

پیش بینی بارش روزانه در مناطق بدون آمار بارش با شبیه فرایند نقطه‌ای زمانی - مکانی (مطالعه موردی: حوضه Walnut Gulch)

محمود ذاکری نیروی^{۱*}

چکیده

با توجه به اهمیت پیش بینی بارش، نیاز به وجود آمار دارای کیفیت مناسب، یا با طول بسنده در مطالعات آشناسی و اینکه نبودن داده های ثبت شده ARIMA بارش در بسیاری از حوضه‌های آبخیز، استفاده از گروه‌های زمانی بارش تولید شده با شبیه‌هایی، مانند زنجیره‌ی مارکوفی برای تولید بارش در یک ایستگاه موضوعی مهم و متداول شده است. با توجه به ضریب اهمیت و تأثیر زیاد توزیع مکانی بارندگی در ویژگیهای آبنگار خروجی از یک حوضه آبخیز، تولید بارش در چند ایستگاه به صورت همزمان اهمیت ویژه‌ای دارد. در این تحقیق، از شبیه فرایند نقطه‌ای زمانی- مکانی (STNSRP) برای تولید بارش در مقیاس زمانی روزانه، با در نظر گرفتن وابستگی مکانی بارش در حوضه آبخیز والنات گالچ ایالات متحده‌ی برای یک گروه زمانی بارش طولانی مدت (۵۰ ساله) در ۲۰ ایستگاه باران‌سنجی استفاده شده است: ۱۴ ایستگاه به عنوان ایستگاه واقعی و ۶ ایستگاه به عنوان نقاط مجازی در نظر گرفته شدند. 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 گردیدند. همچنین با استفاده از روش IDW، نقشه‌ی بارش با استفاده از بارش باریده در ایستگاه‌های مجازی و سایر ایستگاه‌های موجود در منطقه تولید، با نقشه‌ی بارش باریده با فرض وجود همه ایستگاه‌ها مقایسه شدند. نتایج نشان دادند که نقشه‌ی بارش تولید شده با در نظر گرفتن بارش باریده در ایستگاه‌های مجازی نسبت به نقشه‌ی بارش تولید شده بدون این ایستگاه‌ها، تنها با در نظر گرفتن ایستگاه‌های موجود، خطای کمتری را دارد.

واژه‌های کلیدی: پیش بینی، حوضه Walnut Gulch، تولید بارش روزانه، شبیه فرایند نقطه‌ای زمانی- مکانی، STNSRP

^۱ گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی- واحد اسلامشهر، تهران، ایران

ایمیل: Zakeri@iaau.ac.ir

مقدمه

امروزه یکی از خلأهای موجود در طراحی و بهره برداری از سامانه های آبشناسی، عدم قطعیت‌های مکانی موجود در متغیرهای آبشناسی مانند بارش است. بارش ماهانه برای طراحی سامانه های توزیع و تقاضای آب، بارش روزانه برای کاربردهایی مانند شبیه‌سازی بارش-رواناب در مقیاس حوضه و نرم‌افزارهای رشد محصول بکار می‌روند (سریکانثان و مک ماهون ۲۰۰۱). با توجه به محدودیت گروه‌های زمانی بارندگی مشاهداتی از نظر طول دوره‌ی آماری، یا عدم ثبت داده‌های بارش (نبودن ایستگاه باران‌سنجی) در مناطق مورد بررسی طرح های عمرانی، اهمیت تولید گروه‌های زمانی بارندگی بیش از پیش نمایان می‌شود. از این رو، در سالهای اخیر تلاشهای بسیار زیادی برای توسعه شبیه‌های استوکستیک تولید بارش برای شبیه‌سازی گروه‌های زمانی بلند مدت بارندگی صورت گرفته‌اند. برای مثال، یکی از کاربردهای تولید بارش، پیش بینی خشکسالی در مناطق بدون آمار با استفاده از شاخص‌های خشکسالی می‌باشد. زارعی و فاخری فرد (۱۳۹۳) با استفاده از داده‌های بارش و جریان ۴۰ ساله در حوضه صوفی چای در آذربایجان شرقی، استخراج شاخصهای خشکسالی، ارتباط بین خشکسالی‌های هواشناسی و آبشناسی را با استفاده از روشهای هوش مصنوعی مانند GP و ANFIS بدست آوردند. نسیمی و محمدی (۱۳۹۳) نیز از شاخص خشکسالی بارش معیار با مقیاس زمانی ۱۲ ماهه برای ارزیابی وضعیت خشکسالی استان یزد استفاده کردند. برای این منظور، آنها شاخص بارش معیار را از داده‌های بارش ۲۸ ایستگاه باران‌سنجی و سینوپتیک در سطح استان استخراج کرده، با استفاده از روشهای زمین آماری مانند کریجینگ پهنه‌های خشکسالی استان یزد را به دست آوردند. از این رو، در سالهای اخیر تلاش‌های بسیار زیادی برای توسعه شبیه‌های استوکستیک تولید بارش برای شبیه‌سازی گروه‌های زمانی بلند مدت بارندگی صورت گرفته‌اند.

بطور کلی، شبیه‌های تولید بارش را می‌توان به دو دسته‌ی تک و چند ایستگاهی تقسیم کرد. شبیه‌های تک ایستگاهی بارش را در مقیاس‌های زمانی مختلف برای یک

ایستگاه تولید می‌کنند، بطوری که ویژگیهای آماری بارش مانند میانگین، انحراف معیار و احتمال روزهای تر و خشک حفظ شود؛ درحالی که شبیه‌های چند ایستگاهی، علاوه بر در نظر گرفتن ویژگیهای آماری در همه ایستگاههای مورد مطالعه، همبستگی مکانی بارندگی بین ایستگاههای مختلف را نیز حفظ می‌کنند. شبیه‌های روزانه‌ی تولید بارش معمولاً از دو مرحله برای تولید بارش بهره می‌برند: ۱- در مرحله اول، از یک شبیه برای تعیین وقوع روزهای تر و خشک استفاده می‌شود و ۲- در مرحله دوم، یک نرم‌افزار برای شبیه‌سازی مقدار بارش در روزهای تر مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله شبیه‌های به کار رفته در سالهای اخیر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

ویلیامز (۲۰۰۱) یک روش استوکستیک را برای تولید بارش در مقیاس زمانی و مکانی برای حوضه‌های کوچک و شهری توسعه داد. در این روش از توزیع مکانی شدت بارش در یک سلول مکانی بارش مجزا که به وسیله‌ی لویکس (۱۹۹۸) به دست آمده بود، استفاده شده است. برای واسنجی کردن فراسنج‌های شبیه مکانی، ابتدا برآورد اولیه‌ای با استفاده از ویژگی گروه‌های زمانی بارندگی در شبکه‌ی متراکم ایستگاههای باران‌سنجی انجام شده، سپس از روش نیمه خودکار صافی کالمن در برآورد نهایی مقادیر فراسنج‌ها استفاده می‌شود. از این روش برای حوضه‌های کوچک که دارای شبکه ایستگاههای باران‌سنجی متراکم هستند، بهره‌وری می‌گردد (حوضه شهری انتورپ به مساحت ۱۰۰ کیلومتر مربع با فاصله ایستگاههای بطور متوسط ۳ کیلومتر می‌باشد). سریکانثان و پگرام (۲۰۰۹) از یک شبیه تولید بارش چند ایستگاهی آشیانه‌ای روزانه برای تولید بارش در ۳۰ ایستگاه باران‌سنجی در استرالیا استفاده کردند. در این روش، شبیه‌های روزانه، ماهانه و سالانه داخل یکدیگر قرار دارند؛ بدین صورت که شبیه تولید بارش روزانه داخل شبیه تولید بارش ماهانه، شبیه‌سازی تولید بارش ماهانه داخل شبیه تولید بارش سالانه قرار گرفته‌اند. در این شبیه، وقوع بارش روزانه به وسیله‌ی شبیه مارکوف مرتبه‌ی چهار و

بارش را ارائه داد که در آن هر سلول بارش بطور تصادفی به یکی از ردیف‌های بارش طبقه‌بندی می‌شود. فراسنجهای هر سلول بارش به نوع سلول بارش بستگی دارند، بطوری که در هر سلول شدت و مدت بارش دارای همبستگی می‌باشند. شبیه توسعه داده شده به داده‌های ساعتی ۶ ایستگاه در حوضه Thames در انگلستان برازش داده شد، و نتایج قابل قبولی بین خواص گروه زمانی تولید گردیده و مشاهداتی بدست آمد. کاپترویت و همکاران (۲۰۰۲) از این شبیه برای تولید بارشهای ساعتی ۹ ایستگاه باران‌سنجی در منطقه Arno ایتالیا استفاده کردند.

در این تحقیق، در حوضه آبخیز والنات گالچ در ایالات متحده‌ی آمریکا با استفاده از الگوریتم تولید بارش STNSRP، گروه زمانی بارش طولانی مدت (۵۰ ساله) برای ۱۴ ایستگاه باران‌سنجی به عنوان ایستگاههای حقیقی، همچنین ۶ ایستگاه دیگر، که آنها را ایستگاه مجازی در نظر می‌گیریم، تولید خواهد شد. از ایستگاههای مجازی برای سنجش توانایی شبیه در تخمین بارش در مناطق بدون آمار استفاده می‌شود، سپس همبستگی مکانی بارش در ایستگاههای مجاور برای دوره‌ی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با هم مقایسه خواهد گردید. نقشه‌ی خطای بارش با در نظر گرفتن بارش در ایستگاههای مجازی و بدون این ایستگاهها نیز به دست آمده و اثر پیش-بینی بارش در مناطق بدون آمار (ایستگاههای مجازی) در دقت نقشه‌ی بارش تولید شده بررسی می‌گردد.

مواد و روشها

معرفی شبیه

در این تحقیق از شبیه فرایند نقطه‌ای برای تولید بارش روزانه استفاده خواهد شد. بطور کلی در شبیه‌های فرایند نقطه‌ای از نوع نیومن-اسکات^۳ مبدأ رگبارها با یک فرایند شبیه‌سازی می‌شود (شکل ۱-الف)، که متناسب با هر مبدأ رگبار 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

همبستگی مکانی بارش با کاربرد روش NST^۴ شبیه‌سازی شد. نتایج نشان دادند که شبیه همه ویژگیهای مهم بارش را، مانند میانگین، همبستگی مکانی و غیره در مقیاس روزانه، ماهانه و سالانه حفظ کرد.

مهرورتا و شارما (۲۰۰۷)، الگوریتمی را پیشنهاد دادند که در آن رخ دادن بارش به وسیله‌ی شبیه MMM، مقدار بارش در روزهای تر به وسیله‌ی یک روش غیرفراسنجی شرطی محاسبه می‌شود. آنها این روش را برای یک شبکه‌ی باران‌سنجی متشکل از ۳۰ باران‌سنج در اطراف سیدنی، استرالیا، به کار بردند؛ نتایج نشان دادند که روش آنها آماره‌های مشاهداتی را به خوبی حفظ می‌کند.

در بین نرم‌افزارهای تولید بارش، شبیه نیومن-اسکات با ضربان مستطیلی، به دلایلی چند، مانند ساختار فیزیکی بهتر و راحتی تفسیر و تطبیق فراسنجی‌ها با مفاهیم فیزیکی، حفظ آماره‌های بارش مشاهداتی در سطوح مختلف جمععی (بالتر از ساعتی)، تعداد اندک فراسنجهای مورد استفاده در شبیه (حداکثر پنج فراسنج) و در نتیجه، ساده بودن محاسبات مربوطه برای برآورد فراسنجهای بیشتر از سایر شبیه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (رودریگز - ایتورب و همکاران (۱۹۸۷) و کاپترویت و همکاران (۱۹۹۱)). با توجه به محاسن ذکر شده در بالا، در این تحقیق نیز از شبیه NSRP^۶، که یکی از متداولترین شبیه‌های تولید بارش می‌باشد، برای تولید گروه زمانی بارش روزانه در چند ایستگاه بطور همزمان استفاده خواهد شد. این شبیه اولین بار برای تولید بارش در یک ایستگاه به وسیله‌ی رودریگز - ایتورب و همکاران (۱۹۸۷) توسعه داده شده و به وسیله‌ی افراد زیادی مورد استفاده قرار گرفته است. برای مثال کاپترویت و همکاران ab ۱۹۹۶ از این شبیه برای تولید بارش در ۱۱۲ ایستگاه باران‌سنجی در انگلستان بهره برد و فراسنجهای بدست آمده را برای شبیه، منطقه‌ای^۷ نمود. با توجه به اهمیت توزیع مکانی بارندگی، بخصوص در حوضه‌های متوسط، بزرگ و کوهستانی، کاپترویت (۱۹۹۵) شبیه NSRP زمانی-مکانی^۸ (STNSRP) را توسعه داد. وی یک شبیه ساده زمانی مکانی تصادفی تولید

⁷ - regionalized

⁸ - Space-Time NSRP

⁴ - Normal scores transform

⁵ - Modified Markov model

⁶ - Neyman-Scott Rectangular Pulses

فرض می‌شود، به بیان دیگر، هر سلول در فضای سه بعدی مانند استوانه‌ای است که ارتفاع آن با شدت X نشان داده می‌شود.

۶- شدت کل $Y(\bar{X}, t)$ در زمان t در مکان $\bar{X} = (x_1, x_2) \in IR^2$ برابر جمع شدت‌های همه سلول‌های موجود در زمان t می‌باشد که در محل x با هم همپوشانی دارند، به عبارت دیگر، اگر $dN(u, t)$ تعداد سلول‌های موجود در زمان t به شعاع u از یک نقطه دلخواه \bar{X} بوده، $Z_{u,s}(\bar{X}; t-s)$ شدت بارش در نقطه x در زمان t در 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 ی زیر به دست می‌آید:

$$Y(\bar{X}; t) = \int_{u=0}^{\infty} \int_{s=0}^{\infty} Z_{u,s}(\bar{X}; t-s) \alpha N(u; t-s) \quad (1)$$

از آن جا که اندازه ی باران به صورت گسسته تعیین می‌گردد، در این صورت گروه زمانی بارندگی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Y_k^h(x) = \int_{(k-1)h}^{kh} Y(\bar{x}; t) dt \quad (2)$$

که $Y_k^h(\bar{x})$ عمق بارش در k امین بازه با تداوم h در مکان \bar{x} می‌باشد. میانگین زمان انتظار سلول‌های بارش بعد از مبدأ رگبار $(S_{i,j} - T_i)$ با β^{-1} ، میانگین تداوم بارش سلول‌ها $(L_{i,j})$ با η^{-1} و میانگین شعاع دایره های بارندگی در فضا $(R_{i,j})$ با Φ^{-1} نمایش داده می‌شوند (کاپترویت، ۲۰۰۲) برای هر رگبار تعداد سلول‌هایی (C) که در یک نقطه در فضای IR^2 با هم همپوشانی دارند، یک تابع تصادفی پواسون با میانگین زیر است:

$$\mu_c = 2\pi\phi/\Phi^2 \quad (3)$$

امید ریاضی رابطه (۱) به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$E(Y(\bar{x}; t)) = \int_{u=0}^{\infty} \int_{s=0}^{\infty} E\{Z_{u,s}(\bar{x}; t-s)\} E\{\alpha N(u; t-s)\} = \int_{u=0}^{\infty} \int_{s=0}^{\infty} E\{Z_{u,s}(\bar{x}; t-s)\} 2\pi\phi u du ds \quad (4)$$

$$= \int_{u=0}^{\infty} \int_{s=0}^{\infty} E(X) e^{-\Phi u} e^{-2\pi} 2\pi\phi u du ds = \frac{2\pi\phi\mu_x \lambda}{\Phi^2 \eta} = \lambda\mu_x \mu_c / \eta$$

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 به دست می‌آید (شکل ۱-د) (کاپترویت و همکاران، ۱۹۹۶).

در شبیه نیومن-اسکات زمانهای بین مبدأ رگبار و سلولهای بارش موجود در آن تصادفی و مستقل می‌باشند. فرض کنیم که زمان وقوع مبدأ رگبار های i با T_i نمایش داده شود، که با یک توزیع پواسون با نرخ λ (در هر ساعت) به وقوع می‌پیوندد و بنابراین زمان بین دو واقعه و رگبار متغیری مستقل و نمایی با میانگین $\frac{1}{\lambda}$ می‌باشد توزیع پواسون 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 (کاپترویت، ۲۰۰۲).

هر رگبار i از تعدادی سلول مکانی 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 رگبار i داریم:

۱- $(U_{i,j}, V_{i,j})$ مختصات مرکز هر سلول که به وسیله ی فرایند پواسون دو بعدی با نرخ ϕ در هر کیلومتر مربع ϕ چگالی مراکز سلولها در مساحت می‌باشد) مشخص می‌شود.

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 i VFHV می‌باشد و $S_{i,j} - T_i$ نیز متغیر تصادفی مستقل می‌باشد.

۴- $L_{i,j}$ متغیر تصادفی است که نشان دهنده‌ی تداوم هر سلول می‌باشد، بنابراین، سلول j در رگبار i در زمان $S_{i,j} + L_{i,j}$ خاتمه می‌یابد.

۵- شدت بارش $X_{i,j}$ سلول j در رگبار i نیز یک متغیر تصادفی است که در هر سلول و در سطح هر دایره یکنواخت

فرایند برازش شامل مراحل است که با توجه به حالت‌های خاص کاربرد شبیه انجام می‌گردد. از آن جا که فضای جستجوی کوچکتری در حالت‌های خاص وجود دارد، بنابراین بهینه کردن تابع هدف در این حالتها مؤثرتر و سریعتر انجام می‌شود. همچنین با توجه به معیار ۱ بالا، داده‌های همه ایستگاه‌های، (بارانسج‌های) موجود با هم ادغام گردیده (pooled) تا آماره‌های بدون بعد از داده‌ها بدست آید؛ مثلاً، میانگین بارش منطقه مورد نظر در ماه ژانویه، با ادغام بارش ماههای ژانویه همه ایستگاههای منطقه محاسبه می‌شود.

فرض شود که N سال داده ساعتی در M ایستگاه وجود دارد. $x_{ijkl}^{(h)}$ عمق بارش مشاهداتی است که در بازه‌های h ساعته در ایستگاه i در سال j و ماه k و بازه l اندازه‌گیری 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 تعداد بازه های h ساعتی در ماه k می‌باشند.

برای در نظر گرفتن تغییرات درون حوضه‌ای و بین ایستگاهی، باید داده ها به وسیله بارش میانگین هر ایستگاه معیار شوند. این کار در حوضه هایی که همگند (تعریف همگنی، نسبت روزهای خشک در ایستگاههای درون حوضه نزدیک به هم باشد و اختلاف معنی داری نداشته باشد) مناسب است؛ بنابراین، ابتدا میانگین نمونه در هر ایستگاه و در هر ماه محاسبه می‌شود:

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

آماره‌های بدون بعد زیر (که با کاربرد میانگین معیار شده‌اند) برای هر ماه k برای داده‌های ادغام شده (pooled data) ایستگاه‌های مختلف و همه سالها محاسبه می‌گردند:

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

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

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

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

رابطه (۴) امید ریاضی شدت بارش در شبیه NSRP برای حالت تک ایستگاهی است. شدت بارش X به صورت یک متغیر تصادفی مستقل با توزیع ویبول فرض می‌شود که رابطه آن $P(X > x) = \exp(-x^{1/\alpha}/\theta)$ می‌باشد. ملاحظه می‌گردد که توزیع نمایی حالت خاصی از توزیع ویبول می‌باشد که در آن $\alpha=1$ است و ما از آن در مرحله برازش استفاده می‌کنیم اندازه‌های حرکت این توزیع از رابطه‌ی زیر به دست می‌آیند:

$$E(X^r) = \theta^{r\alpha} T(1+r\alpha) \quad (5)$$

و بنابراین در رابطه (۴) داریم:

$$\mu_x = E(X) = \theta^\alpha T(1+\alpha) \quad (6)$$

لذا شبیه دارای فرانسجهای $\lambda^{-1}, \beta^{-1}, \eta^{-1}, \alpha, \theta, \mu_c, \Phi^{-1}$ ، مطابق با رابطه‌ی (۳)، فرانسج نرخ مکانی φ تابعی از μ_c و Φ بوده و جزء فرانسجهای شبیه نمی‌باشد فرانسج مقیاس θ برای هر ایستگاه بارانسنجی با استفاده از میانگین بارش و رابطه (۵)، که پارامترهای آن تخمین زده شده و در آن جایگزین گردیده، بدست می‌آید. استفاده از توابع بدون بعد باعث می‌شود که فرانسجهای $\lambda, \beta, \eta, \alpha, \mu_c, \Phi$ در یک ناحیه به وسیله فرانسج مقیاس θ, T که نشان دهنده‌ی تفاوت‌های بین ایستگاههای مختلف درون آن ناحیه است، تخمین زده شوند.

شبیه سازی بارش

در مرحله‌ی برازش باید معیارهای زیر در نظر گرفته شوند:

۱- فرانسجهای آماری (آمارها) منطقه‌ای بدون بعد برای برازش شبیه در مورد داده‌های همگن منطقه بکار می‌روند (همگنی درون منطقه ای با نسبت بازه‌های خشک مثلاً نسبت روز های خشک مرتبط می باشد).

۲- تفاوت بین ایستگاههای مختلف به وسیله فرانسج مقیاس (θ)، که به میانگین بارندگی هر ایستگاه برازش داده می‌شود، شبیه‌سازی می‌گردد.

۳- اندازه‌های حرکت تا مرتبه‌ی سوم برای برازش مناسب شبیه در مورد داده‌ها بکار می‌روند.

۴- تغییرات فصلی بارش با برازش شبیه در مورد هر ماه در سال بطور جداگانه در نظر گرفته می‌شوند (کاپترویت، ۲۰۰۲،

عنوان منطقه تحقیق انتخاب شد. این حوضه با مساحت حدود ۱۴۹ کیلومتر مربع دارای بارندگی سالانه‌ی ۳۱۲ میلیمتر می‌باشد که حدود ۶۰٪ آن در فصل تابستان اتفاق می‌افتد. ثبت داده‌های بارندگی در باران سنج‌های تشابهی از سال ۱۹۵۳ آغاز و از سال ۱۹۹۹ بارش در ایستگاه‌های عددی به همراه شبکه سنجش از راه دور ثبت می‌شود (گودریچ و همکاران، ۲۰۰۸). از بین ایستگاه‌های باران سنجی عددی موجود در این منطقه، ۲۰ ایستگاه برای انجام این تحقیق انتخاب شدند؛ در شکل ۲، موقعیت این ایستگاه‌ها به همراه مرز حوضه آبخیز نشان داده شده است. از بین ایستگاه‌های انتخاب گردیده، ۱۴ ایستگاه به عنوان ایستگاه حقیقی و ۶ ایستگاه به عنوان ایستگاه مجازی در نظر گرفته شدند.

نتایج

با توجه به مطالب ذکر شده در بخش روش تحقیق، در جدول ۱ فراسنجهای به دست آمده برای شبیه STNSRP در ماه‌های مختلف سال آورده شده اند.

با توجه به فراسنجهای برآورد شده برای شبیه، ۵۰ سال گروه زمانی روزانه بارش برای ۱۴ ایستگاه حقیقی حوضه‌ی آبخیز (شکل ۲) تولید شد. در جدول ۲، برخی آماره‌های به دست آمده از گروه زمانی مشاهداتی و شبیه سازی گردیده مانند میانگین، واریانس، چولگی و احتمال روزهای خشک برای ماه‌های مارس و ژوئیه در برخی ایستگاه‌های منطقه به عنوان نمونه آورده شده اند. ملاحظه می‌گردد که ویژگی‌های آماری بخصوص میانگین و احتمال روزهای خشک، با دقت مناسبی شبیه سازی شده‌اند. برای مثال، درصد خطای نسبی میانگین برای میانگین بارش، احتمال روزهای خشک و ضریب چولگی به ترتیب برابر با ۲/۶، ۲/۳ و ۱۳/۵ درصد به دست آمده اند. به عبارت دیگر شبیه تولید بارش با فراسنجهای جدول (۱) به خوبی قادر است که گروه زمانی بارش روزانه را در منطقه‌ی تحقیق در حالت تک ایستگاه شبیه‌سازی کند.

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

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

در ادامه با استفاده از اندازه های حرکت تا مرتبه سوم و تابع همبستگی متقاطع ساعتی، با توجه به مراحل ۱ تا ۶ که قبلاً ذکر گردیدند، شبیه مناسب به داده‌ها برآزش داده می‌شود. این مراحل برای هر ماه از سال تکرار شده و بدین ترتیب برای هر پارامتر به تعداد ماه‌های سال برآورد انجام می‌گردد.

درونیابی بارش و تولید نقشه‌ی بارش

با توجه به مراحل ذکر شده در بخش قبل، برای ایستگاه‌های انتخاب گردیده به عنوان ایستگاه واقعی و مجازی، مقدار بارش روزانه با در نظر گرفتن همبستگی مکانی ایستگاه‌ها تولید می‌شود، سپس نقشه بارندگی برای سه حالت تهیه خواهد گردید: ۱- نقشه بارش با در نظر گرفتن بارش مشاهداتی در تمام ایستگاه‌های منطقه؛ ۲- نقشه‌ی بارش با در نظر گرفتن بارش تهیه‌ی شده در ایستگاه‌های حقیقی؛ ۳- نقشه بارش با در نظر گرفتن بارش تولید گردیده در ایستگاه‌های حقیقی و مجازی. برای تولید نقشه بارش از روش معکوس فاصله (IDW) استفاده می‌شود:

$$P_x = \frac{\sum_{i=1}^n P_i / d_i^a}{\sum_{i=1}^n 1 / d_i^a} \quad (14)$$

که در آن P_x بارش تخمینی در نقطه x ، P_i بارش مشاهداتی در ایستگاه i ، d_i فاصله ایستگاه i از نقطه x و a توان روش IDW می‌باشد (شپرد، ۱۹۶۸).

منطقه‌ی تحقیق

با توجه به تراکم مناسب ایستگاه‌های بارانسنجی، وجود داده های بارش با کیفیت مناسب و دوره آماری بلندمدت، حوضه آبخیز والنات-گالچ^۹ در ایالات متحده ی آمریکا به

⁹-Walnut Gulch

برای بررسی توانایی شبیه در تولید بارش به روش STNSRP ابتدا با استفاده از توزیع پواسون، چند بارش متشکل از تعدادی سلول مکانی بارش بصورت تصادفی، ایجاد می‌گردد. سپس بارشهایی را که همپوشانی دارند با یکدیگر جمع کرده و شدت بارش X نیز یک متغیر تصادفی مستقل با توزیع ویبول فرض می‌شود. با استفاده از میانگین بارش و فراسنجهای تخمین گردیده شبیه، فراسنج 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 به دست آید. سپس با استفاده از اندازه‌های حرکت تا مرتبه سوم و تابع همبستگی ساعتی، شبیه مناسب به داده‌ها برازش داده شد. این عمل به صورت ماهانه تکرار شده و برای هر فراسنج ۱۲ مقدار برای هر ماه محاسبه گردید. نهایتاً با استفاده از فراسنجهای به دست آمده برای شبیه STNSRP در ماههای مختلف سال، ۵۰ سال گروه زمانی روزانه‌ی بارش برای ۲۰ ایستگاه (۱۴ ایستگاه حقیقی و ۶ ایستگاه مجازی) حوضه‌ی آبخیز والنات-گالچ تولید شد و آماره‌های مختلفی از قبیل میانگین، واریانس و احتمال روزهای خشک برای ماههای سال در ایستگاه‌های مختلف به دست آمدند. نتایج نشان دادند که مقادیر آماره‌هایی مانند میانگین، احتمال روزهای خشک و انحراف معیار در ماه‌های مختلف در دو گروه زمانی شبیه سازی شده و مشاهداتی بسیار نزدیک به هم می‌باشد، به عبارت دیگر، شبیه تولید بارش، می‌تواند گروه زمانی بارش روزانه را در حالت تک ایستگاه شبیه سازی کند. برای بررسی توانایی شبیه 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، شبیه واسنجی شده توانایی حفظ و باز تولید الگوهای مکانی بارندگی را در منطقه تحقیق داراست.

برای بررسی توانایی شبیه در تولید بارش به صورت همزمان در چند ایستگاه، مقدار همبستگی بارش باریده در ایستگاه RG012 و دو ایستگاه مجاور آن مانند RG044 و RG067 در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می‌گردد همبستگی مکانی بین بارش تولید شده در ایستگاه R012 و دو ایستگاه مجاور آن یعنی ایستگاه‌های R044 و R067 تا حد بسیار زیادی شبیه همبستگی مکانی بارش این ایستگاه‌ها در دوره مشاهداتی می‌باشد؛ بنابراین، شبیه واسنجی شده توانایی حفظ و باز تولید الگوهای مکانی بارندگی را در منطقه تحقیق داراست؛ البته، در ماه ژویه اختلاف بیشتری بین مقادیر همبستگی دو ایستگاه مشاهده می‌شود.

در مرحله بعد، با استفاده از تمامی ۲۰ ایستگاه (۱۴ ایستگاه حقیقی و ۶ ایستگاه مجازی)، نقشه بارندگی با استفاده از مقادیر بارش مشاهداتی در این ایستگاهها و روش درونیایی IDW تولید شد. از این نقشه به عنوان نقشه مبنا برای محاسبه خطای مکانی بارندگی استفاده گردید. سپس نقشه‌ی بارندگی با در نظر گرفتن بارش مشاهداتی در ۱۴ ایستگاه حقیقی نیز تولید شد. با محاسبه خطا بین نقشه مبنا و این نقشه، اثر وجود ایستگاه‌های بسنده با پراکنش نامناسب بررسی می‌گردد (حالت الف). در مرحله آخر، نقشه بارندگی با استفاده از بارش مشاهداتی ۱۴ ایستگاه حقیقی و بارش شبیه سازی شده در محل ۶ ایستگاه مجازی نیز بدست آمد (حالت ب). با محاسبه خطا بین نقشه مبنا و این نقشه، اثر تولید بارش در مناطق بدون آمار بدست می‌آید. شکل ۵، نقشه خطای محاسبه بارش را برای حالت‌های ذکر شده در ماه مارس را به عنوان نمونه نشان می‌دهد. در جدول ۳ نیز خصوصیات آماری خطای ناشی از در نظر گرفتن فقط ۱۴ ایستگاه در منطقه و در نظر گرفتن بارش شبیه سازی شده با شبیه NSRP در ۶ ایستگاه مجازی نشان داده شده‌اند. ملاحظه می‌شود که مجموع، میانگین و انحراف معیار خطا در حالت ب، یعنی با در نظر گرفتن ایستگاه‌های مجازی در منطقه، بهبود یافته است.

بحث و نتیجه گیری

تولید بارش STNSRP برای تولید بارش مجازی در مناطق فاقد آمار استفاده کرد.

سپاسگزاری

بدین وسیله نویسنده مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر که با حمایت‌های خود انجام این تحقیق را میسر ساخته اند سپاسگزاری می‌نماید .

همچنین، با مقایسه نقشه خطای بدست آمده ناشی از در نظر گرفتن بارش مشاهداتی در ۱۴ ایستگاه باران سنجی حقیقی در منطقه (حالت الف)، نقشه خطای محاسبه شده با در نظر گرفتن بارش مشاهداتی در ۱۴ ایستگاه باران سنجی حقیقی به علاوه بارش شبیه‌سازی شده در ۶ ایستگاه مجازی، روشن گردید که مجموع، میانگین و انحراف معیار خطا در حالت ب، یعنی با در نظر گرفتن ایستگاه‌های مجازی در منطقه بهبود می‌یابد؛ به بیان دیگر، می‌توان از شبیه زمانی-مکانی

جداول و شکلها

جدول ۱- فراسنجهای برآورد شده شبیه STNSRP از روی داده‌های مشاهداتی .

| Month | Lambda | Beta | Rho | Eta | Xi | Gamma |
|---------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ژانویه | ۰,۰۰۳ | ۰,۱۵۰ | ۰,۰۳۴ | ۱,۰۵۵ | ۰,۲۱۶ | ۰,۱۴۵ |
| فوریه | ۰,۰۰۳ | ۰,۱۹۹ | ۰,۰۰۹ | ۰,۱۷۷ | ۰,۷۸۶ | ۰,۰۹۷ |
| مارس | ۰,۰۰۱ | ۰,۱۲۱ | ۰,۷۱۴ | ۰,۲۵۸ | ۰,۶۲۱ | ۰,۴۷۳ |
| آوریل | ۰,۰۰۱ | ۰,۰۴۳ | ۰,۰۰۱ | ۰,۱۰۰ | ۰,۴۱۷ | ۰,۰۳۰ |
| می | ۰,۰۰۱ | ۰,۵۰۰ | ۰,۱۱۲ | ۰,۱۷۸ | ۰,۲۴۶ | ۰,۳۸۱ |
| ژوئن | ۰,۰۰۳ | ۰,۵۰۰ | ۰,۱۷۳ | ۹,۲۰۵ | ۰,۰۱۰ | ۰,۵۱۲ |
| جولای | ۰,۰۲۷ | ۰,۲۱۸ | ۰,۰۰۹ | ۰,۵۰۶ | ۰,۵۰۲ | ۰,۲۲۴ |
| آگوست | ۰,۰۲۲ | ۰,۳۲۳ | ۰,۰۴۵ | ۱,۵۵۱ | ۰,۳۰۴ | ۰,۳۲۵ |
| سپتامبر | ۰,۰۰۵ | ۰,۲۱۶ | ۰,۰۷۸ | ۰,۲۳۲ | ۰,۶۳۹ | ۰,۳۶۵ |
| اکتبر | ۰,۰۰۱ | ۰,۰۵۰ | ۰,۰۰۸ | ۳,۰۲۳ | ۰,۰۴۱ | ۰,۰۵۹ |
| نوامبر | ۰,۰۰۱ | ۰,۱۲۰ | ۰,۱۵۶ | ۰,۱۰۰ | ۲,۱۲۶ | ۰,۲۱۷ |
| دسامبر | ۰,۰۰۳ | ۰,۴۶۹ | ۰,۱۵۱ | ۳,۴۴۴ | ۰,۱۰۶ | ۰,۲۴۷ |

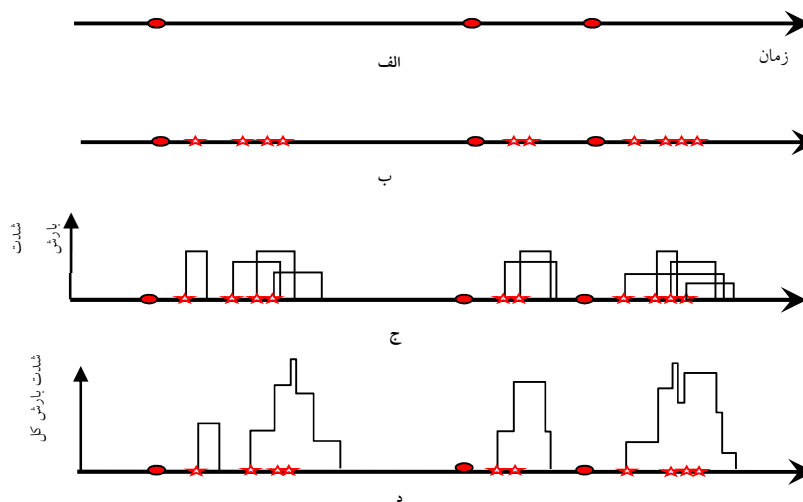
جدول ۲- برخی ویژگیهای آماری برای گروه زمانی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای ماههای مارس و ژوئیه.

| Statistics | Station | Mar | | Jul | |
|------------|---------|-----------|----------|-----------|----------|
| | | Simulated | Observed | Simulated | Observed |
| mean | RG012 | 0.241 | 0.241 | 2.035 | 2.114 |
| pdry1.0 | | 0.959 | 0.956 | 0.715 | 0.733 |
| Var | | 2.056 | 1.827 | 24.266 | 27.173 |
| Corr | | 0.171 | 0.248 | 0.089 | 0.045 |
| Skew | | 8.127 | 7.277 | 4.239 | 3.687 |
| mean | RG024 | 0.239 | 0.255 | 2.356 | 2.311 |
| pdry1.0 | | 0.957 | 0.956 | 0.699 | 0.760 |
| Var | | 1.836 | 2.159 | 32.572 | 38.388 |
| Corr | | 0.178 | 0.186 | 0.123 | 0.085 |
| Skew | | 7.053 | 7.364 | 4.536 | 3.975 |

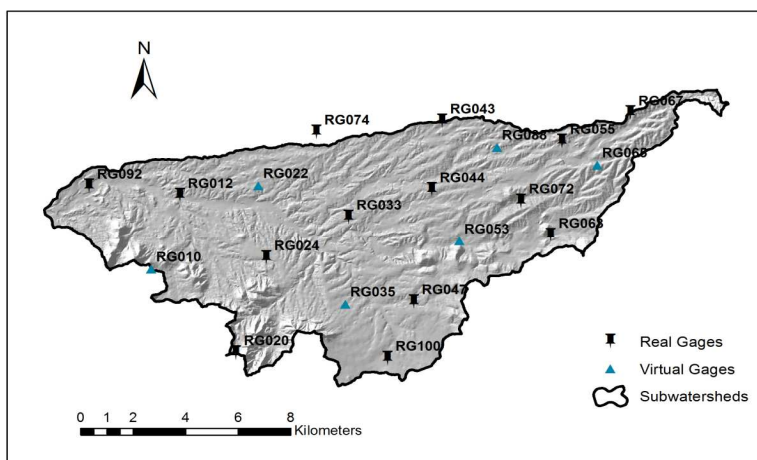
| | | | | | |
|---------|-------|-------|-------|--------|--------|
| mean | RG044 | 0.246 | 0.238 | 2.779 | 2.793 |
| pdry1.0 | | 0.957 | 0.953 | 0.685 | 0.698 |
| Var | | 1.973 | 1.748 | 43.494 | 55.254 |
| Corr | | 0.211 | 0.225 | 0.050 | 0.086 |
| Skew | | 7.648 | 8.518 | 4.236 | 4.707 |
| mean | RG047 | 0.270 | 0.273 | 2.677 | 2.715 |
| pdry1.0 | | 0.959 | 0.947 | 0.688 | 0.733 |
| Var | | 2.358 | 2.279 | 39.678 | 62.372 |
| Corr | | 0.183 | 0.233 | 0.088 | 0.077 |
| Skew | | 7.058 | 7.216 | 3.709 | 5.357 |
| mean | RG067 | 0.285 | 0.277 | 2.446 | 2.579 |
| pdry1.0 | | 0.958 | 0.950 | 0.703 | 0.716 |
| Var | | 2.801 | 2.224 | 42.583 | 45.219 |
| Corr | | 0.192 | 0.322 | 0.013 | 0.200 |
| Skew | | 7.766 | 6.935 | 5.418 | 4.334 |

جدول ۳- ویژگیهای آماری خطای بدست آمده از نقشه بارندگی حالت الف و ب در ماه مارس در منطقه تحقیق .

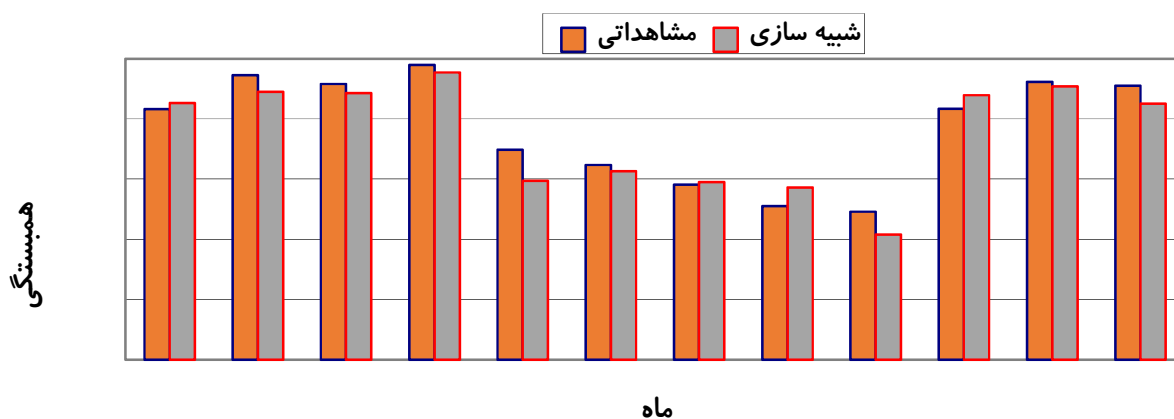
| SUM (mm) | SD (mm) | MEAN (mm) | RANGE (mm) | MAX (mm) | MIN (mm) | شاخص آماری خطا |
|----------|---------|-----------|------------|----------|----------|-------------------|
| 349.571 | 0.01 | 0.006 | 0.057 | 0.048 | -0.009 | حالت الف |
| 285.901 | 0.008 | 0.005 | 0.090 | 0.060 | -0.030 | حالت ب |



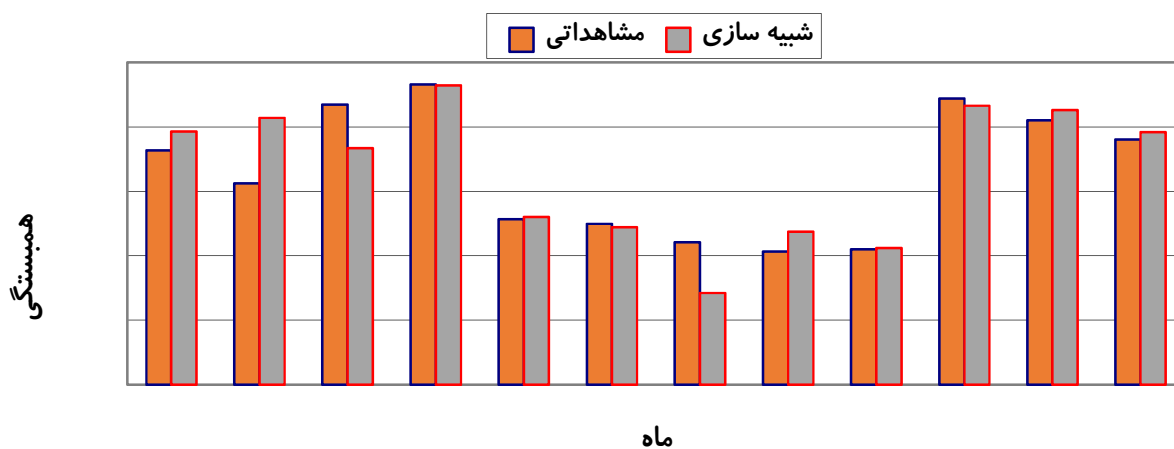
شکل ۱- فرایندهای مختلف تولید بارش در شبیه NSRP الف- تولید مبدأ رگبار با فرایند یواسون ب- تولید سلول مستطیلی بارش به صورت تصادفی برای هر مبدأ بارش مرحله قبل ج- تخصیص شدت و تداوم بارش به هر سلول د- محاسبه شدت بارش کل در زمانهای مختلف .



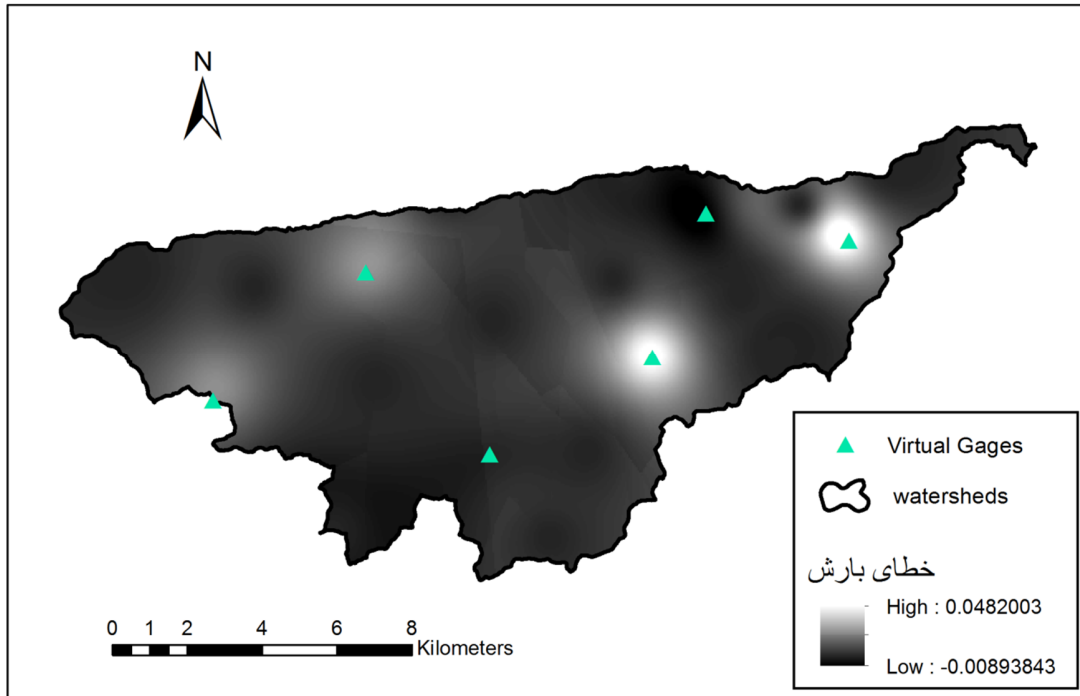
شکل ۲- مرز حوضه آبخیز مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی در این تحقیق .
(<http://www.tucson.ars.ag.gov/dap>)



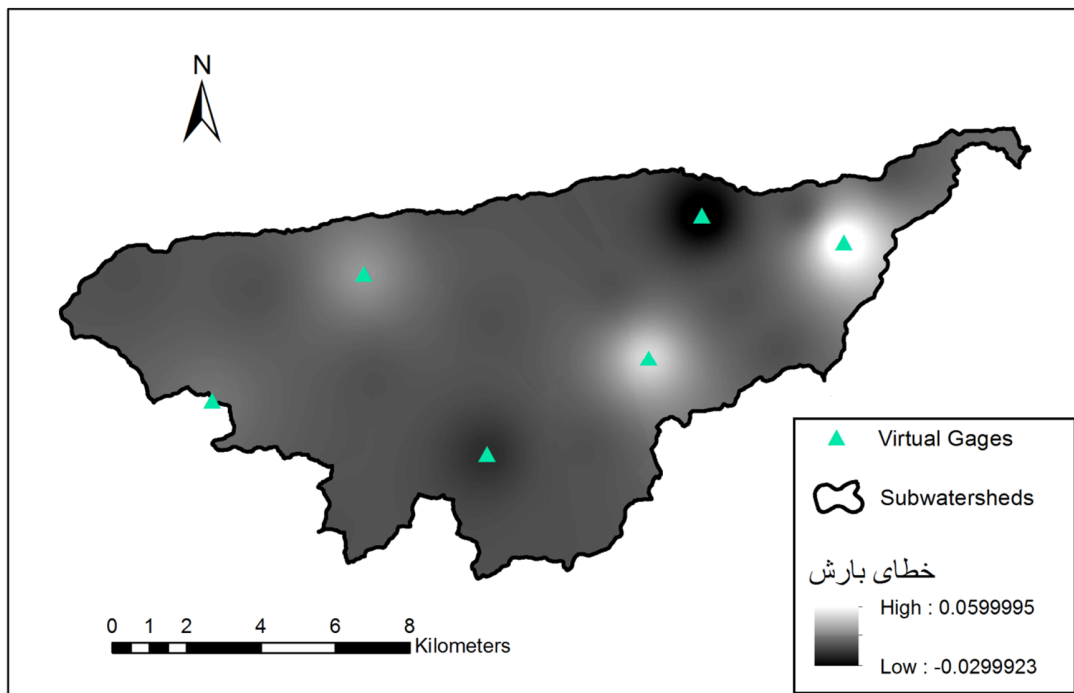
شکل ۳- همبستگی بارش تولید شده در ایستگاه‌های R044 و R012 در ماه‌های مختلف سال.



شکل ۴- همبستگی بارش تولید شده در ایستگاه‌های R067 و R012 در ماه‌های مختلف سال.



الف



ب

شکل ۵- الف) خطای بدست آمده ناشی از در نظر گرفتن بارش مشاهداتی در ۱۴ ایستگاه باران سنجی حقیقی در منطقه ماه مارس ب) خطای محاسبه شده با در نظر گرفتن بارش مشاهداتی در ۱۴ ایستگاه باران سنجی حقیقی + بارش شبیه‌سازی شده در ۶ ایستگاه مجازی ماه مارس.

- 12) Rodriguez-Iturbe, I., Cox, D. R., and V. Isham. 1987. Some models for rainfall based on stochastic point processes. Proc. R Soc. Lond. A 410, 269-288.
- 13) Shepard, D. 1968. A two dimensional interpolation function for irregularly-spaced data, Proceedings of the 1968 ACM Nat. Con: 517-524.
- 14) Srikanthan, R, and G. Pegram. 2009. A nested multisite daily rainfall stochastic generation model, J. Hydrol. 371:142-153.
- 15) Srikanthan R. and T.A. McMahon. 2001. Stochastic generation of annual, monthly and daily climate data: A review, Hydrol Earth Sys Sci, 5: 653-670.
- 16) Willems, P. 2001. A spatial rainfall generator for small spatial scales. Hydrol, 252:126-144.

منابع

- 1) نسیمی علیرضا و ضرغام محمدی. ۱۳۹۳، ارزیابی آسیب‌پذیری استان یزد در برابر خشکسالی با استفاده از شاخص بارش معیار و روش‌های زمین‌آماري، مجله مهندسی منابع آب صفحه ۷۹-۹۰. ۷.
- 2) زارعی سهیلا و احمد فاخری فرد. ۱۳۹۳، ارزیابی ارتباط زمانی خشکسالی‌های هواشناسی و آبشناسی با کاربرد برنامه‌ریزی‌های ژنتیک (GP) و سامانه‌ی استنتاج تطبیقی عصبی - فازی (ANFIS) در حوضه‌ی آبخیز صوفی‌چای، مجله مهندسی آب صفحه ۳۷-۵۰. ۷.
- 3) Cowpertwait, P.S.P. 1991. Further developments of the Neyman-Scott clustered point process for modelling rainfall, Water ResourRes, 27: 1431-1438.
- 4) Cowpertwait, P.S.P. 1995. A generalized spatial-temporal model of rainfall based on a clustered point process. Proceedings of the Royal Society of London, Series A 450, pp: 163-175.
- 5) Cowpertwait, P.S.P. 2002. A space-time Neyman-Scott model of rainfall: Empirical analysis of extremes, Water ResourRes Research, 38 (8), 1131-1138.
- 6) Cowpertwait, P.S.P., C. Kilsby,., and P.E. O'Connell. 2002. A space-time Neyman-Scott model of rainfall: empirical analysis of extremes. Water Resources Research, Vol. 38:1-14.
- 7) Cowpertwait, P.S.P., P.E. O'Connell, A.V. Metcalfe, and, J.A. Mawdsley 1996a. Stochastic point process modeling of rainfall: I. Single site fitting and validation. Hydrol. 175: 17-46.
- 8) Cowpertwait, P.S.P., P.E. O'Connell, A.V. Metcalfe, and J.A. Mawdsley. 1996. Stochastic point process modelling of rainfall: II. Regionalization and disaggregation. Hydrol. 175: 47-65.
- 9) Goodrich, D. C., T. O. Keefer, C. L. Unkrich, M. H. Nichols, H. B. Osborn, J. J. Stone, and J. R. Smith. 2008. Long-term precipitation database, Walnut Gulch Experimental Watershed, Arizona, United States, Water Resour. Res., 44: 5 doi:10.1029/2006WR005782.
- 10) Luyckx G., P. Willems & J. Berlamont (1998). Influence of the spatial variability of rainfall on sewer system design. In: Hydrology in a changing environment, H. Wheater and C. Kirby (ed.), John Wiley & Sons, Chichester, vol. III, 339-349; (ISBN 0-471-98680-6)
- 11) Mehrotra, R., and A. Sharma. 2007. Preserving low-frequency variability in generated daily rainfall sequences. Journal of Hydrology. 345: 102-120.