



استفاده از مدل فرآیند نقطه‌ای زمانی-مکانی STNSRP در تولید بارش روزانه در مناطق بدون آمار بارش

محمود ذاکری نیری^{۱*} و سعید گلپان^۲

استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر

استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شاهرود

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۲۱؛ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۲/۱۰/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۰۹

چکیده

آمار و داده‌ها در علم هیدرولوژی بعنوان اصلی‌ترین و اولین گام محاسبات و بررسیها می‌باشد. همواره نبود یا کمبود اطلاعات، عدم تحلیل صحیح و نتایج قابل استفاده جهت پیش‌بینی را منجر می‌شود. در مواقعی که آمار با کیفیت مناسب و یا با طول کافی در دسترس نمی‌باشد، استفاده از سری‌های زمانی مصنوعی بارش تولید شده اهمیت ویژه‌ای دارد. در اکثر مطالعات انجام شده، از روشهای آماری مانند مدل‌های زنجیره مارکوفی و ARIMA برای تولید بارش در یک ایستگاه استفاده می‌شود. با توجه به اهمیت و تأثیر زیاد توزیع مکانی بارندگی در خصوصیات هیدروگراف خروجی از یک حوضه آبریز، تولید بارش در چند ایستگاه به صورت همزمان اهمیت ویژه‌ای دارد. در این تحقیق، از مدل فرآیند نقطه‌ای زمانی-مکانی (STNSRP; Spatial-Temporal Neyman-Scott Rectangular Pulses) برای تولید بارش در مقیاس زمانی روزانه و با در نظر گرفتن وابستگی مکانی بارش در حوضه آبریز والنات گالچ کشور آمریکا برای یک سری زمانی بارش طولانی مدت (۵۰ ساله) در ۱۴ ایستگاه باران سنجی استفاده شد. سپس آماره‌های مختلف مانند میانگین، واریانس و احتمال روز خشک برای بارش تولید شده و مشاهداتی در هر یک از ایستگاه‌ها در ماه‌های مختلف سال با هم مقایسه شد. همچنین همبستگی مکانی بارش در ایستگاه‌های مجاور برای دوره مشاهداتی و شبیه سازی شده با یکدیگر مقایسه شد. نتایج نشان دادند که مدل به خوبی توانایی بازتولید آماره‌هایی مانند میانگین، واریانس و احتمال وقوع روزهای خشک را برای ایستگاه‌های مختلف در منطقه دارد.

کلمات کلیدی: تولید بارش روزانه؛ مدل فرآیند نقطه‌ای؛ مدل زمانی-مکانی؛ مدل STNSRP.

۱- مقدمه

رسو و همکاران^۱ [۸]، از مدل زمانی-مکانی GDSTM برای پیش‌بینی بارش در منطقه رم در کشور ایتالیا استفاده کردند. مدل GDSTM دارای ۱۳ پارامتر می‌باشد که مقادیر این پارامترها با استفاده از روش ممنتوم^۲ و با حداقل کردن یک تابع هدف (مجموع وزنی مربعات تفاوت بین مقادیر بارش مشاهداتی و بارش بدست آمده از مدل) بدست می‌آید. بارش مشاهداتی توسط رادار هواشناسی Polar 55C اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. سپس داده‌های بارش پیش‌بینی شده وارد مدل هیدرولوژیکی WFIUH شده و رواناب پیش‌بینی شده بدست می‌آید. ویلمز^۳ [۹]، یک روش استوکستیک برای تولید

تولید سری زمانی تصادفی بارندگی بوسیله مدل‌های تولید بارش برای ارزیابی ریسک و قابلیت اعتماد بسیاری از طرح‌های مهندسی عمران مانند طراحی و یا ارتقاء شبکه فاضلاب، طراحی سازه‌های هیدرولیکی مانند سد و دیواره‌های سیل بند ضروری است. با توجه به محدودیت سری‌های زمانی بارندگی مشاهداتی از نظر طول دوره آماری و یا عدم ثبت داده‌های بارش (عدم وجود ایستگاه باران سنجی) در مناطق مورد بررسی پروژه‌های عمرانی، اهمیت تولید سری‌های زمانی بارندگی بیش از پیش نمایان می‌شود. از اینرو، در سالهای اخیر تلاش‌های بسیار زیادی برای توسعه مدل‌های استوکستیک تولید بارش برای شبیه سازی سری‌های زمانی بلند مدت بارندگی صورت گرفته است.

¹ Russo et al.

² method of moments

³Willemis

نخستین بار بوسیله کاکس و ایشام^۶ [۶] توسعه داده شد. از جمله مدل‌های فرایند نقطه‌ای مورد استفاده می‌توان به

۱- فرایند پواسن نوفه سفید^۷، ۲- فرایند پواسون با پالس مستطیلی^۸ و ۳- فرایند نیومن-اسکات با پالس مستطیلی^۹ اشاره کرد. مدل نیومن-اسکات با پالس مستطیلی به سه دلیل بهتر از سایر مدلها می‌باشد: ۱- دارای ساختار فیزیکی بهتری بوده و در نتیجه تفسیر و تطبیق پارامترها با مفاهیم فیزیکی ساده‌تر می‌باشد. ۲- آماره‌های تاریخی بارش اندازه-گیری شده را در سطوح مختلف تجمعی (بالتر از ساعتی) حفظ می‌نماید. ۳- تعداد پارامترهای مورد استفاده در مدل برای بهینه شدن حداکثر پنج پارامتر می‌باشد که موجب ساده‌تر شدن محاسبات مربوطه برای برآورد آنها می‌شود [۵].

با توجه به محاسن ذکر شده در بالا، در این تحقیق از مدل NSRP که یکی از متداولترین مدل‌های تولید بارش می‌باشد، برای تولید سری زمانی بارش روزانه در چند ایستگاه بطور همزمان استفاده خواهد شد. این مدل اولین بار برای تولید بارش در یک ایستگاه [۵] توسعه داده شده و توسط افراد زیادی مورد استفاده قرار گرفت. برای مثال کوپرتویت^{۱۰} [۴] از این مدل برای تولید بارش در ۱۱۲ ایستگاه باران سنجی در کشور انگلستان استفاده کرد و پارامترهای بدست آمده برای مدل را منطقه‌ای^{۱۱} کرد. با توجه به اهمیت توزیع مکانی بارندگی بخصوص در حوضه‌های متوسط و بزرگ و حوضه-های کوهستانی، کوپرتویت [۲] مدل NSRP زمانی-مکانی^{۱۲} (STNSRP) را توسعه داد. وی یک مدل ساده زمانی مکانی تصادفی تولید بارش ارائه داد که در آن هر سلول بارش بطور تصادفی به یکی از کلاسهای بارش طبقه بندی می‌شود. پارامترهای هر سلول بارش به نوع سلول بارش بستگی دارند بطوری که در هر سلول شدت و مدت بارش دارای همبستگی می‌باشند. مدل توسعه داده شده به داده‌های ساعتی ۶ ایستگاه در حوضه Thames در انگلستان برازش داده شد، و نتایج قابل قبولی بین خواص سری زمانی تولید شده و

بارش در مقیاس زمانی و مکانی برای حوضه‌های کوچک و شهری توسعه داد. در این روش از توزیع مکانی شدت بارش در یک سلول بارش مجزا که توسط لوکس^۴ بدست آمد، استفاده شده است. برای کالیبره کردن پارامترهای مدل مکانی، ابتدا برآورد اولیه‌ای با استفاده از خواص سری‌های زمانی بارندگی در شبکه متراکم ایستگاه‌های باران‌سنجی انجام می‌شود و سپس از روش نیمه اتوماتیک فیلتر کالمن در برآورد نهایی مقادیر پارامترها استفاده می‌شود. از این روش برای حوضه‌های کوچک که دارای شبکه ایستگاه‌های باران سنجی متراکم هستند، استفاده می‌شود (حوضه شهری Antwerp به مساحت ۱۰۰ کیلومتر مربع با فاصله ایستگاه‌های به طور متوسط ۳ کیلومتر می‌باشد). بطور کلی مدل‌های تولید بارش را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد:

الف- مدل‌های سری زمانی منفصل: وقتی هدف مدل‌سازی تولید سری زمانی بارندگی با گام زمانی منفصل (روز یا ساعت) باشد، از این مدل‌ها استفاده می‌شود. مدل‌سازی در این نوع مدلها در دو مرحله انجام می‌شود. ابتدا با بکارگیری یک مدل زنجیره مارکوف رشته‌های دوره‌های خشک و تر داده‌ها مشخص می‌شوند و سپس با استفاده از توزیع‌های احتمالی مقدار بارش روزهای تر (بیش از ۰/۲ میلیمتر) تخصیص می‌یابد. برای مثال در [۷] الگوریتمی پیشنهاد شده است که در آن وقوع بارش بوسیله مدل MMM^۵ و مقدار بارش در روزهای تر بوسیله یک روش غیرپارامتری شرطی محاسبه می‌شود. آنها این روش را برای یک شبکه باران سنجی متشکل از ۳۰ باران سنج در اطراف سیدنی استرالیا بکار بردند و نتایج نشان داد که روش آنها آمارهای مشاهداتی را به خوبی حفظ می‌کند.

ب- مدل‌های سری‌های زمانی متصل (فرایند نقطه‌ای): از این نوع مدل‌ها برای پیش‌بینی فرایندهای بارش به صورت زمان پیوسته بهره گرفته می‌شود. به عبارت دیگر، بوسیله این مدلها به صورت غیرمستقیم دوره‌های تر و خشک مشخص شده و سپس مقادیر تصادفی بارش در رابطه با دوره‌های تر تعیین می‌شوند. بطور کلی، تئوری مدل‌های فرایند نقطه‌ای

⁶ Cox and Isham

⁷ Poisson white noise process

⁸ Poisson rectangular pulses process

⁹ Neyman-Scott rectangular pulses process

¹⁰ Cowperrwait

¹¹ Regionalized

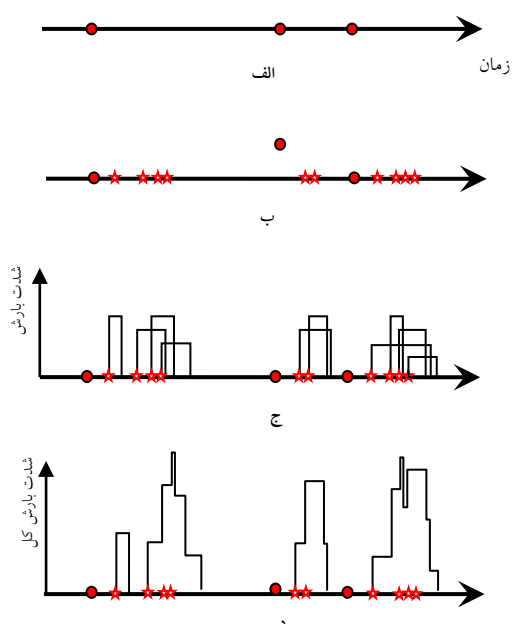
¹² Space-Time NSRP

⁴ Luyckx

⁵ Moded Makov Model

فرایندی آماری است که در آن تعداد وقایع اتفاق افتاده و زمان وقوع آنها را در یک بازه زمانی خاص بررسی می‌کند. زمان بین هر دو واقعه متوالی مستقل و دارای توزیع نمایی می‌باشد.

هر طوفان i از تعدادی سلول بارش تصادفی با مشخصات $\{U_{i,j}, V_{i,j}, S_{i,j}, L_{i,j}, X_{i,j}, R_{i,j}\}$ تشکیل می‌شود که در هر طوفان i داریم:



شکل ۱- فرآیندهای مختلف تولید بارش در مدل NSRP

۱- فرایند پواسون دو بعدی با نرخ ϕ در هر کیلومتر مربع (ϕ) چگالی مراکز سلول‌ها در مساحت می‌باشد.

۲- $(U_{i,j}, V_{i,j})$ و $R_{i,j}$ دایره‌هایی در فضای دو بعدی را تشکیل می‌دهند که $(U_{i,j}, V_{i,j})$ مرکز دایره و $R_{i,j}$ شعاع تصادفی دایره می‌شود.

۳- $S_{i,j}$ زمان وقوع سلول j در طوفان i می‌باشد و $T_i - S_{i,j}$ نیز متغیر تصادفی مستقل می‌باشد.

۴- $L_{i,j}$ متغیر تصادفی است که نشان دهنده تداوم هر سلول می‌باشد. بنابر این سلول j در طوفان i در زمان $S_{i,j} + L_{i,j}$ خاتمه می‌یابد.

مشاهداتی بدست آمد. کوپرتویت و همکاران [۳] از این مدل برای تولید بارش‌های ساعتی ۹ ایستگاه باران سنجی در منطقه Arno کشور ایتالیا استفاده کردند. [۵] مدل تولید بارش زمانی-مکانی RainSim را که بر پایه مفاهیم مدل STNSRP توسعه داده شده بود را با الگوریتم‌های بهینه سازی $\ln SCE^{13}$ برای بهینه سازی پارامترهای مدل استفاده کردند.

در این تحقیق ابتدا الگوریتم تولید بارش در روش STNSRP به تفصیل تشریح خواهد شد. سپس با استفاده از این الگوریتم سری زمانی بارش طولانی مدت (۵۰ ساله) برای ۱۴ ایستگاه باران سنجی در حوضه آبریز والنات گالچ در کشور آمریکا تولید خواهد شد. آماره‌های مختلف مانند میانگین، واریانس و احتمال روز خشک برای بارش تولید شده و مشاهداتی در هر یک از ایستگاه‌ها در ماه‌های مختلف سال با هم مقایسه می‌شود. همچنین همبستگی مکانی بارش در ایستگاه‌های مجاور برای دوره مشاهداتی و شبیه سازی شده با هم مقایسه خواهد شد.

۲- مواد و روش‌ها

بطور کلی در مدل‌های فرآیند نقطه‌ای از نوع نیومن-اسکات^{۱۴} مبدا طوفان‌ها با یک فرآیند پواسون مدل می‌شود (شکل ۱-الف) که متناسب با هر مبدا طوفان، تعدادی سلول مستطیلی بارش به صورت تصادفی اختصاص می‌یابد (شکل ۱-ب) که ارتفاع هر سلول همان شدت بارش در آن سلول و عرض هر سلول تداوم بارش در سلول می‌باشد (شکل ۱-ج). با توجه به احتمال همپوشانی سلول‌های بارش، مقدار شدت بارش کل در هر زمان از جمع شدت‌های بارش موجود در همان زمان بدست می‌آید (شکل ۱-د).

در مدل نیومن-اسکات زمانهای بین مبدا طوفان و سلول‌های بارش موجود در آن تصادفی و مستقل هستند. فرض شود که زمان وقوع مبدا طوفان‌های i با T_i نمایش داده شود که با یک فرایند پواسون با نرخ λ (در هر ساعت) به وقوع می‌پیوندد و بنابراین زمان بین دو واقعه طوفان متغیری مستقل و نمایی با میانگین $\frac{1}{\lambda}$ می‌باشد. فرایند پواسون

¹³ log-parameter Shuffled Complex Evolution
¹⁴Neyman-Scott

رابطه (۴) امید ریاضی شدت بارش در مدل NSRP برای حالت تک ایستگاهی است.

شدت بارش X به صورت یک متغیر تصادفی مستقل با توزیع ویبول فرض می شود که رابطه آن $P(X > x) = \exp(-x^{1/\alpha}/\theta)$ می باشد. ملاحظه می شود که توزیع نمایی حالت خاصی از توزیع ویبول است که در آن $\alpha=1$ است و ما از آن در مرحله برازش استفاده می کنیم. ممنتموم های این توزیع از رابطه زیر بدست می آیند:

$$E(X^r) = \theta^{r\alpha} T(1+r\alpha) \quad (۵)$$

و بنابراین در رابطه (۴) داریم:

$$\mu_x = E(X^1) = \theta^\alpha T(1+\alpha) \quad (۶)$$

لذا مدل دارای پارامترهای $\Phi^{-1}, \mu_C, \alpha, \theta, \eta^{-1}, \beta^{-1}, \lambda^{-1}$ است. مطابق با رابطه (۳) پارامتر نرخ مکانی φ تابعی از μ_x و Φ می باشد و جزء پارامترهای مدل نمی باشد. پارامتر مقیاس θ برای هر ایستگاه باران سنجی با استفاده از میانگین بارش و رابطه (۵) که پارامترهای آن تخمین زده شده و در آن جایگزین شده اند، بدست می آید. استفاده از توابع بدون بعد باعث می شود که پارامترهای $\Phi, \mu_C, \alpha, \eta, \beta, \lambda$ در یک ناحیه بوسیله پارامتر مقیاس θ که نشاندهنده تفاوت های بین ایستگاه های مختلف درون آن ناحیه است، تخمین زده شوند.

۲-۱- مراحل برازش (Fitting Procedure):

در مرحله برازش باید شش معیار زیر در نظر گرفته شود:

۱- پارامترهای آماری (آمارها) منطقه ای بدون بعد برای برازش مدل روی داده های همگن منطقه بکار می روند (همگنی درون منطقه ای با نسبت بازه های خشک (مثلاً نسبت روز های خشک) مرتبط می باشد).

۲- تفاوت بین ایستگاه های (سایت های) مختلف بوسیله پارامتر مقیاس (θ) که به میانگین بارندگی هر سایت برازش داده می شود، مدل می شود.

۳- ممنتموم های تا مرتبه سوم برای برازش مناسب مدل روی داده ها بکار می روند.

۵- شدت بارش $X_{i,j}$ سلول j در طوفان i نیز یک متغیر تصادفی است که در هر سلول و در سطح هر دایره یکنواخت فرض می شود. به بیان دیگر هر سلول در فضای سه بعدی مانند استوانه ای است که ارتفاع آن با شدت X نشان داده می شود.

۶- شدت کل $Y(\bar{X}, t)$ در زمان t در مکان $\bar{X} = (x_1, x_2) \in IR^2$ برابر جمع شدت های همه سلول های موجود در زمان t می باشد که در محل X با هم همپوشانی دارند. به عبارت دیگر اگر $dN(u, t)$ تعداد سلول های موجود در زمان t به شعاع u از یک نقطه دلخواه \bar{X} باشد و $Z_{u,s}(\bar{X}; t-s)$ شدت بارش در نقطه X در زمان t سلول به فاصله u از نقطه \bar{X} و با زمان شروع بارش S باشد، در این صورت شدت بارش کل در مکان \bar{X} و زمان t از رابطه زیر بدست می آید:

$$Y(\bar{X}; t) = \int_{u=0}^{\infty} \int_{s=0}^{\infty} Z_{u,s}(\bar{X}; t-s) \alpha N(u; t-s) \quad (۱)$$

از آنجایی که بارندگی به صورت گسسته اندازه گیری می شود، در این صورت سری زمانی بارندگی به صورت زیر تعریف می شود:

$$Y_k^h(x) = \int_{(k-1)h}^{kh} Y(\bar{x}; t) dt \quad (۲)$$

که $Y_k^h(\bar{x})$ عمق بارش در k امین بازه با تداوم h در مکان \bar{x} می باشد.

میانگین زمان انتظار سلول های بارش بعد از مبدأ طوفان $(S_{i,j} - T_i)$ با β^{-1} ، میانگین تداوم بارش سلول ها $(L_{i,j})$ با η^{-1} و میانگین شعاع دایره های بارندگی در فضا $(R_{i,j})$ با Φ^{-1} نمایش داده می شود.

برای هر طوفان تعداد سلول هایی (C) که در یک نقطه در فضای IR^2 با هم همپوشانی دارند، یک تابع تصادفی پواسون با میانگین زیر است:

$$\mu_C = 2\pi\varphi/\Phi^2 \quad (۳)$$

امید ریاضی رابطه (۱) به صورت (۴) نوشته می شود:

$$\begin{aligned} E(Y(\bar{x}; t)) &= \int_{u=0}^{\infty} \int_{s=0}^{\infty} E\{Z_{u,s}(\bar{x}; t-s)\} E\{\alpha N(u; t-s)\} = \int_{u=0}^{\infty} \int_{s=0}^{\infty} E\{Z_{u,s}(\bar{x}; t-s)\} 2\pi\varphi u du \lambda ds \\ &= \int_{u=0}^{\infty} \int_{s=0}^{\infty} E(X) e^{-\Phi u} e^{-2\pi} 2\pi\varphi u du \lambda ds = 2\pi\varphi\mu_x \lambda / \Phi^2 \eta = \lambda\mu_x \mu_C / \eta \end{aligned} \quad (۴)$$

$$\hat{\rho}_{x,y,h,k} = \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^{n(h,k)} (x_{yjk}^{(h)} - \bar{x}_{yk}^{(h)}) (x_{yjl}^{(h)} - \bar{x}_{yl}^{(h)})}{\sqrt{\sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^{n(h,k)} (x_{yjk}^{(h)} - \bar{x}_{yk}^{(h)})^2 \cdot \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^{n(h,k)} (x_{yjl}^{(h)} - \bar{x}_{yl}^{(h)})^2}} \quad (13)$$

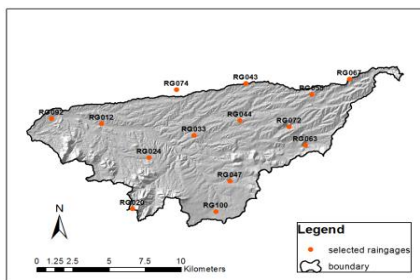
در ادامه با استفاده از ممنوم های تا مرتبه سوم و تابع Cross-correlation ساعتی و با توجه به مراحل ۱ تا ۶ که قبلاً ذکر شد، مدل مناسب به داده ها برازش داده می شود. این مراحل برای هر ماه از سال تکرار شده و بدین ترتیب برای هر پارامتر به تعدادی ماه های سال برآورد انجام می شود.

۳- منطقه تحقیق

منطقه تحقیق حوضه آبریز والنات-گالچ^{۱۵} در کشور آمریکا می باشد. این حوضه با مساحت حدود ۱۴۹ کیلومتر مربع دارای بارندگی سالانه ۳۱۲ میلیمتر می باشد که حدود ۶۰٪ آن در فصل تابستان اتفاق می افتد. ثبت داده های بارندگی در باران سنج های آنالوگ از سال ۱۹۵۳ آغاز و از سال ۱۹۹۹ بارش در ایستگاه های دیجیتال به همراه شبکه تله متری ثبت می شود [۵]. از بین ایستگاه های باران سنجی دیجیتال موجود در این منطقه، ۱۴ ایستگاه برای انجام این تحقیق انتخاب شدند که در شکل ۲ موقعیت این ایستگاه ها به همراه مرز حوضه آبریز نشان داده شده است.

۴- نتایج

با توجه به مطالب ذکر شده در بخش روش تحقیق، در جدول ۱ پارامترهای بدست آمده برای مدل STNSRP در ماه های مختلف سال آورده شده است.



شکل ۲- مرز حوضه آبریز مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه های مورد بررسی در این تحقیق

۴- تغییرات فعلی با برازش مدل روی هر ماه در سال به طور جداگانه در نظر گرفته می شوند.

۵- فرایند برازش شامل مراحل است که با توجه به حالت های خاص کاربرد مدل انجام می شود. از آنجایی که فضای جستجوی کوچکتری در حالت های خاص وجود دارد بنابراین بهینه کردن تابع هدف در این حالت ها مؤثرتر و سریعتر انجام می شود.

۶- داده های همه سایت های (باران سنج های) موجود با هم آمیخته شده تا آماره های بدون بعد از داده ها بدست آید.

فرض شود که N سال داده ساعتی در M ایستگاه وجود دارد. $x_{ijkl}^{(h)}$ عمق بارش مشاهداتی است که در بازه های h ساعتی در ایستگاه i در سال j و ماه k و بازه l اندازه گیری شده است که در آن $i=1,2,\dots,M$ ، $j=1,2,\dots,N$ ، $k=1,2,\dots,12$ و $l=1,2,\dots,n(h,k)$ که در آن n(h,k) تعداد بازه های h ساعتی در ماه k می باشد.

تغییرات درون حوضه ای و بین ایستگاهی مقیاس کردن داده ها بوسیله آماره بارش میانگین هر ایستگاه در نظر گرفته می شود. این کار در حوضه هایی که همگن هستند (تعریف همگنی، نسبت روزهای خشک در ایستگاه های درون حوضه نزدیک به هم باشد و اختلاف معنی داری نداشته باشد). بنابراین ابتدا میانگین نمونه در هر ایستگاه و در هر ماه محاسبه می شود:

$$\bar{x}_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^{n(h,k)} x_{ijkl}^{(h)}}{Nn(l,k)} \quad \begin{matrix} i=1,\dots,M \\ k=1,\dots,12 \end{matrix} \quad (7)$$

آماره های بدون بعد زیر (که توسط میانگین مقیاس شده اند) برای هر ماه k برای داده های pooled (آمیخته شده) ایستگاه های مختلف و همه سالها محاسبه می شوند.

$$\hat{\sigma}_{h,k}^2 = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^{n(h,k)-1} (x_{ijkl}^{(h)} / x_{ik}^{(h)} - h)^2}{MNn(h,k)} \quad (8)$$

$$\hat{\gamma}_{h,k} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^{n(h,k)-1} (x_{ijkl}^{(h)} / x_{ik}^{(h)} - h)(x_{ijkl+1}^{(h)} / x_{ik}^{(h)} - h)}{MN[n(h,k)-1]} \quad (9)$$

$$\hat{\nu}_{h,k} = \hat{\sigma}_{h,k}^2 / h \quad (10)$$

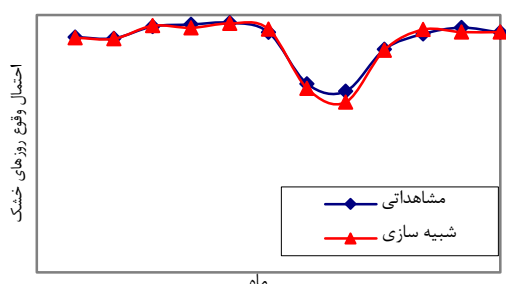
$$\hat{\rho}_{h,k} = \hat{\gamma}_{h,k} / \hat{\sigma}_{h,k}^2 \quad (11)$$

$$\hat{K}_{h,k} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^{n(h,k)} (x_{ijkl}^{(h)} / \bar{x}_{jk}^{(h)} - h)^3}{\hat{\sigma}_{h,k}^3 MNn(h,k)} \quad (12)$$

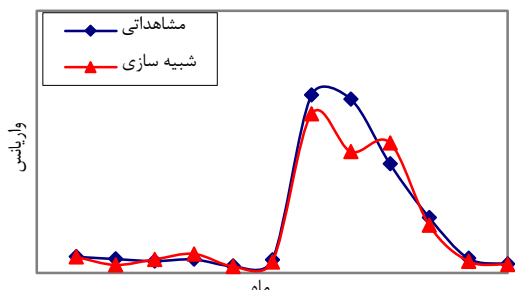
¹⁵ Walnut Gulch

همانطور که ملاحظه می‌شود نتایج آماره‌هایی مانند میانگین، احتمال روزهای خشک و انحراف معیار در ماه‌های مختلف در دو سری زمانی شبیه سازی شده و مشاهداتی بسیار نزدیک به هم می‌باشد. به عبارت دیگر مدل تولید بارش با پارامترهای جدول (۱) بخوبی قادر است سری زمانی بارش روزانه را در منطقه تحقیق در حالت تک ایستگاه شبیه‌سازی کند.

برای بررسی توانایی مدل در تولید بارش به صورت همزمان در چند ایستگاه، مقدار همبستگی بارش تولید شده در ایستگاه RG012 و دو ایستگاه مجاور آن مانند RG092 و RG024 در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود همبستگی مکانی بین بارش تولید شده در ایستگاه R012 و دو ایستگاه مجاور آن یعنی ایستگاه‌های R024 و R092 تا حد بسیار زیادی شبیه همبستگی مکانی بارش این ایستگاه‌ها در دوره مشاهداتی می‌باشد و بنابراین مدل کالیبره شده توانایی حفظ و باز تولید الگوهای مکانی بارندگی را در منطقه تحقیق دارا می‌باشد.



شکل ۴- احتمال وقوع روزهای خشک در سری زمانی شبیه سازی شده و مشاهداتی در ماه های مختلف ایستگاه RG012

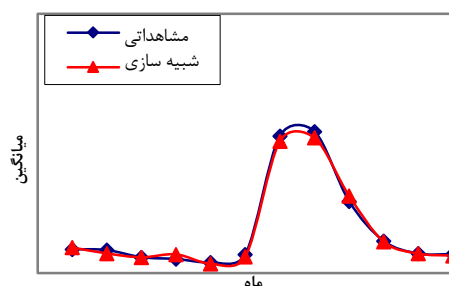


شکل ۵- انحراف معیار بارش در سری زمانی شبیه سازی شده و مشاهداتی در ماه های مختلف ایستگاه RG012

با توجه به پارامترهای برآورد شده برای مدل، ۵۰ سال سری زمانی روزانه بارش برای ۱۴ ایستگاه حوضه آبریز شکل (۲) تولید شد. در شکل‌های ۳ تا ۵ برخی آماره‌های بدست آمده از سری زمانی مشاهداتی و شبیه سازی شده مانند میانگین، واریانس و احتمال روزهای خشک برای ماه‌های مختلف در ایستگاه RG012 به عنوان نمونه آورده شده است. همچنین به عنوان مثال، ملاحظه می‌شود که در ماه‌های ۷ و ۸ که میانگین بارندگی در این ماه‌ها بیشترین است (شکل ۳)، احتمال وقوع روزهای خشک کمترین می‌باشد (شکل ۴) که این رفتار در سری زمانی شبیه سازی شده حفظ شده است.

جدول ۱- پارامترهای برآورد شده مدل STNSRP از روی داده‌های مشاهدات

Month	Lambda	Beta	Rho	Eta	Xi	Gamma
January	0.003	0.150	0.034	1.055	0.216	0.145
February	0.003	0.199	0.009	0.177	0.786	0.097
March	0.001	0.121	0.714	0.258	0.621	0.473
April	0.001	0.043	0.001	0.100	0.417	0.030
May	0.001	0.500	0.112	0.178	0.246	0.381
June	0.003	0.500	0.173	9.205	0.010	0.512
July	0.027	0.218	0.009	0.506	0.502	0.224
August	0.022	0.323	0.045	1.551	0.304	0.325
September	0.005	0.216	0.078	0.232	0.639	0.365
October	0.001	0.050	0.008	3.023	0.041	0.059
November	0.001	0.120	0.156	0.100	2.126	0.217
December	0.003	0.469	0.151	3.444	0.106	0.247

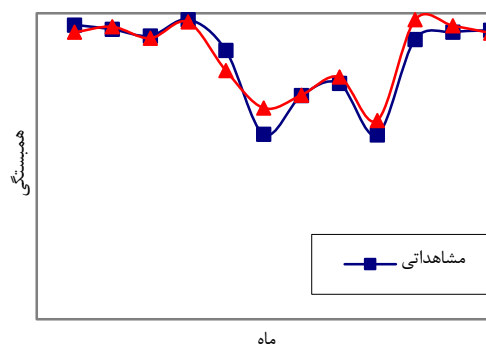


شکل ۳- بارش میانگین سری زمانی شبیه سازی شده و مشاهداتی در ماه های مختلف ایستگاه RG012

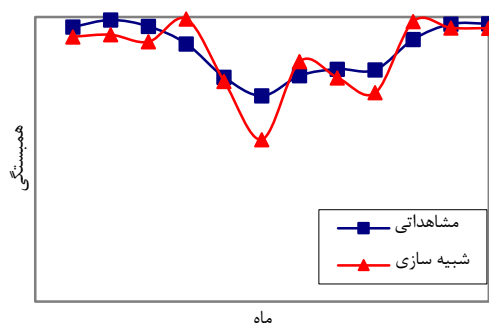
۵- بحث و نتیجه گیری

برای تولید بارش به روش STNSRP ابتدا با استفاده از توزیع پواسون، چند بارش متشکل از تعدادی سلول بارش تصادفی، ایجاد می‌گردد. سپس بارش‌هایی که همپوشانی دارند با یکدیگر جمع شده و شدت بارش X نیز یک متغیر تصادفی مستقل با توزیع ویبول فرض می‌شود. با استفاده از میانگین بارش و پارامترهای تخمین زده شده مدل، پارامتر مقیاس θ برای هر ایستگاه باران سنجی، جهت نشان دادن تفاوت‌های بین ایستگاه‌های مختلف درون آن ناحیه، بدست می‌آید. پس از طی فرایند برازش، داده‌های همه باران سنج‌های موجود با هم آمیخته شد، تا آماره‌های بدون بعد از داده‌ها بدست آید. سپس با استفاده از ممنتوم‌های تا مرتبه سوم و تابع

همبستگی^{۱۶} ساعتی، مدل مناسب به داده‌ها برازش داده شد. این عمل بصورت ماهانه تکرار شده و برای هر پارامتر ۱۲ مقدار برای هر ماه محاسبه گردید. نهایتاً با استفاده از پارامترهای بدست آمده برای مدل STNSRP در ماه‌های مختلف سال، ۵۰ سال سری زمانی روزانه بارش برای ۱۴ ایستگاه حوضه آبریز والنات-گالچ تولید شد و آماره‌های مختلفی از قبیل میانگین، واریانس و احتمال روزهای خشک برای ماه‌های سال در ایستگاه‌های مختلف تولید شد. نتایج نشان دادند که مقادیر آماره‌هایی مانند میانگین، احتمال روزهای خشک و انحراف معیار در ماه‌های مختلف در دو سری زمانی شبیه سازی شده و مشاهداتی بسیار نزدیک به هم می‌باشد. به عبارت دیگر مدل تولید بارش، می‌تواند سری زمانی بارش روزانه را در حالت تک ایستگاه شبیه سازی کند. برای بررسی توانایی مدل در تولید بارش به صورت همزمان در چند ایستگاه، میزان همبستگی بارش تولید شده در هر ایستگاه و ایستگاه‌های مجاور آن محاسبه شد و ملاحظه گردید که همبستگی مکانی بین بارش تولید شده در هر ایستگاه و ایستگاه‌های مجاور آن تقریباً شبیه همبستگی مکانی بارش این ایستگاه‌ها در دوره مشاهداتی می‌باشد. بطور کلی، مدل کالیبره شده توانایی حفظ و باز تولید الگوهای مکانی بارندگی رادر منطقه تحقیق دارا می‌باشد.



شکل ۶- همبستگی بارش تولید شده در ایستگاه‌های R024 و R012 در ماه‌های مختلف سال



شکل ۷- همبستگی بارش تولید شده در ایستگاه‌های R012 و R092 در ماه‌های مختلف سال

۶- تقدیر و تشکر

بدین وسیله نویسندگان مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر که با حمایت‌های خود انجام این تحقیق را میسر نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

- [1]COWPERTWAIT PSP(1991)Further developments of the Neyman-Scott clustered point process for modelling rainfall. Water Resources 27(7): 1431-1438.
- [2]COWPERTWAIT PSP(1995)A generalized spatial-temporal model of rainfall based on a clustered point process. Proceedings of the Royal Society of London, Series A 450: 163-175.
- [3] COWPERTWAIT PSP, KILSBY C, O'CONNELL PE(2002)A space-time Neyman-Scott model of rainfall:

¹⁶ cross-correlation

- [7] Mehrotra R, Sharma A(2007) Preserving low-frequency variability in generated daily rainfall sequences. *Journal of Hydrology* 345:102–120.
- [8] Russo F, Lombardo F, Napolitano F, Gorgucci E(2006) Rainfall stochastic modeling for runoff forecasting. *Physics and Chemistry of the earth* 31: 1252–1261.
- [9] Willems P(2001) A spatial rainfall generator for small spatial scales. *Journal of hydrology* 252: 126–144.
- empirical analysis of extremes. *Water Resources Research* 38(8): 1–14.
- [4] Cowpertwait PSP, O'Connell PE, Metcalfe AV, Mawdsley JA(1996) Stochastic point process modeling of rainfall: I. Single site fitting and validation. *Journal of Hydrology* 175: 17–46.
- [5] Cowpertwait PSP, O'Connell PE, Metcalfe AV, Mawdsley JA(1996) Stochastic point process modelling of rainfall: II. Regionalization and disaggregation. *Journal of Hydrology* 175: 47–65.
- [6] Cox DR, Isham V(1980) *Point Processes*. Chapman and Hall.