## مقدمه

از آنجایی که بارندگی به‌عنوان یکی از ورودی‌های مهم به سیستم‌های منابع آب محسوب می‌گردند، تهیه مدل‌های استوکاستیکی مناسب جهت تعیین بهره‌برداری بهینه سیستم ضروری است. امروزه استفاده از روش تفکیک‌کننده در تحلیل مربوط به سیاست بهره‌برداری از مخازن چندگانه به‌طور وسیعی گسترش یافته و به‌صورت یک ابزار مفید در هیدرولوژی به‌خصوص در سری‌های فصلی به‌علت پیچیده بودن ماهیت آنها و آنالیز و مدل‌سازی این سری‌ها کاربرد دارد (بارتولینی و سالاس، ۱۹۹۳). مدل‌های پایه والنسیا و شاگ (۱۹۷۳)، مبسوط مجیا و راسل (۱۹۷۶) و متراکم لین (۱۹۷۹) (به نقل از سالاس و همکاران، ۱۹۸۸) سه شکل عمده مدل‌های تفکیکی هستند. علاوه‌بر مدل‌های یاد شده، روش فرگمنت به‌عنوان یکی از روش‌های تفکیکی نیز استفاده شده است. به این ترتیب که جهت تعیین سری‌های ماهانه، سری‌های سالانه تولید شده را با فرگمنت‌های<sup>۱</sup> ماهانه یا مشاهداتی ترکیب می‌کنند. فرگمنت ماهانه، نسبت مقادیر ماهانه به سالانه می‌باشد که این روش توسط هارمس و کمپیل (۱۹۶۷) با عنوان مدلی دو ردیفی در سال ۱۹۸۲ به‌عنوان روش فرگمنت تغییر نام پیدا کرد و به‌وسیله پورتر و پینک (۱۹۹۱) به‌عنوان روش فرگمنت مصنوعی بیان شد (سریکانتان و همکاران، ۲۰۰۶). بررسی منابع نشان می‌دهد که تولید داده در مناطق فاقد و یا کمبود آمار همیشه با چالش‌های متعددی همراه بوده است. هرچه کمبود آمار شدیدتر شود کارایی روش‌های پیچیده کاهش می‌یابد. بنابراین این پرسش که «اگر در منطقه‌ای که تنها دارای یک ایستگاه باران‌سنجی و با آمار محدود و ضریب تغییرات بالا وجود داشته باشد چگونه می‌توان داده بارندگی تولید کرد تا از آن در بهره‌برداری از مخزن استفاده کرد» هنوز در منابع پاسخ مناسبی داده نشده است. بنابراین در این مقاله کارایی تلفیق دو روش ساده در یک مسأله بهره‌برداری از مخزن آزموده شد تا بتواند در شرایط مشابه قابل پیشنهاد باشد. در اینجا از میان روش‌های مختلف تولید داده سالانه، فرآیند مارکف اول به‌عنوان یکی از مدل‌های خود هم‌بسته و برای تولید ماهانه با توجه به مزیت‌های مدل‌های تفکیکی نسبت به سایر مدل‌ها از مدل فرگمنت به‌دلیل سهولت در محاسبه و حفظ توأم خصوصیات آماری در دو سطح سالانه و ماهانه و وابستگی‌های درون‌سالی به جریان فصلی شبیه‌سازی شده (ماهپالا و پررا، ۱۹۹۶؛ پرویز، ۲۰۰۶) استفاده شده است.

### مواد و روش‌ها

شبیه‌سازی بارندگی ماهانه و سالانه در ایستگاه بارن‌سنجی درگز: ایستگاه باران‌سنجی درگز به‌علت نزدیک‌ترین ایستگاه به مخزن سد ایلانجق با ۱۵ سال آمار قابل قبول و ضریب تغییرات سالانه ۳/۶۵ که از ویژگی‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد به‌عنوان ایستگاه باران‌سنجی طرح قرار گرفت. روش به‌کار رفته برای شبیه‌سازی بارندگی ماهانه و سالانه، استفاده از مدل مارکف مرتبه اول با مدل تبدیلی W-H جهت تولید بارندگی سالانه و تجزیه مدل سالانه به مقادیر فصلی و ماهانه با استفاده از روش فرگمنت می‌باشد.

تولید مقادیر سالانه با استفاده از روش مارکف: مدل مارکف مرتبه اول (رابطه ۱) برای تولید داده‌های سالانه تک ایستگاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد (سریکانتان و مک‌ماهون، ۱۹۸۲):

$$X_t = rX_{t-1} + (1-r)^{1/2} \varepsilon_t \quad (1)$$

که  $X_t$  مقدار بارندگی استاندارد شده (میانگین صفر و انحراف معیار ۱)،  $\varepsilon_t$  خطای نرمال تصادفی با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ در سال  $t$  و  $r$  ضریب خود همبستگی با تأخیر ۱ می‌باشد. بر حسب  $X_t$  و با فرض تابع توزیع نرمال، مقدار بارندگی در سال  $t$  ام است:

$$x_t = \bar{x}_t + sX_t \quad (2)$$

که  $\bar{x}$  و  $s$  به ترتیب میانگین و انحراف معیار بارندگی سالانه  $x$  هستند. چنانچه داده‌های بارندگی سالانه دارای چولگی باشند، چولگی داده‌ها با استفاده از مدل تبدیل ویلسون-هیلفرتی (W-H) نشان داده می‌شود (فایرینگ و جکسون، ۱۹۷۱). بنابراین  $\varepsilon_t$  در رابطه ۱ با مقدار  $\eta_t$  جایگزین می‌گردد:

$$\eta_t = \frac{2}{\gamma_\eta} \left[ \left( 1 + \frac{\gamma_\eta \varepsilon_t}{6} - \frac{\gamma_\eta^2}{36} \right)^3 - 1 \right] \quad (3)$$

که  $\eta_t$  تابع توزیع نرمال تصادفی با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ و  $\gamma_\eta$  ضریب چولگی مربوط به خطای تصحیح شده  $\eta_t$  در رابطه ۳ است که به‌صورت رابطه ۴ محاسبه می‌شود:

$$\gamma_\eta = \frac{(1-r^3)}{(1-r^2)^{3/2}} \gamma \quad (4)$$

مدل تولید بارندگی ماهانه: در این مطالعه جهت تعیین سری‌های ماهانه، سری‌های سالانه تولید شده با روش مارکف را با فرگمنت‌های ماهانه یا مشاهداتی ترکیب می‌کنند، به این ترتیب که ابتدا مقادیر فصلی تاریخی بر مقادیر سالانه مربوطه تقسیم و به دنبال آن مقادیر ماهانه تاریخی بر مقادیر فصلی تقسیم و به عبارتی نرمال می‌شود به گونه‌ای که مجموع بارندگی در هر دو مرحله نرمال‌سازی برابر ۱ گردد. سپس از یک دوره آماری بلندمدت سالانه تولید شده به‌عنوان مثال ۳۰۰ سال، ۳۰۰ مجموعه مجزا با ۱۲ مقدار برای هر سال به‌دست می‌آید. از طرفی خاصیت استوکاستیکی بارندگی با تولید داده‌های تصادفی بین صفر و یک، با توجه به تابع توزیع فصلی و ماهانه تاریخی به‌عنوان داده‌های نرمال تصادفی حفظ می‌شود. از ضرب مقادیر سالانه تولیدی از رابطه ۱ در مقادیر تصادفی فصلی نرمال مقادیر فصلی و از ضرب مقادیر فصلی تولیدی از مرحله قبل در مقادیر تصادفی ماهانه نرمال، مقادیر ماهانه واقعی به‌دست می‌آید.

ارزیابی مدل تولید سالانه و ماهانه بارندگی ایستگاه درگز: جهت ارزیابی مدل تولید بارندگی ماهانه، میانگین، انحراف معیار، ضریب چولگی و ضریب همبستگی با تأخیر یک و مقادیر حدی و فراوانی نسبی نبود بارندگی در هر ماه محاسبه گردید و ضریب همبستگی میان ماه  $t$  و ماه  $t-1$  محاسبه شد. برای ارزیابی مدل تولید سالانه مقادیر حدی حداکثر و حداقل و محدوده تطبیقی نیز موردنظر قرار می‌گیرد.

$$R = \max_k \{D_k\} - \min_k \{D_k\} \quad (5)$$

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i \quad (6)$$

$$D_k = \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x}) \quad (7)$$

که  $R$  محدوده تطبیقی،  $\bar{x}$  میانگین مقادیر بارندگی،  $x_i$  میزان بارندگی سالانه و  $n$  تعداد داده‌های سالانه و  $i$  شماره سال مورد نظر و  $k$  شماره آخرین سال مورد نظر از  $i$  سال قبلی است. جهت کم کردن وابستگی مقادیر تصادفی در تولید داده‌های سالانه، تولید آنها در ۱۵ مرتبه تکرار می‌شوند.

## نتایج و بحث

نتایج مدل سالانه و ماهانه: نتایج آزمون سطح اطمینان پارامترهای شبیه‌سازی شده سالانه برابر طول تاریخی و طول آماری ۳۰۰ سال براساس ویژگی‌های آماری ذکر شده در مبحث ارزیابی در حالت اول

## مینا حسین پورطهرانی و همکاران

تنها در ۵ مورد تخمینی (۸ درصد)، بقیه موارد در محدوده اطمینان ۹۵ درصد واقع هستند و در حالت بیشتر از مقادیر تاریخی مطابق جدول ۱، از ۱۵ تکرار و ۷ عامل ارزیابی تنها ۸ مورد (۷ درصد) در محدوده اطمینان قرار ندارند. همچنین درستی مدل با مقایسه پارامترهای سالانه تاریخی و شبیه‌سازی شده به دست آمده از ۱۵ تکرار با طول آماری برابر طول آماری تاریخی و طول آماری ۳۰۰ سال تأیید می‌شود. در مدل ماهانه، از آنجایی که بارندگی ماهانه معمولاً با چولگی همراه است، آزمون دقیق آماری برای سطح اطمینان امکان‌پذیر نمی‌باشد (سریکانتان و مک‌ماهون، ۱۹۸۲). با توجه به تابع توزیع نرمال ماهانه در ایستگاه باران‌سنجی درگز، آزمون تقریبی با استفاده از میانگین و انحراف معیار ماهانه انجام می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که به غیر از ۵ مورد (۶ درصد)، میانگین و انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده در ۱۵ تکرار در حدود اطمینان مورد نظر قرار گرفته‌اند.

جدول ۱- آزمون سطح اطمینان پارامترهای مدل شبیه‌سازی شده سالانه با طول آماری ۳۰۰ سال برای ایستگاه درگز.

شماره تکرار	میانگین	انحراف معیار	حداکثر	حداقل	ضریب همبستگی	ضریب چولگی	حدود تطبیقی
۱	۲۰۹/۵۰	۵۱/۳۴	۱/۶۳	۰/۲۹	۰/۳۸	-۰/۰۸	۶/۸۶
۲	۲۰۱/۷۲	۴۷/۰۶	۱/۷۲	۰/۴۸°	۰/۳۱	۰/۰۹	۷/۷۹
۳	۲۰۳/۴۷	۵۰/۴۶	۱/۶۷	۰/۱۱	۰/۳۹	-۰/۰۷	۷/۳۳
۴	۲۰۱/۸۳	۴۹/۷۱	۱/۷۳	۰/۱۴	۰/۴۳	-۰/۲۳°	۸/۹۳*
۵	۲۰۱/۵۲	۵۱/۰۹	۱/۶۸	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۰۳	۶/۰
۶	۲۰۲/۴۴	۴۸/۳۳	۱/۷۵	۰/۴۴	۰/۳۱	۰/۲۳°	۷/۹۲
۷	۲۰۸/۳۲	۴۹/۰۶	۱/۷۹	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۰۵	۷/۸۴
۸	۲۰۱/۰۹	۴۳/۵۰°	۱/۶۲	۰/۲۹	۰/۲۵	-۰/۱۶	۶/۲۲
۹	۲۰۵/۹۵	۵۱/۴۲	۱/۶۸	۰/۲۳	۰/۴۰	-۰/۱۳	۷/۰۷
۱۰	۲۰۵/۷۶	۴۴/۶۴°	۱/۵۹	۰/۴۱	۰/۲۷	۰/۰۳	۵/۲۱
۱۱	۲۰۲/۶۲	۴۹/۸۳	۱/۷۲	۰/۲۵	۰/۳۹	-۰/۰۷	۵/۳۹
۱۲	۲۰۲/۹	۵۰/۵۰	۱/۵۷	۰/۳۰	۰/۳۵	۰/۰۲	۵/۸۷
۱۳	۲۰۴/۵۳	۴۹/۸۴	۱/۵۷	۰/۲۳	۰/۳۲	-۰/۰۱	۵/۲۲
۱۴	۲۰۳/۳۶	۵۰/۷۲	۱/۶۵	۰/۳۵	۰/۳۴	۰/۰۵	۸/۴۴
۱۵	۱۹۷/۷۶°	۵۱/۱۹	۱/۷۵	۰/۳۰	۰/۳۹	۰/۰۱	۷/۳۹
میانگین	۲۰۳/۵۱	۴۹/۲۴	۰/۶۷	۰/۳۰	۰/۳۵	-۰/۰۲	۶/۹
انحراف معیار	۲/۸۶	۲/۳۴	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۱۱	۱/۱۵
سطح اطمینان ۹۵ درصد	(۱۹۸/۸۳-۲۰۸/۲۰)	(۴۵/۴۰-۵۳/۰۹)	(۱/۵۶-۱/۷۹)	(۰/۱۴-۰/۴۶)	(۰/۲۶-۰/۴۳)	(۰/۱۹-۰/۱۶)	(۵/۰۲-۸/۷۹)

\*مقادیر خارج از محدوده اطمینان ۹۵ درصد.

### بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تولید بارندگی سالانه برابر با طول دوره آماری تاریخی نشان داد که مدل سالانه تولید بارندگی با طول آماری برابر مقادیر تاریخی، مدل مناسبی است چرا که خصوصیات آماری مورد نظر را حفظ می‌کند. همچنین نتایج به دست آمده از محدوده تطبیقی بیانگر آن بود که طول دوره شبیه‌سازی شده در پارامتر محدوده تطبیقی تأثیر زیادی دارد به گونه‌ای که چنانچه طول دوره شبیه‌سازی شده برابر تعداد سال‌های آماری باشد، پارامتر محدوده تطبیقی به مقادیر واقعی نزدیک است و هرچه طول دوره شبیه‌سازی شده بیشتر باشد تفاوت این دو مقدار بیشتر می‌شود اما انحراف معیار مقادیر ایجاد شده با طول آماری بیشتر کمتر می‌گردد. نزدیکی مقادیر به دست آمده از مدل شبیه‌سازی شده نسبت به مقادیر تاریخی در مدل ماهانه بیانگر آن است که مدل به‌طور قابل قبولی پارامترهای ماهانه را حفظ کرده است. سادگی و سرعت بالای آن در محاسبه از مزایای این روش به حساب می‌آید و بنابراین جهت تولید داده، این روش می‌تواند به‌عنوان یکی از روش‌های با محاسبه‌های سریع جایگزین سایر روش‌های تولید داده گردد (سریکانتان و مک‌ماهون، ۱۹۸۲). آنچه در نتیجه‌گیری کلی دارای اهمیت می‌باشد این است که با توجه به این‌که مطالعه اصلی در این مطالعه بهره‌برداری از سیستم مخزن سد بوده و بارندگی به‌عنوان یکی از ورودی‌های سیستم شبیه‌سازی شده است، ناچار به استفاده از آمار محدود ۱۵ ساله ایستگاه بارندگی مرتبط با مخزن مورد نظر بودیم و با توجه به شرایط موجود در مسأله، روش فرگمنت نتایج خوبی را نشان داد که می‌تواند مزیت استفاده این روش را در شرایط نامطلوب (طول دوره آماری کوتاه و ضریب تغییرات بالا) تأیید کند. نتایج این تحقیق گامی رو به جلو تلقی می‌شود که چنین شرایطی استفاده تلفیقی از روش‌های در واقع ساده می‌تواند کارایی مناسبی داشته باشد.

### منابع

1. Bartolini, P., and Salas, J.D. 1993. Modeling of streamflow Processes at different Scales, Water Resour. Res. 29: 8. 2573-2587.
2. Fiering, M.B., and Jackson, B.B. 1971. Synthetic Hydrology, Water Resour. Monogr., Amer. Geophys. Union, 99p.
3. Harms, A.A., and Campbell, T.H. 1967. An extension to the Thomas-Fiering model for the sequential generation of streamflow, Water Resour. Res. 3: 3. 653-661.

4. Lane, W.L. 1979. Applied stochastic techniques (LAST computer package), user's manual, Division of Planning Technical Services, Bureau of Reclamation, Denver.
5. Maheepala, S., and Perera, B.S.C. 1996. Modeling hydrologic data generation by disaggregation, *J. Hydro.* 178: 277-291.
6. Mejia, J.M., and Rousselle, J. 1976. Disaggregation models in hydrology revisited, *Water Resour. Res.* 12: 2. 185-186.
7. Parviz, L. 2006. Temporal and Spatial Streamflow Forecasting Using Disaggregation Model, A thesis submitted to the Graduate Studies Office for the degree of Master of Science in Water Resources Engineering. Tehran University, 150p. (In Persian).
8. Porter, J.W., and Pink, B.J. 1991. A method of synthetic fragments for disaggregation in stochastic data generation. *Proc., Hydrology and Water Resources Symp., Institution of Engineers, Australia*, Pp: 187-191.
9. Salas, J.D., Delleur, J.W., Yevjevich, V., and Lane, W.L. 1988. Applied Modeling of Hydrologic Time Series, *Water Resour. Publ., Littleton, Colo., Third Printing*, 484p.
10. Srikanthan, R., and McMahon, T.A. 1982. Simulation of annual and monthly rainfalls-a preliminary study at five Australian station, *J. Applied methodology*, 21: 1472-1478.
11. Srikanthan, R., Sharma, A., and McMahon, T.A. 2006. Comparison of two nonparametric alternatives for stochastic generation of monthly rainfall, *J. Hydro. Engin. ASCE*, 11: 3. 222-229.
12. Valencia, D., and Schaake, J.C. 1973. Disaggregation processes in stochastic hydrology, *Water Resour. Res.* 9: 3. 580-585.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 16(4), 2009*  
[www.gau.ac.ir/journals](http://www.gau.ac.ir/journals)

## **Simulation of annual and monthly rainfall with short-term statistical period and high coefficient of variation (Case study: East-West of Dargaz)**

**\*M. Hosseinpoor Tehrani<sup>1</sup>, B. Ghahraman<sup>2</sup> and K. Davary<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Former M.Sc. Student, Dept. of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad,

<sup>2</sup>Professor, Dept. of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad,

<sup>3</sup>Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

### **Abstract**

In the operation of water resources system, adequate continuous rainfall data are required as inputs into the reservoirs. If historical records are limited, they are extended by generating synthetic rainfall sequences with longer records. Stochastic monthly and annual rainfall sequences simulation is considered in this paper which tries to generate data with long-term dependence and preserve historical records distribution function. Annual and monthly rainfalls for Dargaz station with 15 years records as representative rainfall station for Illanjogh dam in the north of Khorasan province were satisfactorily simulated by stochastic models. A first-order Markov process is used for annual data, whereas the method of fragment is used for monthly data. Comparison of the simulated, and historical data, and statistical similarity of the annual and monthly models compared with the historical one, confirmed the correct performance of the annual and monthly rainfall production model. Considering present conditions in this problem (short-term statistical period of rainfall with high coefficient of variation) showed that fragment method took an acceptable result such that could confirm the advantage of its usage in undesirable conditions.

**Keywords:** Rainfall simulation, Monthly model, Fragment, Annual model, First-order Markov process

---

\* Corresponding Author; Email: [mihp\\_tehrani@yahoo.com](mailto:mihp_tehrani@yahoo.com)