

کاربرد مدل ARMA در کاهش مقیاس و ارزیابی آثار تغییر اقلیم در مقیاس سالانه

محمد رضا خزائی*

استایار گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور

(دریافت: ۹۷/۵/۹، پذیرش: ۹۹/۷/۷، نشر آنلاین: ۹۹/۷/۷)

چکیده

با وجود قابلیت‌های ویژه مدل Autoregressive Moving Average (ARMA) برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم در مقیاس سالانه، این مدل در مطالعات پیشین تغییر اقلیم، به‌ندرت مورد توجه قرار گرفته است. علت اصلی آن، مشخص نبودن روش کاهش مقیاس برای سری‌های غیر نرمال است. سری‌های بارش در مقیاس‌های روزانه و ماهانه اغلب غیرنرمال است، اما بارش سالانه در بسیاری از مناطق از توزیع نرمال تبعیت می‌کند. در این مقاله عملکرد مدل سالانه ARMA با عملکرد مدل پرکاربرد روزانه LARS-WG (Long Ashton Research Station Weather Generator) برای تولید سری‌های سالانه بارش و دما مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد مدل ARMA آماره‌های مختلف بارش و دمای سالانه و توزیع فراوانی این متغیرها را در سری‌های مصنوعی به‌خوبی بازتولید می‌کند. اما مدل LARS-WG که عملکرد مناسبی در بازتولید آماره‌های روزانه دارد، عملکرد مناسبی در بازتولید توزیع فراوانی دمای سالانه ندارد. علت این امر ناتوانی LARS-WG در بازتولید نوسانات بین سالی (به‌طور خاص انحراف معیار سالانه) است. اثر تغییر اقلیم بر بارش و دمای سالانه ایستگاه هواشناسی‌نجان با استفاده از مدل ARMA تحت سناریوی اقلیمی مدل HADGEM2 (Hadley Centre Global Environment Model version 2) تحت سناریوی انتشار RCP4.5 (Representative Concentration Pathway 4.5) ارزیابی شد. نتایج حاکی از کاهش بارش و افزایش دما در دوره بازگشت-های مختلف است. بر این مبنای در نظر گرفتن اثر تغییر و در حدود ۹۰٪ نوسانات اقلیم، بارش ۲ ساله بین ۷ تا ۲۳ درصد نسبت به مقادیر مشاهداتی کاهش می‌یابد و دمای دو ساله بین ۲/۲ تا ۳/۸ درجه نسبت به مقادیر مشاهداتی افزایش می‌یابد.

کلیدواژه‌ها: تغییر اقلیم، ARMA، سالانه، بارش و دما، LARS-WG.

۱- مقدمه

روش‌های آماری استفاده می‌کنند تا سری‌های طولانی مدت داده-های هواشناسی را که در خصوصیات آماری به سری‌های مشاهداتی شبیه‌اند، باز تولید نمایند. پارامترهای این مدل‌ها، از سری‌های مشاهداتی به دست می‌آیند و برای تولید داده‌های اقلیم حال مورد استفاده قرار می‌گیرد. با تغییر پارامترها مطابق با سناریوهای تغییر اقلیم GCMs، می‌توان سناریوهای اقلیمی ریزمقیاس شده آینده را برای محل مورد نظر تولید نمود.

استفاده از این مدل‌ها مزایای متعددی دارد، از جمله:

۱- در سناریوهای ریزمقیاس شده، تغییرات هم در میانگین و هم در نوسانات اقلیمی در نظر گرفته می‌شود (Khazaei و همکاران، ۲۰۱۲؛ Khazaei و همکاران، ۲۰۱۳؛ Semenov و همکاران، ۱۹۸۸).

۲- در سری‌های تولیدشده توسط این مدل‌ها می‌توان همبستگی طبیعی بین متغیرهای مختلف را در سری‌های ریزمقیاس شده

در اثر افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای، اقلیم کره زمین در سال‌های آتی تغییر خواهد کرد (IPCC، ۲۰۰۱؛ PCC، ۲۰۱۳). برای کسب آمادگی و کاهش آثار زیان‌بار تغییر اقلیم در آینده، لازم است اثرات تغییر اقلیم پیش‌یابی و در برنامه‌ریزی‌های بلند مدت در نظر گرفت. مدل‌های گردش عمومی (GCM) ^۱ و اکنش اقلیم جهانی به غلظت گازهای گلخانه‌ای را شبیه‌سازی می‌کنند و سناریوهای اقلیمی آینده را برای سراسر کره زمین پیش‌یابی می‌کنند (IPCC، ۲۰۰۱). اما به‌دلیل وضوح ^۲ مکانی اندک خروجی GCM، استفاده مستقیم از آن‌ها برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در مقیاس محلی مناسب نیست. لذا اغلب لازم است خروجی این مدل‌ها با استفاده از یک روش مناسب زیر مقیاس شود.

یکی از روش‌های مهم و پرکاربرد کاهش مقیاس، استفاده از مدل‌های مولد داده‌های هواشناسی (WGs) ^۳ است. این مدل‌ها از

3. Weather Generators

1. General Circulation Model
2. Resolution

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۹۱۲۴۴۵۰۵۷۹

آدرس ایمیل: m_r_khazaei@yahoo.com (م. ر. خزائی).

مقاله، تا کنون از مدل‌های ARMA برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم آینده بر بارش سالانه (و ماهانه) استفاده نشده است. علت این امر مشخص نبودن روش اعمال تغییرات آماره‌ها (براساس سناریوهای تغییر اقلیم) برای سری‌هایی است که توزیع آن‌ها غیر نرمال است (Khazaei و همکاران، ۲۰۱۳).

Dubrovsky و همکاران (۲۰۰۴) مدل ماهانه AR (1) را برای تولید میانگین‌های ماهانه بارش و دما در مدل استوکستیک روزانه MET & Rol به کار برد تا نوسانات بین سال این مدل روزانه را اصلاح کنند. اما به دلیل دشواری و معلوم نبودن چگونگی کاهش مقیاس بارش در این مدل، از آن برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم استفاده نشده است (Khazaei و همکاران، ۲۰۱۳).

Khazaei و همکاران (۲۰۱۳) از مدل ARMA (1,0) برای اصلاح نوسانات بین سالی دما در مدل IWG که یک مولد داده‌های هواشناسی روزانه است، استفاده کردند. البته در این مدل نیز استفاده از مدل ماهانه برای بارش مطرح نبود. ایشان با استفاده از مدل IWG اثر تغییر اقلیم را در مناطقی از ایران ارزیابی کردند. Liu و همکاران (۲۰۱۵) از مدل ARMA برای بررسی تغییر اقلیم در دوره آماری گذشته استفاده کردند، اما در این مطالعه تغییر اقلیم آینده و کاهش مقیاس سناریوهای GCMها مطرح نبود.

در این مطالعه قابلیت مدل ARMA برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر سری‌های سالانه بارش و دما سنجیده شده است. همچنین عملکرد مدل سالانه ARMA با عملکرد مدل LARS-WG که یک مدل قابل قبول و پرکاربرد روزانه است برای ارزیابی آثار تغییر اقلیم در مقیاس سالانه مقایسه شده است. در ادامه اثر تغییر اقلیم بر توزیع سالانه بارش و دما در ایستگاه هواشناسی زنجان ارزیابی شده است. این مقاله به قابلیت‌های مدل ARMA به عنوان یک گزینه مناسب برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای بارش و دمای سالانه می‌پردازد که غالباً در مطالعات پیشین نادیده گرفته شده است.

۲- روش تحقیق

۲-۱- منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

این مطالعه بر روی ایستگاه هواشناسی زنجان انجام شده است. این ایستگاه در ۲۹° ۴۸' طول شرقی و ۴۱° ۳۶' عرض شمالی واقع شده است و ارتفاع آن ۱۶۶۳ متر از سطح دریا است. از داده‌های ثبت شده بارش و دمای روزانه و سالانه این ایستگاه در دوره ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ استفاده شده است. میانگین دما و بارش ایستگاه در این دوره به ترتیب ۱۰/۷ درجه سانتی‌گراد و ۳۰۴ میلی‌متر در سال است. بر اساس سیستم طبقه‌بندی دوماتون^۶، زنجان در این دوره دارای اقلیم نیمه مرطوب است. برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم از

حفظ کرد. این امر به‌ویژه برای ارزیابی اثرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم، هنگامی که از سری‌های اقلیمی به‌عنوان ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌شود، ضروری است.

۳- از دیگر مزایای ویژه این روش آن است که تعداد زیادی از سری‌های متغیرهای اقلیمی برای اقلیم آینده تولید می‌شود و به این ترتیب از عدم قطعیت بی‌نظمی‌ها و نوسانات طبیعی اقلیم در نتایج کاسته می‌شود (Khazaei و همکاران، ۲۰۱۳؛ Semenov و همکاران، ۱۹۸۸؛ Chapman، ۱۹۹۸).

عدم قطعیت نوسانات طبیعی اقلیمی حاصل ساختار تصادفی متغیرهای اقلیمی است و می‌تواند از مهم‌ترین عوامل عدم قطعیت باشد (Kay و همکاران، ۲۰۰۹).

روش‌های کاهش مقیاس با استفاده از WGها عموماً در گام زمانی روزانه توسعه یافته‌اند. مدل‌های LARS-WG (Semenov و Stratonovitch، ۲۰۱۰) و SDSM (Wilby و همکاران، ۲۰۰۲) از جمله مشهورترین این مدل‌ها در گام روزانه‌اند که به‌صورت وسیع در نقاط مختلف دنیا با موفقیت برای کاهش مقیاس خروجی GCMها به کار رفته‌اند. این مدل‌ها عموماً گشتاورهای مرتبه پایین بارش (میانگین و واریانس) و رفتار خشک- تر را در مقیاس روزانه به خوبی باز تولید می‌کنند، اما واریانس بین سالی (از جمله واریانس ماهانه یا سالانه) را به‌درستی باز تولید نمی‌کنند (IPCC، ۲۰۰۱؛ Rana و همکاران، ۲۰۱۴؛ Fowler و همکاران، ۲۰۰۷؛ Semenov و همکاران، ۱۹۹۸؛ Khazaei و همکاران، ۲۰۱۳؛ Dubrovsky و همکاران، ۲۰۰۴؛ Mavromatis و Hansen، ۲۰۰۱؛ Ng و همکاران، ۲۰۱۷ و Khazaei و همکاران، ۲۰۲۰). در بسیاری از مطالعاتی که کاهش مقیاس توسط مدل‌های روزانه انجام شده است، اثر تغییر اقلیم بر میانگین‌های ماهانه و سالانه نیز گزارش شده است. اما در این مطالعات عموماً تولید سری‌های سالانه متغیرها مورد توجه نبوده است و نه عملکرد مدل در مقیاس سالانه بررسی شده است و نه اثر تغییر اقلیم بر توزیع سالانه ارزیابی شده است (مالمیر و همکاران، ۱۳۹۵؛ صلاحی و همکاران، ۱۳۹۵؛ رضائی و همکاران، ۱۳۹۴).

مدل‌های WG روزانه می‌توانند برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر میانگین‌های ماهانه و سالانه به کار روند، اما به دلیل ضعف در بازتولید واریانس سالانه، در ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر سری زمانی و توزیع فراوانی در گام سالانه ناتوان‌اند. در مواردی که ارزیابی اثر تغییر اقلیم در این گام زمانی مورد نظر باشد (از جمله مطالعه دوره‌های چندساله خشک‌سالی)، مناسب است مستقیماً از مدل‌های سالانه استفاده شود. از مهم‌ترین مدل‌های استوکستیک^۴ سالانه (و ماهانه) مدل‌های خودهمبسته میانگین متحرک (ARMA)^۵ هستند. با وجود آن، بر مبنای بررسی نویسندگان این

6. De Martonne

4. Stochastic
5. Auto Regressive Moving Average

برای برازش مدل ARMA، لازم است در ابتدا سری مشاهداتی مورد آزمون‌هایی قرار گیرد و در صورت نیاز تبدیل‌هایی بر آن اعمال شود. ابتدا روند سری مشاهداتی بررسی می‌شود. از روش‌های پیشنهاد شده بررسی روند، آزمون t-student است (Salas و همکاران، ۱۹۸۰). در این روش سری زمانی مشاهداتی به دو نیمه تقسیم می‌شود و در صورتی که میانگین این دو سری تفاوت معنی‌داری نداشته باشد، فرض بدون روند بودن سری زمانی پذیرفته است. سپس نرمال بودن توزیع داده‌های سری زمانی بررسی می‌شود. این آزمون با بررسی چولگی داده‌ها انجام می‌شود. در صورت نرمال نبودن، لازم است ابتدا سری داده‌ها توسط یک تبدیل مناسب نرمال شود. سپس متغیرهای نرمال به متغیرهای نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس یک تبدیل می‌شوند. سپس بر سری اخیر مدل ARMA برازش می‌شود. درجات p و q مدل ARMA، در ابتدا از توابع خود همبسته γ (ACF) و خود همبسته جزئی (PACF)^۸ تخمین زده می‌شود (Salas و همکاران، ۱۹۸۰). برای تخمین پارامترهای مدل منتخب از روش حداقل مربع خطاها استفاده می‌شود. سپس آزمون‌هایی برای اطمینان از صحت انتخاب درجه مدل و تغییر آن در صورت نیاز انجام می‌شود. این آزمون‌ها در ادامه معرفی می‌شوند.

۱- پایداری پارامترها بررسی می‌شود. این آزمون برای آن است که مدل شرط پایداری را داشته باشد و با تولید یک سری طولانی مدت، دچار روند نشود. شرط مانایی برای مدل ARMA(1,0)، آن است که:

$$-1 < \phi < 1 \quad (2)$$

۲- آزمون‌های بعدی آزمون‌های استقلال باقی‌مانده‌ها و نرمال بودن باقی‌مانده‌ها است. برای انجام این آزمون‌ها، در ابتدا با استفاده از مدل و سری زمانی مبنا، باقی‌مانده‌ها محاسبه می‌شود.

۳- بهترین مدل ARMA، مدلی است که علاوه بر پذیرفته شدن در آزمون‌های فوق، دارای کم‌ترین تعداد پارامترها باشد. برای پرهیز از بیش‌برازش مدل^۹، باید مدلی انتخاب شود که ضمن توانایی شبیه‌سازی فرایند سری زمانی، از کم‌ترین تعداد پارامترها برخوردار باشد. به این منظور مدل با مدل‌های با درجه نزدیک به خود مقایسه می‌شود. برای این مقایسه از معیار آکائیک (AIC)^{۱۰} شده است که توسط رابطه (۳) تعریف می‌شود.

$$AIC(p, q) = N \ln(\sigma_\varepsilon^2) + 2(p + q) \quad (3)$$

در این رابطه، N تعداد داده‌ها در نمونه است. مدلی که معیار آکائیک آن حداقل باشد، در صورت قبولی در سایر آزمون‌ها، مدل نهایی خواهد بود.

سناریوهای بارش و دمای روزانه و سالانه مدل HADGEM2 تحت سناریوی انتشار RCP4.5 در دوره کنترل ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ و دوره آینده ۲۰۳۵ تا ۲۰۶۴ استفاده شده است.

۲-۲- معرفی مدل LARS-WG

مدل LARS-WG یکی معروف‌ترین مدل‌های روزانه WG است که به صورت گسترده در مطالعات ارزیابی آثار تغییر اقلیم برای کاهش مقیاس خروجی‌های GCMها به کار می‌رود. در این مدل ابتدا طول سری‌های متناوب خشک (روزهای بدون بارش) و تر (روزهای با بارش) به صورت تصادفی از توزیع‌های نیمه تجربی انتخاب شده و سپس مقدار بارش هر روز تر، به صورت تصادفی و مستقل، از توزیع تجربی مقادیر بارش همان ماه انتخاب می‌شود. توزیع‌های نیمه تجربی برای هر ماه تقویمی به صورت جداگانه از داده‌های مشاهداتی به دست می‌آیند. برای مدل‌سازی سری‌های دمای حداقل و دمای حداکثر روزانه، میانگین‌ها و انحراف معیار روزانه، به صورت جداگانه برای روزهای خشک و تر محاسبه شده و سیکل فصلی آن‌ها توسط سری فوریه درجه سه مدل شده و حذف می‌شود. پس از حذف سیکل میانگین و انحراف معیار، بر باقی‌مانده‌های متغیرهای دمای حداقل، دمای حداکثر، یک مدل خودهمبسته درجه اول (AR(1)) چند متغیره برازش داده می‌شود. در این مدل برای تخمین دماهای حداقل و حداکثر، به جای توزیع نرمال از توزیع نیمه تجربی استفاده می‌شود که برای هر ماه تقویمی و برای روزهای خشک و تر به صورت مجزا تعیین می‌گردد و پارامترهای آن با درون‌یابی به همه روزهای سال تعمیم داده می‌شود (Semenov و Stratonovitch، ۲۰۱۰).

۲-۳- معرفی مدل ARMA

مدل ARMA یک مدل استوکستیک سری زمانی است که در شبیه‌سازی سری‌های مصنوعی آب و هواشناسی به ویژه در مقیاس‌های ماهانه و سالانه کاربرد زیادی داشته است. اما در کاهش مقیاس سناریوهای اقلیمی کم‌تر مورد توجه بوده است. شکل کلی این مدل به صورت رابطه (۱) است:

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \dots + \phi_p z_{t-p} + \sigma_\varepsilon \xi_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (1)$$

در این مدل، z_t متغیر نرمال استاندارد گام زمانی t است. ϕ_1 تا ϕ_p ضرایب قسمت خودهمبسته و θ_1 تا θ_q ضرایب قسمت میانگین متحرک مدل است. ε_t باقی‌مانده گام زمانی t است، σ_ε انحراف معیار خطاها و ξ_t متغیر تصادفی نرمال استاندارد است. p و q به ترتیب درجات خودهمبسته و میانگین متحرک مدل هستند.

9. Over fitting

10. Akaike Information Criterion

7. Autocorrelation Coefficients

8. Partial Autocorrelation Coefficients

که در آن، S^O و S^F به ترتیب هر یک از دیگر آماره‌های مدل‌ها در سری مشاهداتی و سناریوی آینده ایستگاه است. S_{GCM}^C و S_{GCM}^F به ترتیب آماره متناظر خروجی GCM برای منطقه در دوره کنترل و سناریوی آینده است. در این روش هنگام استفاده از مدل LARS-WG آماره‌ها برای هر ماه تنظیم می‌شوند و هنگام استفاده از مدل سالانه ARMA به صورت سالانه تنظیم می‌شوند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مدل سازی ARMA

با استفاده از آزمون t همگنی و عدم روند معنی‌دار در سری‌های بارش و دمای سالانه بررسی شد. سری ۳۰ ساله هر متغیر به دو قسمت ۱۵ ساله اول و دوم تقسیم شد. مقادیر آماره t برای بارش و دما به ترتیب $۱/۳۶$ و $۱/۲۵$ به دست آمد. این مقادیر کوچک‌تر از $۲/۰۵$ است، لذا در سطح اعتماد ۵% میانگین دو نیمه سری تفاوت معنی‌داری ندارد.

در ادامه نرمال بودن سری‌های زمانی بارش و دمای مشاهداتی بررسی شده است. چولگی سری مشاهداتی سالانه بارش و دما به ترتیب برابر $-۰/۲۹$ و $-۰/۱۲$ است. چون قدر مطلق چولگی نمونه کوچک‌تر از $۰/۶۶۲$ است، فرض نرمال بودن هر یک از سری‌های بارش دمای سالانه ایستگاه زنجان در سطح اعتماد ۱۰% پذیرفته است (Salas و همکاران، ۱۹۸۰).

بر مبنای نمودارهای ACF و PACF و همچنین با توجه به مدل‌هایی که در مطالعات گذشته بر دما و بارش سالانه برآزش یافته‌اند، انتخاب اولیه برای سری زمانی بارش، مدل $ARMA(0,0)$ و برای سری زمانی دما، مدل $ARMA(1,0)$ تخمین زده شد. سپس برای انتخاب بهترین مدل با کم‌ترین تعداد پارامترها، مدل‌های با درجه بالاتر و پایین‌تر نیز بر هر یک از سری‌های زمانی بارش و دما برآزش شد. مقادیر AIC مدل‌های $ARMA$ با درجات مختلف برای بارش و دمای سالانه در جدول (۱) ارائه شده است.

برای دما، مدل $ARMA(1,0)$ و برای بارش مدل $ARMA(0,0)$ کوچک‌ترین مقدار AIC را دارد. تا این مرحله این مدل‌ها به عنوان مدل منتخب پذیرفته می‌شوند تا در ادامه، سایر آزمون‌های تکمیلی بر روی آن‌ها انجام شود.

برای مدل‌های $ARMA(1,0)$ برآزش شده بر دما، ضریب ϕ_1 برابر $۰/۵۲$ و واریانس خطاها σ_ϵ^2 برابر $۰/۷۳$ به دست آمد. شرط $1 < \phi_1 < -۱$ برای این مدل برقرار است و در نتیجه مدل دما از شرط مانایی پارامترها برخوردار است. برای مدل $ARMA(0,0)$ برآزش شده بر بارش، واریانس خطاها برابر یک به دست آمد. ضریب ϕ در این مدل صفر است و نیاز به بررسی شرط مانایی پارامترها ندارد.

سپس بر هر یک از سری‌های دما و بارش سالانه، مدل منتخب برآزش شد و مقادیر باقی‌مانده‌ها محاسبه شد. ضریب چولگی باقی‌مانده‌ها برای دما و بارش به ترتیب برابر $-۰/۶۰$ و $-۰/۳۰$ به دست

برای تولید داده توسط مدل منتخب ARMA، برای هر گام زمانی یک مقدار مستقل ξ به صورت تصادفی از توزیع نرمال استاندارد برداشته می‌شود. این مقدار در مدل منتخب وارد می‌شود و مقدار z_t در گام زمانی t تعیین می‌شود. سپس معکوس تبدیل‌های استانداردسازی، نرمال‌سازی و حذف روند (هر کدام که در مراحل قبل بر داده‌ها قبلاً اعمال شده باشد) به مقادیر z_t تولیدشده اعمال می‌شود و به این ترتیب سری مصنوعی متغیر مدل شده (بارش یا دما) با طول دلخواه تولید می‌شود.

۲-۴- ارزیابی عملکرد مدل‌ها

برای ارزیابی عملکرد هر یک از مدل‌های LARS-WG و ARMA، کفایت مدل برای بازتولید آماره‌های مشاهداتی آزموده می‌شود. این آزمون معمولاً برای آماره‌هایی انجام می‌شود که برای مدل‌سازی مهم هستند. میانگین، واریانس و توزیع فراوانی داده‌ها مشمول این آزمون هستند. شرط موفقیت مدل آن است که آماره‌های مشاهداتی در حدود اطمینان مثلاً ۹۰% آماره‌های سری‌های تولیدی توسط مدل قرار گیرد. این آزمون با تولید ۱۰۰ سری مصنوعی و مقایسه حدود ۹۰% آماره‌های آن‌ها با آماره‌های سری مشاهداتی انجام شد (Holman و همکاران، ۲۰۰۹؛ Kay و همکاران، ۲۰۰۷).

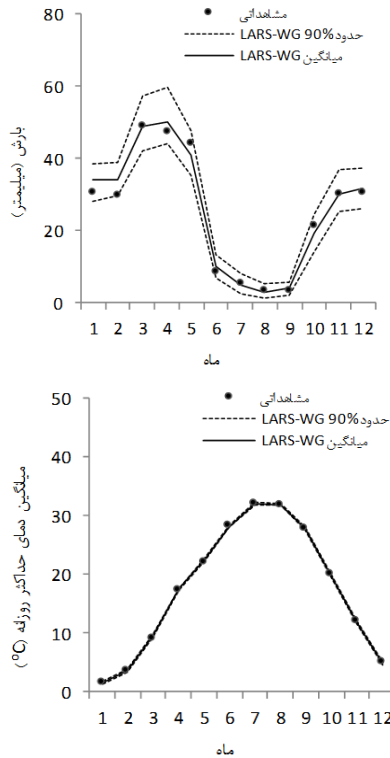
۲-۵- کاهش مقیاس

برای کاهش مقیاس توسط هر یک از مدل‌های ARMA و LARS-WG، آماره‌های مورد استفاده در مدل که از سری‌های مشاهداتی به دست آمده، مطابق با سناریوهای تغییر اقلیم تغییر داده می‌شود. سپس برای تولید سناریوهای آینده توسط مدل، به جای آماره‌های سری تاریخی، از آماره‌های ریزمقیاس شده (که از روابط (۴) و (۵) به دست می‌آید) استفاده می‌شود. این روش اساس کاهش مقیاس توسط مدل‌های WG استوکستیک است. در این روش برای تغییر میانگین دما از رابطه (۴) استفاده می‌شود.

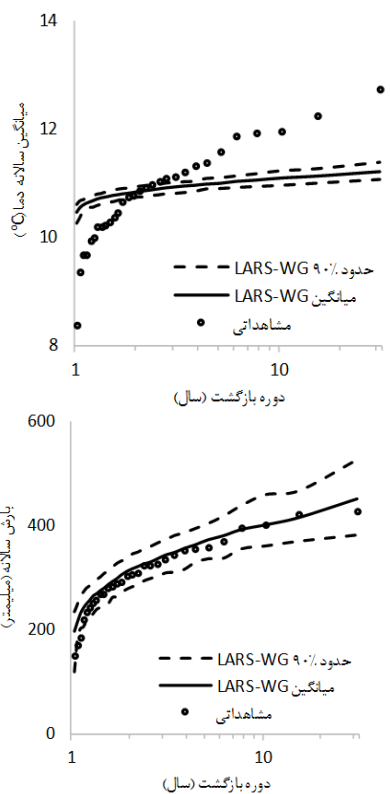
$$\bar{T}^F = T^O + (\bar{T}_{GCM}^F - \bar{T}_{GCM}^C) \quad (4)$$

که در آن، \bar{T}^O و \bar{T}^F به ترتیب میانگین دمای ایستگاه در دوره مشاهداتی و سناریوی آینده ایستگاه است. \bar{T}_{GCM}^C و \bar{T}_{GCM}^F به ترتیب میانگین دمای خروجی GCM برای منطقه در دوره کنترل و سناریوی آینده است. برای سایر آماره‌های مورد استفاده در مدل‌ها از جمله انحراف معیار دما، میانگین و انحراف معیار بارش و طول دوره‌های خشک و تر، از رابطه (۵) استفاده می‌شود.

$$S^F = S^O \times \frac{S_{GCM}^F}{S_{GCM}^C} \quad (5)$$



شکل ۲- عملکرد مدل در شبیه‌سازی میانگین ماهانه دمای حداکثر و بارش



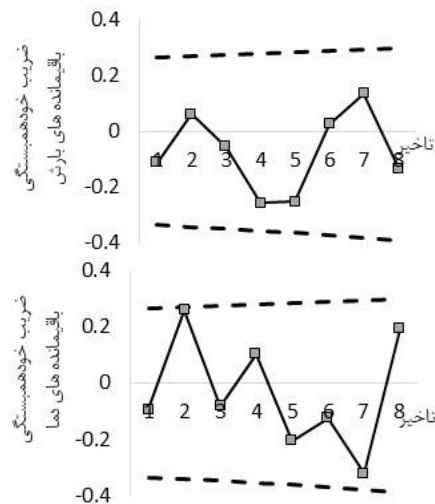
شکل ۳- عملکرد مدل LARS-WG در تولید توزیع بارش و دمای سالانه

آمد که چون قدر مطلق آن‌ها از ۰/۶۶ کوچک‌تر است، در سطح اعتماد ۱۰٪ فرض نرمال بودن باقی‌مانده‌ها پذیرفته است (Salas و همکاران، ۱۹۸۰).

نتایج آزمون استقلال باقی‌مانده‌ها به روش اندرسون^{۱۱} برای مدل‌های بارش و دما در شکل (۱) نشان داده شده است. ضرایب خودهمبستگی باقی‌مانده‌ها با تأخیرهای مختلف در محدوده استقلال باقی‌مانده‌ها قرار دارد و فرض استقلال باقی‌مانده‌ها با سطح اعتماد ۵٪ پذیرفته است (Salas و همکاران، ۱۹۸۰).

جدول ۱- معیار آکائیک مدل‌های محتمل سری زمانی سالانه

	ARMA (1,0)	ARMA (0,0)	ARMA (1,1)	ARMA (2,0)
دما	۲۵/۰۹	۲۶/۸۱	۲۷/۰۸	۲۶/۵۲
بارش	۳۴/۰۸	۳۲/۱۴	۳۶/۵۲	۳۶/۵۱



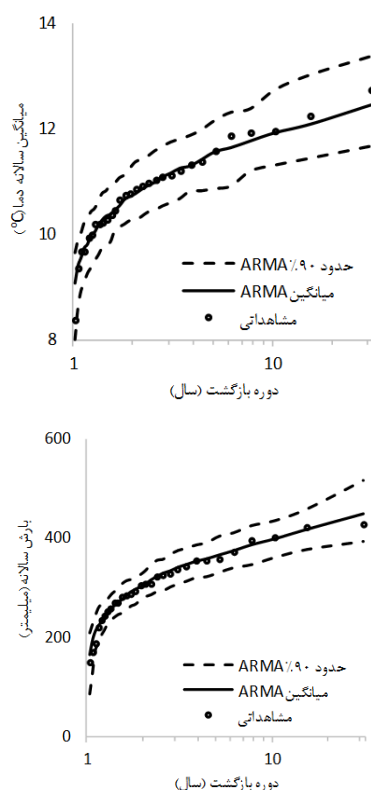
شکل ۱- نتایج آزمون استقلال باقی‌مانده‌ها به روش اندرسون برای مدل‌های بارش و دما

۳-۲- ارزیابی عملکرد LARS-WG و ARMA

توسط مدل LARS-WG ۱۰۰ سری ۳۰ ساله بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر روزانه تولید شد. با توجه به این که این مدل روزانه است، عملکرد مدل در تولید میانگین‌های بارش و دمای حداکثر در هر ماه در شکل (۲) به عنوان نمونه نشان داده است. میانگین‌های مشاهداتی عموماً در حدود ۹۰٪ میانگین‌های شبیه‌سازی شده قرار دارند که نشان از عملکرد مناسب مدل LARS-WG در مقیاس روزانه دارد.

تولیدشده توسط هر یک از دو مدل مقایسه شده است. هر دو مدل میانگین و چولگی را در حدود اطمینان ۹۰٪ به خوبی بازتولید کرده‌اند. اما مدل LARS-WG انحراف معیار دمای سالانه را به خوبی بازتولید نکرده است (جدول (۳)). در مطالعات بسیاری بیان شده است که مدل‌های WG روزانه از جمله LARS-WG نوسانات بین سالی، به خصوص واریانس مقادیر سالانه، را دست کم بازتولید می‌کنند.

با توجه به نتایج جدول (۳) علت انحراف توزیع دمای سالانه تولیدشده توسط LARS-WG از توزیع دمای سالانه مشاهداتی می‌تواند به علت ناتوانی مدل LARS-WG در بازتولید انحراف معیار سالانه دما باشد. این درحالی است که مدل ARMA آماره‌های هر دو متغیر، از جمله انحراف معیار دمای سالانه را به خوبی بازتولید کرده است.



شکل ۴- عملکرد مدل ARMA در تولید توزیع بارش و دمای سالانه

مدل LARS-WG سایر آماره‌های واریانس بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر روزانه و نسبت روزهای خشک و تر را نیز به خوبی بازتولید کرده است. لیکن با توجه این که هدف مقاله مقیاس سالانه است، در ادامه بر ارائه نتایج در این مقیاس تمرکز می‌شود.

با استفاده از داده‌های روزانه بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر، داده‌های سالانه بارش و دمای میانگین تولید شد. عملکرد مدل LARS-WG در بازتولید توزیع بارش و دمای سالانه در شکل (۳) نشان داده است. توزیع سری مشاهداتی بارش در حدود ۹۰٪ توزیع سری‌های بارش تولیدشده توسط مدل LARS-WG قرار دارد. این موضوع نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل LARS-WG در بازتولید داده‌های بارش سالانه است. اما عملکرد LARS-WG در بازتولید توزیع داده‌های دمای سالانه زنجان قابل قبول نیست. توزیع دمای سالانه مشاهداتی به کلی خارج از حدود ۹۰٪ توزیع‌های متناظر تولیدشده قرار دارد و شیب توزیع مشاهداتی نیز با شیب توزیع‌های تولیدشده مغایرت دارد.

با استفاده از مدل ARMA نیز ۱۰۰ سری ۳۰ ساله دما و بارش تولید شد. در شکل (۴) عملکرد مدل ARMA در بازتولید توزیع فراوانی بارش و دمای سالانه زنجان نشان داده شده است. توزیع مشاهداتی هر یک از متغیرها به خوبی در حدود ۹۰٪ توزیع‌های تولیدشده توسط مدل قرار دارد. به عبارت دیگر مدل ARMA توزیع‌های سالانه بارش و دما را به خوبی بازتولید کرده است که بیانگر عملکرد خوب مدل ARMA است. هر دو مدل LARS-WG و ARMA توزیع بارش‌های سالانه را به خوبی تولید کرده‌اند. اما مدل LARS-WG در بازتولید صحیح توزیع دمای سالانه عملکرد مناسبی ندارد. درحالی که مدل ARMA هر دو متغیر را به خوبی شبیه‌سازی کرده است. در جدول (۲) آماره‌های سری مشاهداتی ۳۰ ساله بارش سالانه با حدود ۹۰٪ آماره‌های ۱۰۰ سری ۳۰ ساله تولیدشده توسط هر یک از مدل‌ها مقایسه شده است. هر دو مدل آماره‌های میانگین، انحراف معیار و چولگی داده‌های مشاهداتی را در حدود اطمینان ۹۰٪ به خوبی بازتولید کرده‌اند. ضمن آن که میانه آماره‌های تولیدشده توسط مدل ARMA به آماره‌های مشاهداتی نزدیک‌تر است که عملکرد نسبتاً بهتر مدل ARMA در شبیه‌سازی بارش سالانه است. در جدول (۳) آماره‌های سری مشاهداتی دمای سالانه با حدود ۹۰٪ آماره‌های سری‌های

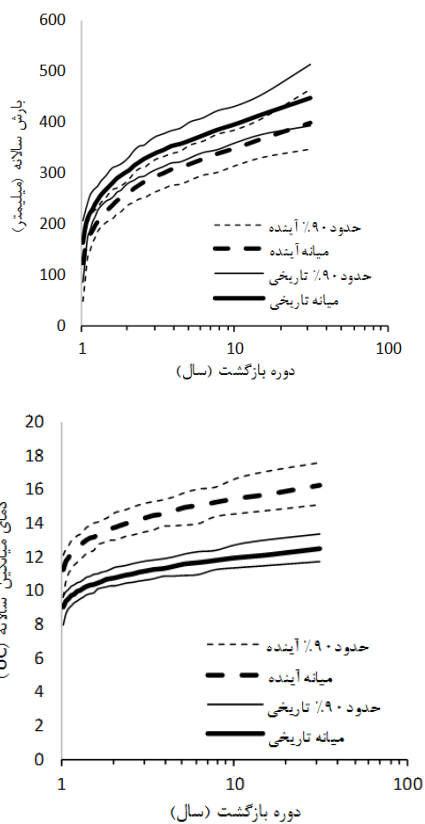
جدول ۲- عملکرد مدل‌های LARS-WG و ARMA در بازتولید آماره‌های بارش سالانه

آماره	مشاهداتی	LARS-WG			ARMA (0,0)		
		حد پائین ۹۰٪	میانه	حد بالای ۹۰٪	حد پائین ۹۰٪	میانه	حد بالای ۹۰٪
میانگین	۳۰۲	۲۸۴	۳۱۵	۳۳۸	۲۸۳	۳۰۵	۳۲۷
انحراف معیار	۷۰	۴۵	۶۲	۷۹	۵۴	۷۰	۸۷
چولگی	-۰/۲۲	-۰/۶۲	۰/۱۵	۱/۱۲	-۰/۶۴	-۰/۰۵	۰/۶۲

جدول ۳- عملکرد مدل‌های LARS-WG و ARMA در بازتولید آماره‌های دمای میانگین سالانه

آماره	مشاهداتی	ARMA (1,0)			LARS-WG		
		حد بالای ۹۰٪	میان	حد پائین ۹۰٪	حد بالای ۹۰٪	میان	حد پائین ۹۰٪
میانگین	۱۰/۷۸	۱۱/۲۳	۱۰/۷۵	۱۰/۳	۱۰/۸۴	۱۰/۷۵	
انحراف معیار	۰/۹۲	۱/۱۲	۰/۸۶	۰/۶۱	۰/۱۸	۰/۱۴	
چولگی	-۰/۳۱	۰/۶۱	-۰/۰۱	-۰/۰۸	۰/۰۷	-۱/۱۵	

این موضوع نشان می‌دهد که بر مبنای سناریوی مورد بررسی، با اطمینان ۹۰٪، حتی نوسانات اقلیمی نیز موجب نمی‌شود که دمای دوره آینده کم‌تر از دمای دوره تاریخی باشد. به این معنی که احتمال زیادی بر افزایش دما در آینده زنجان وجود دارد. مقایسه میان توزیع بارش‌های سالانه آینده و دوره تاریخی نشان‌دهنده کاهش بارش آینده نسبت به بارش سالانه دوره تاریخی در همه دوره بازگشت‌ها است؛ اما بازه ۹۰٪ توزیع بارش-های دوره آینده تا حدودی با بازه ۹۰٪ توزیع بارش‌های دوره تاریخی تداخل دارد. این موضوع نشان می‌دهد که با وجود آن‌که بارش اقلیم آینده کم‌تر از بارش اقلیم تاریخی است، اما به دلیل نوسانات طبیعی اقلیم و ساختار تصادفی بارش، این احتمال نیز وجود دارد که بارش آینده کاهش چشمگیری نداشته باشد.



شکل ۵- ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر بارش و دمای سالانه با استفاده از مدل ARMA با استفاده از سناریوی RCP4.5 مدل HADGEM2

نتایج نشان می‌دهد مدل سالانه ARMA کفایت لازم را برای بازتولید هر دو متغیر بارش و دمای سالانه را دارد، درحالی‌که عملکرد مدل روزانه LARS-WG در بازتولید صحیح دمای سالانه قابل قبول نیست. در ادامه، نتایج ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر بارش و دمای سالانه زنجان با استفاده از مدل ARMA ارائه می‌شود.

۳-۳- ارزیابی اثر تغییر اقلیم

آماره‌های مشاهداتی مورد استفاده در مدل ARMA مطابق با سناریوهای تغییر اقلیم بزرگ مقیاس مدل HADGEM2 تحت سناریوی انتشار RCP4.5 تغییر داده شد و ۱۰۰ سری ۳۰ ساله سناریوهای ریزمقیاس شده بارش و دمای دوره آینده ایستگاه زنجان توسط مدل‌های ARMA تولید شد. به دلیل نوسانات طبیعی اقلیم، با تولید ۱۰۰ سری ۳۰ ساله (به جای یک سری ۳۰ ساله)، دامنه‌ای از حالات محتمل هر شرایط اقلیمی تولید می‌شود. به این ترتیب با مقایسه دامنه ۹۰٪ شرایط اقلیمی آینده و گذشته، عدم قطعیت نوسانات اقلیمی در نتایج دیده می‌شود و نتایج مطمئن‌تری به دست می‌آید (Kay و همکاران، ۲۰۰۹؛ Khazaei و همکاران، ۲۰۱۲؛ خزائی و همکاران، ۱۳۹۷).

در شکل (۵) اثر تغییر اقلیم بر توزیع سالانه بارش و دما در ایستگاه زنجان مقایسه شده است. در این شکل حدود ۹۰٪ و میان ۱۰۰ توزیع سالانه دوره تاریخی با مقادیر متناظر دوره آینده مقایسه شده است. دامنه ۹۰٪ هر دوره، دامنه‌ای است که با وجود نوسانات اقلیمی، در ۹۰٪ اوقات انتظار می‌رود وقایع در داخل آن حدود اتفاق بیفتد. دامنه ۹۰٪ توزیع‌های دمای سالانه دوره تاریخی و دوره آینده به کلی جدا از هم است. به عنوان نمونه میان دمای دوره بازگشت دو سال توزیع‌های دوره تاریخی برابر ۱۰/۸ درجه سانتی‌گراد است که انتظار می‌رود در دوره آینده ۱۳/۷ برسد. اما این مقدار با توجه به نوسانات اقلیم در دوره تاریخی با حدود اطمینان ۹۰٪ می‌تواند بین ۱۰/۳ تا ۱۱/۳ باشد، اما در دوره آینده بین ۱۳ تا ۱۴/۶ خواهد بود. در دوره بازگشت تجاوز ۳۰ سال، میان توزیع‌های دمای دوره تاریخی مقدار ۱۲/۵ درجه سانتی‌گراد است، که انتظار می‌رود در دوره آینده به ۱۶/۳ برسد. البته با در نظر گرفتن نوسانات اقلیم، این مقدار در دوره تاریخی با حدود اطمینان ۹۰٪ می‌توانست بین ۱۱/۷ تا ۱۳/۴ باشد، اما در دوره آینده مقداری بین ۱۵/۱ تا ۱۷/۶ خواهد بود.

اقلیمی در حدود اطمینان ۹۰٪ می‌تواند بین ۲/۲ تا ۳/۸ درجه نسبت به مقادیر مشاهداتی باشد.

همچنین در میانه توزیع‌ها انتظار می‌رود بارش دوره آینده ۱۵٪ برای دوره بازگشت دو سال کاهش یابد. اما به دلیل نوسانات اقلیمی در حدود اطمینان ۹۰٪ کاهش بارش دوساله می‌تواند بین ۷ تا ۲۳ درصد نسبت به مقادیر مشاهداتی باشد. برای دوره بازگشت ۳۰ ساله در احتمالات عدم تجاوز، در میانه توزیع‌ها انتظار می‌رود بارش آینده ۲۵٪ کاهش یابد. این در حالی است این رقم به دلیل نوسانات اقلیمی می‌تواند بین ۱٪ افزایش تا ۷۱٪ کاهش نسبت به مقدار مشاهداتی (که تقریباً بر میانه توزیع تاریخی منطبق است) باشد.

شایان ذکر است که این نتایج تحت یک سناریوی انتشار میانه و یک مدل GCM است و نتایج با استفاده از سناریوهای انتشار و مدل‌های GCM دیگر می‌تواند مقداری متفاوت باشد. در صورت استفاده از دامنه‌ای از سناریوهای انتشار و مدل‌های GCM مختلف، دامنه‌ای از نتایج تولید خواهد شد که عدم قطعیت نتایج در آن دیده می‌شود و برای استفاده کاربردی قابلیت اطمینان بیشتری خواهد داشت. اما این پژوهش کاربرد یک روش کاهش مقیاس مناسب برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی در مقیاس سالانه را معرفی نموده است.

۵- مراجع

خزائی م ر، تحسین‌زاده ن، شرافتی ا، "تحلیل عدم قطعیت سناریوهای بارش و دمای حوضه سیرا تحت اثر تغییر اقلیم"، علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران، ۱۳، ۱۳۹۷، ۴۶(۴)، ۴۵-۵۱.

رضائی م، نهتانی م، مقدم‌نیاع، آبکار، ع، رضائی، م، "مقایسه روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و SDSM در ریزمقیاس کردن اندازه بارش سالانه شبیه‌سازی شده با HadCM3 (مطالعه موردی: کرمان، راور و رابر)"، مهندسی منابع آب، ۱۳۹۴، ۸(۲۴)، ۲۵-۴۰.

صلاحی ب، گودرزی م، حسینی س ا، "پیش‌بینی تغییرات دما و بارش در دهه ۲۰۵۰ در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه"، مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۳۹۵، ۸(۴)، ۴۲۵-۴۳۸.

مالمیر م، محمدرضاپور ا، آذری س ش، "ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیم بر تخصیص آب کشاورزی در سطح حوضه قره‌سو با مدل WEAP"، فصلنامه علمی- پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۳۹۵، ۲۳، ۱۴۳-۱۵۵.

Chapman T, "Stochastic modelling of daily rainfall: the impact of adjoining wet days on the distribution of rainfall amounts", Environmental Modelling and Software, 1998, 13, 317-324.

Dubrovsky M, Buchtele J, Zalud Z, "High-frequency and low-frequency variability in stochastic daily

به عنوان نمونه میانه بارش با دوره بازگشت دو سال توزیع‌های دوره تاریخی برابر ۳۰۴ میلی‌متر است که انتظار می‌رود در دوره آینده به ۲۶۰ میلی‌متر برسد. اما این مقدار در حدود ۹۰٪ توزیع-های دوره تاریخی بین ۲۷۹ تا ۳۲۹ میلی‌متر است که انتظار می‌رود در شرایط اقلیمی آینده بین ۲۳۵ تا ۲۸۴ باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله مدل ARMA به عنوان یک گزینه مناسب برای کاهش مقیاس سناریوهای سالانه خروجی مدل‌های GCM مورد استفاده قرار گرفته است و عملکرد آن با مدل معروف و پرکاربرد LARS-WG مقایسه شده است. مدل ARMA به عنوان یک مدل استوکستیک تولید داده‌ای مصنوعی در مطالعات هواشناسی و هیدرولوژیکی کاربرد وسیعی داشته است. با وجود آن که روش کاهش مقیاس سناریوهای اقلیمی با استفاده از مدل‌های مولد داده‌های هواشناسی (از جمله مدل ARMA) از مزایای ویژه‌ای برخوردار است و مولدهای روزانه از جمله LARS-WG بسیار به کار رفته‌اند، اما عموماً مدل ARMA برای کاهش مقیاس سناریوهای اقلیمی مورد توجه نبوده است. این موضوع به دلیل مشخص نبودن روش کاهش مقیاس داده‌های دارای چولگی است.

با وجود آن، دمای سالانه و بارش سالانه در بسیاری نقاط دارای توزیع نرمال است و برای کاهش مقیاس سناریوهای بزرگ مقیاس آن‌ها می‌توان به روش ارائه‌شده در این مقاله از مدل ARMA استفاده کرد.

ارزیابی و مقایسه عملکرد مدل ARMA و LARS-WG در ایستگاه زنجان نشان می‌دهد که مدل LARS-WG ویژگی‌های روزانه بارش و دما را به خوبی بازتولید می‌کند، اما در بازتولید صحیح واریانس و توزیع دمای سالانه ناتوان است. در مطالعات متعددی ضعف مولدهای روزانه داده‌های هواشناسی برای بازتولید واریانس و نوسانات بین سالی بیان شده است. اما مدل ARMA ویژگی‌های بارش و دمای سالانه شامل میانگین، واریانس و توزیع فراوانی را به خوبی بازتولید کرده است. در ادامه با استفاده از مدل ARMA خروجی‌های سالانه مدل HADGEM2 تحت سناریوی انتشار RCP4.5 برای دوره آینده ۲۰۳۵ تا ۲۰۶۴ برای ایستگاه هواشناسی زنجان ریزمقیاس شد و اثر تغییر اقلیم بر توزیع فراوانی بارش و دمای سالانه ارزیابی شد. برای در نظر گرفتن اثر نوسانات اقلیمی در نتایج، ۱۰۰ سری بارش و دمای سالانه برای هر یک از دوره‌های تاریخی (۱۹۷۱-۲۰۰۰) و آینده (۲۰۳۵-۶۴) توسط مدل ARMA تولید شد و میانه و حدود ۹۰٪ توزیع‌های متناظر تاریخی و آینده مقایسه شدند. بر این مبنای در میانه توزیع‌ها انتظار می‌رود دمای دوره آینده ۲/۹ درجه برای دوره بازگشت دو سال افزایش یابد. این در حالی است که این افزایش به دلیل نوسانات

- Semenov MA, Brooks RJ, Barrow EM, Richardson CW, "Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates", *Climate Research*, 1998, 10, 95-107.
- Semenov, MA, Stratonovitch, P, "Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts", *Climate Research*, 2010, 41, 1-14.
- Wilby RL, Dawson CW, Barrow EM, "SDSM- a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts", *Environmental Modelling and Software*, 2002, 17, 147-159.
- weather generator and its effect on agricultural and hydrologic modeling", *Climatic Change*, 2004, 63, 145-179.
- Fowler HJ, Blenkinsop S, Tebaldi C, "Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling", *International Journal of Climatology*, 2007, 27, 1547-1578.
- Holman IP, Tascone D, Hess TM, "A comparison of stochastic and deterministic downscaling methods for modelling potential groundwater recharge under climate change in East Anglia, UK: implications for groundwater resource management", *Hydrogeology Journal*, 2009, 17, 1629-1641.
- IPCC, "Climate change 2001. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", UK: Cambridge University Press, 2001.
- IPCC, "Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis", Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013.
- Kay AL, DaviesHN, Bell VA, Jones RG, "Comparison of uncertainty sources for climate change impacts: flood frequency in England", *Climatic Change*, 2009, 92, 41-63.
- Khazaei MR, Ahmadi S, Saghafian B, Zahabiyoun B, "A new daily weather generator to preserve extremes and low-frequency variability", *Climatic Change*, 2013, 119, 631-645.
- Khazaei MR, Zahabiyoun B, Saghafian B, "Assessment of climate change impact on floods using weather generator and continuous rainfall-runoff model", *International Journal of Climatology*, 2012, 32, 1997-2006.
- Khazaei, MR, Zahabiyoun B, Hasirchian, M, "Comparison of IWG and SDSM weather generators for climate change impact assessment", *Theoretical and Applied Climatology*, 2020, 140, 859-870.
- Liu Y, Wu J, Liu Y, Hu BX, Hao Y, Huo X, "Analyzing effects of climate change on streamflow in a glacier mountain catchment using an ARMA model", *Quaternary International*, 2015, 358, 137-145.
- Mavromatis T, Hansen JW, "Interannual variability characteristics and simulated crop response of four stochastic weather generators", *Agricultural and Forest Meteorology*, 2001, 109, 283-296.
- Ng JL, Aziz SA, Huang YF, Wayayok, A, Rowshon, MK, "Stochastic modelling of seasonal and yearly rainfalls with low-frequency variability", *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2017, 31, 2215-2233.
- Rana A, Foster K, Bosshard T, Olsson J, Bengtsson L, "Impact of climate change on rainfall over Mumbai using Distribution-based Scaling of Global Climate Model projections", *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2014, 1, 107-128.
- Salas JD, Delleur JW, Yevjevich V, Lane WL, "Applied modeling of hydrologic time series", *Water Resources Publications*, Littleton, CO, 1980, 484p.

EXTENDED ABSTRACT

Application of ARMA Model in Downscaling and Climate Change Impact Assessment in Annual Time-Scale

Mohammad Reza Khazaei *

Department of Civil Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

Received: 01 August 2018; Accepted: 29 September 2020

Keywords:

Climate change, ARMA, Annual, Precipitation and Temperature, LARS-WG.

1. Introduction

As a result of recent human activities, the concentration of greenhouse gases has been increased, and consequently, the temperature of the Earth's surface has been raised. Also, it is expected that the temperature of the Earth's surface will be increased in the future (IPCC, 2001; IPCC, 2013). This increase will also influence other climate variables such as precipitation. For an active adaptation strategy, it is necessary to assess the potential future climate change impacts. To obtain future climate scenarios, the most common tools are GCMs. Since the resolution of the GCM outputs is coarse, it is necessary to downscale its outputs. Among downscaling techniques, Weather Generator (WG) method has several unique advantages, such as: 1-Changes in various statistics, predicted by the GCMs experiments, may be preserved in downscaled series (Khazaei et al., 2013; Semenov et al., 1998). 2-WGs produce long-term series that decrease the uncertainty of climate variability (Chapman, 1998; Semenov et al., 1998). ARMA model and daily LARS-WG model are two stochastic WGs. LARS-WG is frequently used for climate change impact assessment. But despite the specific capabilities of the ARMA model to assess the impacts of climate change on an annual scale, this model has been rarely considered in previous climate change studies. The reason is that it is not clear how skewed series can be downscaled using this model (Khazaei et al., 2013). Precipitation series on the daily and monthly time-scales is often skewed, but annual rainfall in many areas has a normal distribution. In this paper, the performance of the annual ARMA model and the LARS-WG daily model for generating annual rainfall and temperature series is compared. Then, the ARMA model is utilized to downscale GCM outputs and climate change impact assessment.

2. Methodology

LARS-WG model was fitted to the daily temperature and precipitation series of the Zanjan station. Daily temperature and precipitation series were generated and an annual series were produced by aggregating the daily series. Also, annual ARMA models of various degrees were fitted to the observed annual temperature and precipitation series. Model tests, including the reliability of parameters, the parsimony of parameters, independence of residuals, and normality of residuals, were performed to the models to obtain the best model for each variable. Among the ARMA models, the ARMA (1, 0) for annual temperature and the ARMA (0, 0) for annual precipitation were found as the best for Zanjan station. For validation and comparison of the performance of the ARMA and the LARS-WG models, 100 series of each variable of length 30 years were generated. Statistical characteristics of the generated series were compared with the corresponding observed series characteristics. Observed statistics falling within the 90% interval of the corresponding generated statistics were considered as suitable model performance. ARMA models were selected for climate change impact assessment on annual precipitation and temperature. Downscaling using the ARMA model is described as follows: Using the annual GCM outputs for the control period and for the future scenario, annual averages and standard deviations of precipitation and temperature were calculated. Then relative changes of the GCM

* Corresponding Author

E-mail addresses: m_r_khazaei@yahoo.com (Mohammad Reza Khazaei).

output statistics were applied to the corresponding observed statistics. The obtained statistics were used instead of observed statistics in the ARMA model to generate future downscaled scenarios. Climate change impact on annual precipitation and temperature of the Zanjan station was assessed using HADGEM2 outputs under the RCP 4.5 scenario.

3. Results and discussion

The results show that the ARMA model well reproduces the various statistics of annual observed rainfall and temperature, as well as the frequency distribution of these variables. But the LARS-WG model, which has a good performance in the reproduction of daily statistics, does not have an acceptable performance in reproducing the annual distribution frequencies. It is because of the inability of the LARS-WG model in reproducing inter-annual variabilities (especially annual standard deviation) (Fig. 1). The results of climate change impact assessment on annual precipitation and temperature of the Zanjan station indicate that for various return periods, the temperature will be increased and precipitation will be decreased. Based on the results, by considering climate variability and change, 2-year return period precipitation will be decreased between 7% to 23% and 2-year return period temperature will be increased between 2.2 to 3.8°C with respect to the corresponding observed values.

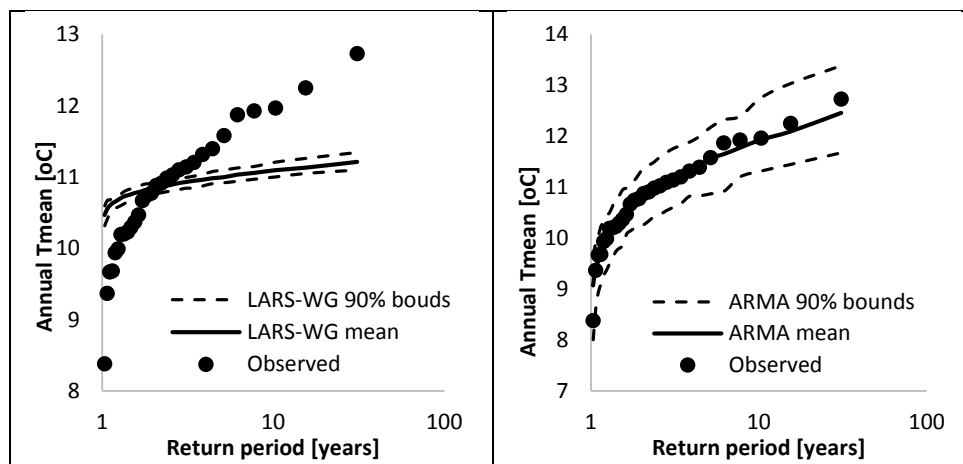


Fig. 1. Performance of ARMA and LARS-WG for the reproduction of annual temperature distribution

4. Conclusions

Since the memory of the LARS-WG daily weather generator is short, it cannot reproduce low-frequency variability. Furthermore, it underestimated the variance of the annual temperature. The performance of the ARMA model for the reproduction of annual precipitation and temperature characteristics is satisfactory. It is concluded that for assessment of climate change impacts in annual time-scale it is better to use the annual ARMA model. Moreover, climate change may impose a considerable increase in temperature and decrease in precipitation. As a result, it is necessary to consider the future climate change impacts to active adaptation strategy.

5. References

- Chapman T, "Stochastic modelling of daily rainfall: the impact of adjoining wet days on the distribution of rainfall amounts", *Environmental Modelling and Software*, 1998, 13, 317-324.
- IPCC, "Climate change 2001. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", UK: Cambridge University Press, 2001.
- IPCC, "Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis", Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013.
- Khazaei MR, Ahmadi S, Saghafian B, Zahabiyoun B, "A new daily weather generator to preserve extremes and low-frequency variability", *Climatic Change*, 2013, 119, 631-645.
- Semenov MA, Brooks RJ, Barrow EM, Richardson CW, "Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates", *Climate Research*, 1998, 10, 95-107.