

## مقدمه

به علت افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای، متغیرهای اقلیمی مناطق مختلف کره زمین در حال تغییر است و پیش‌بینی می‌شود این تغییرات در آینده ادامه یابد [۴]. برنامه‌های توسعه‌ای هر منطقه به شرایط اقلیمی آن منطقه، از جمله مقدار بارش و دما وابسته است. به صورت سنتی از مقادیر متغیرهای اقلیمی ثبت شده در گذشته برای طرح‌هایی استفاده می‌شود که قرار است در آینده اجرا و بهره‌برداری شوند. این در حالی است که به دلیل تغییر اقلیم، مشخصات متغیرهای اقلیم آینده با مشخصات متغیرهای اقلیم گذشته تفاوت خواهد داشت. لذا لازم است متغیرهای اقلیمی برای شرایط تغییر یافته‌ی آینده پیش‌یابی شود.

متغیرهای اقلیمی آینده را نمی‌توان با قطعیت تعیین نمود و عواملی برای عدم قطعیت‌های تعیین متغیرهای اقلیمی آینده مطرح است [۱۰، ۱۲، ۱۴ و ۱۶]. یکی از عوامل این عدم قطعیت‌ها، مشخص نبودن قطعی روند انتشار و غلظت گازهای گلخانه‌ای در آینده است. به همین علت یک سری از سناریوهای مختلف برای انتشار گازهای گلخانه‌ای در آینده ارائه شده است، تا حالات محتمل آینده را در بر گیرد. با ورود سناریوهای انتشار به مدل‌های گردش عمومی (GCMs<sup>4</sup>)، متغیرهای اقلیمی از جمله بارش و دما برای سراسر کره زمین تحت هر سناریوی انتشار شبیه‌سازی می‌شود. عامل مهم دیگری برای عدم قطعیت پیش‌بینی‌های اقلیمی آینده، نوسانات طبیعی اقلیم است [۵، ۷ و ۸]. به علت ساختار تصادفی متغیرهای اقلیمی، حتی برای یک شرایط اقلیمی مشخص نیز حالات مختلفی می‌تواند اتفاق بیفتد که مقادیر ثبت شده (یا پیش‌بینی GCM برای یک دوره مشخص) تنها یک نمونه از آن حالات است. مشخصات آماری متغیرها در نوسان است و نمی‌توان انتظار داشت که یک سری اقلیمی مثلاً ۳۰ ساله گذشته، حتی در یک شرایط اقلیمی ثابت، در دوره بعدی نیز تکرار شود. لذا نوسانات اقلیمی از عوامل مهم عدم قطعیت پیش‌بینی‌های اقلیمی است [۵ و ۷]. لذا برای ایجاد طرح‌هایی که به متغیرهای اقلیمی وابسته هستند، ضروری است دامنه رخدادهای محتمل با یک درجه اطمینان منطقی در نظر گرفته شود. این امر می‌تواند با استفاده از مدل‌های استوکستیک<sup>۵</sup> و تولید تعداد زیادی از سری‌های مصنوعی محقق شود. سری‌های اقلیمی تولید شده به این روش، خصوصیات اقلیمی مشابه خصوصیات داده‌های پایه دارند، اما در جزئیات تفاوت‌هایی دارند که دامنه وسیعی

## تحلیل عدم قطعیت سناریوهای بارش و دمای حوضه سیرا تحت اثر تغییر اقلیم

محمد رضا خزائی<sup>۱</sup>، نازیلا تحسین زاده<sup>۲</sup> و احمد شرافتی<sup>۳</sup>  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۴

## چکیده

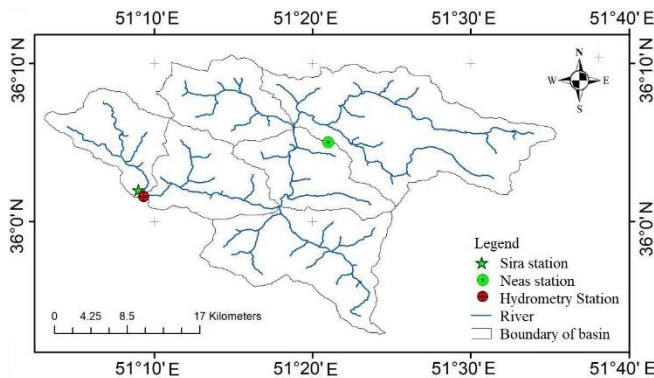
نتایج ارزیابی آثار آینده‌ی تغییر اقلیم با عدم قطعیت‌هایی همراه است. در نظر گرفتن دامنه عدم قطعیت‌ها موجب افزایش قابلیت اعتماد نتایج می‌شود. در این پژوهش اثر تغییر اقلیم دوره ۲۰۶۵-۲۰۳۶ بر بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر روزانه حوضه سیرا با استفاده از مدل LARS-WG ارزیابی شده است و عدم قطعیت نوسانات اقلیمی و سناریوهای انتشار جدید RCP2.6، RCP4.5، RCP5.5 و RCP8.5 مدل HadGEM2 در نتایج بررسی شده است. نوسانات اقلیمی از عوامل مهم عدم قطعیت است که در مطالعات پیشین کمتر مورد توجه بوده است. نتایج نشان می‌دهد برای بارش، دامنه سناریوهای آینده تحت تغییر و نوسانات اقلیمی با دامنه دوره نوسانات تاریخی هم‌پوشانی دارد. در نتیجه به طور قطع نمی‌توان گفت که بارش در آینده افزایش یا کاهش می‌یابد. اما در میانه سناریوهای محتمل انتظار می‌رود بارش سالانه تغییری بین یک درصد افزایش تا نه درصد کاهش داشته باشد. برای دما، دامنه سناریوهای آینده کاملاً خارج از حدود نوسانات اقلیمی دوره تاریخی است و اطمینان زیاد برای افزایش دمای اغلب ماه‌های سال و تغییر سیکل فصلی دما وجود دارد. در میانه سناریوهای محتمل انتظار می‌رود میانگین دما بین ۲/۱ تا ۳ درجه افزایش یابد.

**کلید واژه‌ها:** عدم قطعیت، نوسانات اقلیمی، سیرا، تغییر اقلیم، بارش و دما

۱- نویسنده مسئول و استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور. پست الکترونیک: m\_r\_khazaei@yahoo.com  
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مدیریت ساخت و آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران  
۳- استادیار گروه مدیریت ساخت و آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

4- General Circulation Models  
5-Stochastic

منطقه مورد مطالعه حوضه سیرا واقع در دامنه جنوبی البرز مرکزی در محدوده جغرافیای ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه تا ۵۱ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی است (شکل ۱). از داده‌های بارش ایستگاه نسا در نزدیکی مرکز حوضه و داده‌های دمای حداقل و حداکثر روزانه ایستگاه سیرا در خروجی حوضه در دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰ استفاده شده است. داده‌های دما می‌تواند توسط رابطه دما-ارتفاع به نقاط مختلف حوضه تعمیم داده شود. مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول ۱ آمده است.



شکل ۱- حوضه مورد مطالعه

Fig 1. The study basin

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی

Table 1. Characteristics of weather stations

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
Station	Longitude	Latitude	Elevation (m)
نسا	51° 12'	36° 03'	2300
سیرا	51° 05'	36° 01'	1790

## روش ریزمقیاس نمایی و تولید داده

برای ریزمقیاس نمایی سناریوهای بزرگ مقیاس GCM و تولید سری‌های طولانی مدت متغیرها در اقلیم فعلی و آینده، از مدل LARS-WG استفاده شده است [۱۲]. مدل LARS-WG یکی از مدل‌های مولد داده‌های تصادفی هواشناسی (WG<sup>1</sup>) است که برای تولید بارش، تابش، دمای حداکثر و دمای حداقل روزانه در یک ایستگاه تحت یک شرایط اقلیمی به کار می‌رود. مدل‌های WG، عموماً از داده‌های هواشناسی روزانه مشاهداتی در یک ایستگاه برای محاسبه یک مجموعه از پارامترها برای توزیع‌های احتمال متغیرهای هواشناسی، به علاوه ارتباط بین آن‌ها استفاده می‌کنند. سپس برای تولید سری‌های

از حالات محتمل آن شرایط اقلیمی را فراهم می‌کنند و عدم قطعیت نتایج کاسته می‌شود [۱ و ۱۲].

از طرف دیگر، خروجی مدل‌های GCMها بزرگ مقیاس است و نوعاً در شبکه‌ای به ابعاد ۳۰۰ کیلومتر ارائه می‌شود. برای استفاده در مطالعات منطقه‌ای، لازم است سناریوهای اقلیمی GCMها ریزمقیاس شود. روش‌های ریزمقیاس نمایی متعددی توسعه یافته است. در این میان، استفاده از مدل‌های استوکستیک هواشناسی (WG) برای کاهش مقیاس از مزایای ویژه‌ای برخوردار است. یک WG توسط سری‌های مشاهداتی واسنجی می‌شود و سپس می‌تواند سری‌های متعددی از متغیرها را برای شرایط اقلیمی گذشته تولید کند که متغیرهای ثبت شده تنها یک حالت محتمل از آن‌هاست. مدل‌های WG با تولید تعداد زیادی از سری‌های اقلیمی، دامنه‌ای از حالات ممکن را ارائه می‌کنند. در نتیجه عدم قطعیت نتایج کاسته می‌شود. با تغییر آماره‌های مورد استفاده در WG بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم GCM، می‌توان سناریوهای ریزمقیاس شده آینده را برای یک ایستگاه هواشناسی تولید کرد [۱۲]. از دیگر مزایا استفاده از WGها امکان انتقال تغییرات مشخصات مختلف متغیرهای اقلیمی (از جمله تغییرات میانگین، طول دوره‌های خشک و تر و واریانس متغیرها) از سناریوهای بزرگ مقیاس به سناریوهای ریزمقیاس یافته است [۲]. از مزایای دیگر استفاده از WGها برای کاهش مقیاس آن است که در این روش همبستگی طبیعی مقادیر بارش و دما را در سری‌های ریزمقیاس شده حفظ می‌شود، که این برای کاربردهای بعدی، مثلاً برای ارزیابی آثار هیدرولوژیکی تغییر اقلیم، ضروری است [۳ و ۶]. یکی از این مدل‌ها که به‌عنوان یک روش کاهش مقیاس خوب به رسمیت شناخته شده است، مدل LARS-WG است [۶]. در گذشته در مطالعات متعددی از مدل LARS-WG استفاده شده است [۹، ۱۱، ۱۴، ۱۶ و ۱۷]. بررسی عدم قطعیت‌های نوسانات اقلیمی و سناریوهای انتشار RCP و همچنین استفاده از قابلیت مدل در انتقال تغییرات مشخصات مختلف متغیرهای اقلیمی از سناریوهای بزرگ مقیاس به سناریوهای ریزمقیاس یافته کمتر مورد توجه بوده است. شاهبول-الم و الشوریباگی [۱۵] در ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر بارش‌های حادی در ایستگاه Saskatoon کانادا توسط مدل LARS-WG از سناریوهای RCP استفاده کردند. ایشان دو روش شامل: ۱- روش متداول انتقال تغییر میانگین‌ها و ۲- انتقال تغییرات مشخصات مختلف متغیرهای اقلیمی به سناریوهای ریزمقیاس شده را مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که لازم است از روش دوم برای ریزمقیاس نمایی استفاده شود.

هدف از این مقاله، تولید سناریوهای معتبر آینده‌ی بارش و دمای روزانه حوضه سیرا و ارزیابی اثر تغییر اقلیم تحت سناریوهای جدید انتشار RCP بر آن‌ها است. در این خصوص در ریزمقیاس نمایی، تغییرات مشخصات مختلف متغیرهای اقلیمی به سناریوهای ریزمقیاس شده منتقل شده است و برای حصول نتایج مطمئن‌تر برای اتخاذ تدابیر سازگاری با شرایط تغییر یافته آینده، دامنه عدم قطعیت نوسانات طبیعی اقلیم و سناریوهای انتشار در نتایج بررسی شده است.

Table 2. P-Values for averages

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
0.68	0.65	0.56	0.07	0.84	0.77	0.6	0.89	0.32	0.6	0.98	0.71	بارش Rainfall
0.82	0.97	0.18	0.56	0.23	0.03	0.18	0.34	0.95	0.86	0.89	0.97	دمای حداکثر Maximum Temperature
0.8	0.85	0.51	0.77	0.55	0	0.13	0.45	0.16	0.91	0.62	0.28	دمای حداقل Minimum Temperature

آماره‌های یک سناریوی آینده به دست می‌آید.

$$\bar{T}_{fut.i} = (\bar{T}_{GCM.fut.i} - \bar{T}_{GCM.base.i}) + \bar{T}_{Obs.i} \quad (1)$$

$$S_{fut.i} = S_{Obs.i} \times (S_{GCM.fut.i}/S_{GCM.base.i}) \quad (2)$$

در روابط فوق  $\bar{T}_{fut.i}$  میانگین دمای آینده (برای دمای حداکثر و دمای حداقل به صورت مجزا) است.  $\bar{T}_{GCM.fut.i}$  میانگین دمای شش‌ساعته، شده توسط مدل GCM در دوره آتی برای ماه  $i$  و  $\bar{T}_{GCM.base.i}$  میانگین دمای شبیه‌سازی شده توسط GCM در دوره کنترل (همزمان با دوره مشاهداتی) برای ماه  $i$  می‌باشد.  $S$  سایر هر یک از سایر آماره (میانگین‌های بارندگی، واریانس دما، طول دوره‌های خشک و طول دوره‌ها تر) است.  $S_{fut.i}$  آماره  $S$  آینده ریز مقیاس شده برای ماه  $i$  است.  $S_{GCM.fut.i}$  آماره  $S$  شبیه‌سازی شده توسط مدل GCM در دوره آتی برای ماه  $i$  و  $S_{GCM.base.i}$  آماره  $S$  شبیه‌سازی شده توسط GCM در دوره کنترل (همزمان با دوره مشاهداتی) برای ماه  $i$  می‌باشد.

#### سناریوهای اقلیمی

سناریوهای اقلیمی مورد استفاده، خروجی‌های مدل HadGEM2 تحت چهار سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای RCP، RCP 2.6، RCP 4.5، RCP 6.5 و RCP 8.5 در دوره ۲۰۳۶-۶۵ و دوره کنترل ۱۹۷۱-۲۰۰۰ است. به دلیل آن‌که میزان انتشار و غلظت گازهای گلخانه‌ای در آینده مشخص نیست، چهار سناریوی محتمل برای انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط IPCC<sup>۱</sup> منتشر شده است که حالات مختلفی که ممکن است در آینده اتفاق بیفتد را در بر می‌گیرد. احتمالی برای این سناریوها تعیین نشده است و احتمال و اعتبار همه‌ی آن‌ها یکسان در نظر گرفته می‌شود. لیکن استفاده از مجموع ۴ سناریو، حالات محتمل برای آینده را در بر می‌گیرد و دامنه‌ی عدم قطعیت نتایج را تعیین می‌کند که در ایجاد طرح‌های پیشگیرانه‌ی آینده برای تصمیم‌گیران اهمیت دارد. مدل HadGEM2 یکی از مدل‌های GCM سری پنجم یا CMIP5ها می‌باشد که در سال ۲۰۱۴ معرفی شده است. این مدل برای سناریوهای انتشار جدید (RCP (2010) توسعه داده شده است. وضوح خروجی‌های مدل HadGEM2 در امتداد عرض جغرافیایی برابر ۱/۲۵ درجه و در

زمانی متغیرهای هواشناسی مصنوعی با طول دلخواه از طریق انتخاب تصادفی مقادیر از توزیع‌های آماری با پارامترهای تعیین شده استفاده می‌شود. به این ترتیب می‌توان سری‌های داده‌های هواشناسی با طول دلخواه را تولید کرد. در حالی که طول سری‌های مشاهداتی کوتاه و نوعاً ۳۰ سال است، با استفاده از یک مدل WG می‌توان به تعداد کافی (مثلاً ۱۰۰ سری ۳۰ ساله) داده تولید کرد که ویژگی‌های اقلیمی همان سری‌های مشاهداتی را دارد، اما دامنه وسیعی از حالات محتمل را تولید می‌کند و به این ترتیب از عدم قطعیت نوسانات اقلیمی در نتایج کاسته می‌شود. در مدل LARS-WG از توزیع‌های نیمه تجربی استفاده می‌شود که پارامترهای آن توسط داده‌های مشاهداتی تعیین می‌شود. با تغییر آماره‌های مورد استفاده در مدل (آماره‌های مشاهداتی) مطابق با تغییرات پیش‌بینی شده GCMها و سپس تعیین پارامترهای مجدد مدل برای آماره‌های تغییر یافته، سناریوی اقلیم آینده روزانه برای این ایستگاه تولید می‌شود.

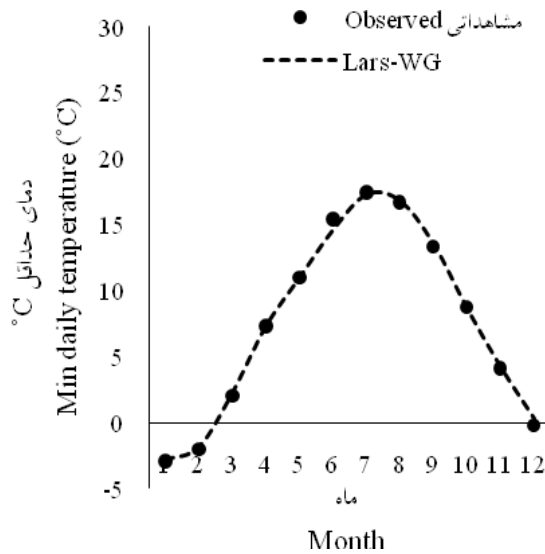
برای ارزیابی عملکرد مدل، آماره‌های متغیرهای تولید شده با آماره‌های متناظر مشاهداتی توسط آزمون‌های آماری در سطح معنی‌داری ۵ درصد مقایسه می‌شوند. برای میانگین‌های متغیرها در هر ماه از سال از آزمون  $t$  استفاده می‌شود. برای مقایسه انحراف معیارها از آزمون  $F$  و برای مقایسه توزیع‌های مقادیر بارش، طول دوره‌های خشک و طول دوره‌های بارانی از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده می‌شود. این آزمون‌ها بر مبنای این فرض استوارند که داده‌های هواشناسی تولید شده و مشاهداتی نمونه‌هایی تصادفی از یک جامعه هستند. هر آزمون یک مقدار P-value تولید می‌کند که احتمال آن‌که هر دو نمونه (مشاهداتی و تولید شده) از یک جامعه باشند را نشان می‌دهد. در صورتی که مقدار P-value بزرگتر از ۰/۰۵ به دست آید، بیانگر آن است که عملکرد مدل در سطح معنی‌داری ۵٪ قابل قبول است [۱۲ و ۱۳].

روش تغییر آماره‌های مورد استفاده در مدل LARS-WG برای تولید سناریوهای ریزمقیاس شده آینده به شرح زیر است [۱۲]. مقادیر میانگین‌های بارندگی، واریانس دما، طول دوره‌های خشک و طول دوره‌ها تر هر ماه سال در دوره کنترل و هر یک از سناریوهای آینده در سلول منطقه مورد مطالعه محاسبه می‌شود. با استفاده از رابطه (۱) برای میانگین‌های دما، و رابطه (۲) برای میانگین‌های بارندگی، واریانس دما، طول دوره‌های خشک و طول دوره‌های تر

**نتایج**

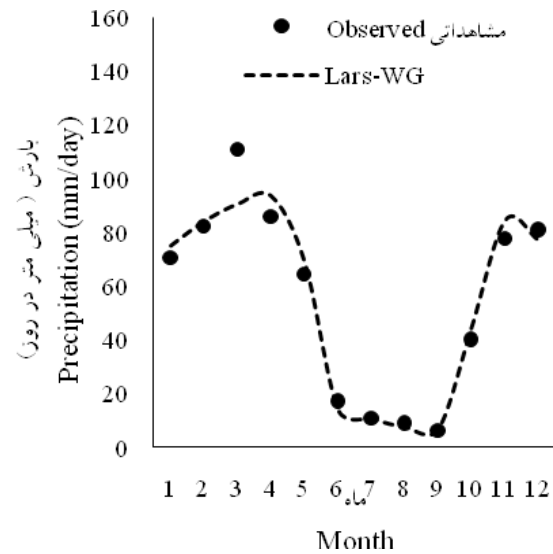
مقادیر P-Value آزمون t-student برای میانگین‌های متغیرهای بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر در هر ماه از سال در جدول ۲

ارائه شده است. برای سایر آزمون‌ها نیز مقادیر P-Value در اغلب موارد بیش از ۰/۰۵ است و لذا در سطح معنی‌داری پنج درصد، عملکرد مدل قابل قبول است. در شکل‌های ۲ و ۳ نیز میانگین‌های مشاهداتی و تولید شده (برای دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰) به ترتیب برای بارش روزانه و دمای حداقل روزانه مقایسه شده است که عملکرد



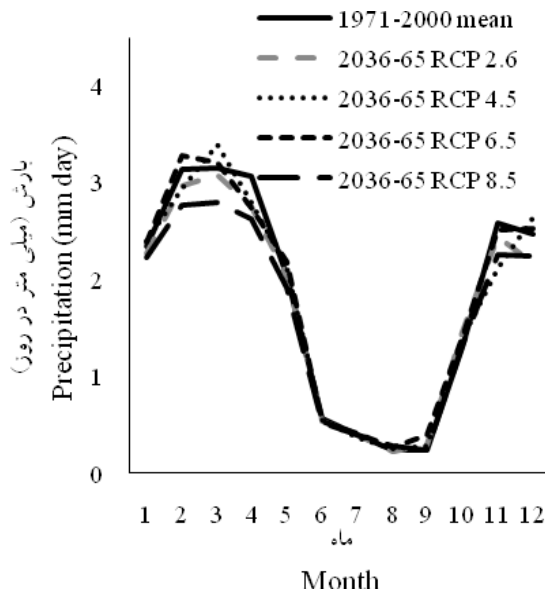
شکل ۳- مقایسه میانگین‌های ماهانه دمای حداقل روزانه تولید شده و مشاهداتی. محور افقی ماه‌های سال از ژانویه (۱) تا دسامبر (۱۲) است.

Fig 3. Comparison of generated and observed monthly means of minimum daily temperature. The horizontal axis is the months of the year from January (1) to December (12).



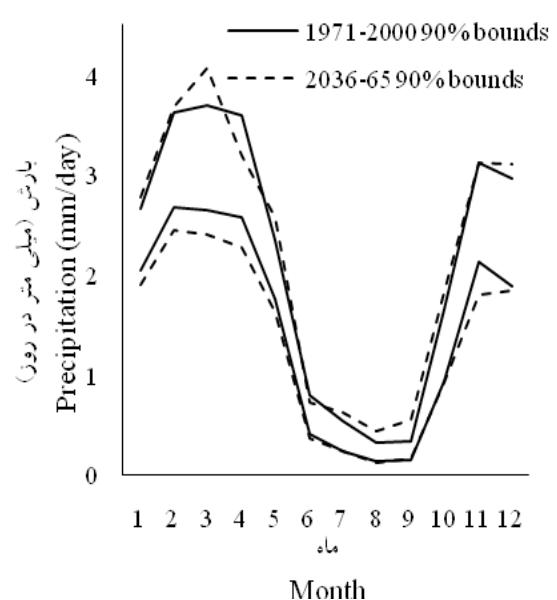
شکل ۲- مقایسه میانگین‌های ماهانه بارش روزانه تولید شده توسط LARS-WG با مقادیر متناظر مشاهداتی. محور افقی ماه‌های سال از ژانویه (۱) تا دسامبر (۱۲) است.

Fig 2. Comparison of generated and observed monthly means of precipitation. The horizontal axis is the months of the year from January (1) to December (12).



شکل ۵- مقایسه میانگین‌های بارش دوره ۲۰۳۶-۲۰۶۵ و دوره تاریخی

Fig 5. Comparison of historical and future precipitation means.



شکل ۴- مقایسه حدود ۹۰ درصد میانگین‌های بارش دوره تاریخی و دوره آینده

Fig 4. Comparison of historical and future 90% bounds of mean precipitation

مناسب مدل را در این خصوص نشان می‌دهد.

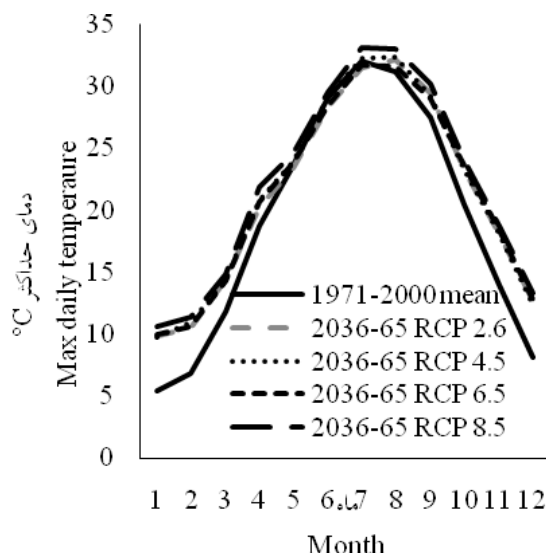
برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر بارش، دامنه ۹۰ درصد نوسانات و سناریوهای انتشار آینده (۲۰۳۶-۲۰۶۵) و دامنه ۹۰ درصد نوسانات اقلیمی دوره تاریخی (۱۹۷۱-۲۰۰۰) در شکل ۴ مقایسه شده است. با وجود تغییر اقلیم، دامنه‌های ۹۰ درصد میانگین‌های بارش در سناریوهای آینده و دوره تاریخی هم‌پوشانی دارد. در نتیجه به دلیل نوسانات اقلیمی نمی‌توان گفت که بارش آینده به طور قطع نسبت به بارش دوره تاریخی افزایش یا کاهش می‌یابد. اما مقایسه میانه‌های نوسانات اقلیمی آینده و دوره تاریخی بارش در شکل ۵، تغییراتی که در حد وسط نوسانات اقلیمی انتظار می‌رود در هر ماه رخ دهد را نشان می‌دهد. به عنوان مثال تحت همه سناریوهای انتشار، به طور متوسط انتظار می‌رود میانگین بارش در ماه چهارم سال میلادی بین ۹ تا ۱۴ درصد کاهش یابد که بیشترین کاهش مربوط به سناریوی RCP 8.5 است. هم‌چنین انتظار می‌رود میانگین بارش در ماه نهم سال میلادی بین چهار درصد تا ۶۲ درصد افزایش یابد؛ که البته برای ماه نهم که ماه کم بارانی است، این مقدار تغییرات به میلیمتر در روز بین ۰/۱ تا ۰/۱۵ است. در میانه نوسانات اقلیمی، انتظار می‌رود در دوره ۲۰۳۶-۲۰۶۵ نسبت به دوره تاریخی، تحت سناریوهای RCP 2.6، RCP 4.5، RCP 6.5، RCP 8.5، بارش سالانه به ترتیب -۴ درصد، -۱ درصد، +۱ درصد و -۹ درصد تغییر یابد.

برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر میانگین‌های ماهانه‌ی حداکثر دمای روزانه، در شکل ۶ دامنه‌ی ۹۰ درصد نوسانات و سناریوهای انتشار آینده (دوره ۲۰۳۶-۶۵) و دامنه‌ی ۹۰ درصد نوسانات اقلیمی دوره تاریخی (۱۹۷۱-۲۰۰۰) مقایسه شده است. در اغلب ماه‌های سال، دامنه ۹۰ درصد میانگین‌های دمای حداکثر در سناریوهای آینده و دوره تاریخی هیچ هم‌پوشانی‌ای ندارد. این موضوع نشان می‌دهد که

با وجود عدم قطعیت‌های نوسانات اقلیمی و سناریوهای انتشار، با اطمینان زیاد می‌توان گفت که رژیم دمای حداکثر روزانه در آینده نسبت به دوره تاریخی تغییر می‌کند؛ ضمن آن‌که دامنه عدم قطعیت‌ها نسبت به تغییر ناشی از تغییر اقلیم، کوچک است. به عنوان نمونه در ماه ژانویه میانگین حداکثر دمای روزانه یک دوره ۳۰ ساله، با اطمینان ۹۰ درصد مقداری بین ۵/۲ تا ۵/۶ درجه سانتی‌گراد است؛ در حالی که با در نظر گرفتن همه‌ی عدم قطعیت‌های نوسانات اقلیمی و سناریوهای انتشار، در دوره ۲۰۳۶-۲۰۶۵ مقداری بین ۹/۵ تا ۱۰/۸ خواهد بود. این نتایج حاکی از افزایش قابل توجه و مطمئن میانگین دمای حداکثر در این ماه است.

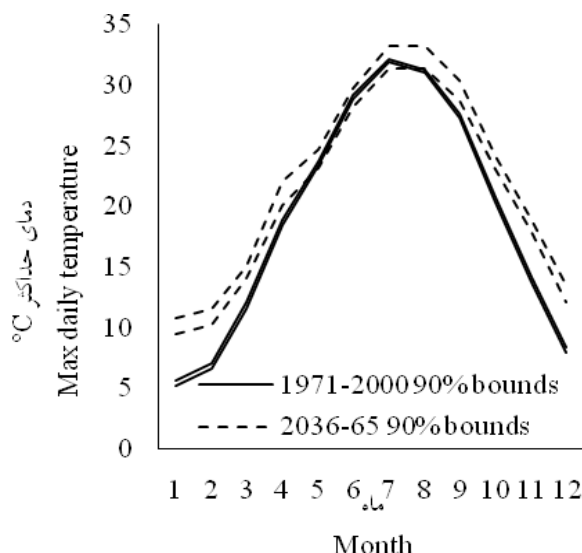
در شکل ۷ نیز میانه‌ی میانگین‌های دمای حداکثر روزانه ۱۰۰ سری ۳۰ ساله‌ی هر سناریوی انتشار آینده، با مقادیر متناظر دوره تاریخی مقایسه شده است. در دوره ۲۰۳۶-۲۰۶۵ تحت اغلب سناریوهای انتشار و در اغلب ماه‌های سال، میانگین دمای حداکثر روزانه افزایش می‌یابد. افزایش دما در ماه‌های سرد سال شدید است، اما تغییر دما در گرمترین ماه‌های سال اندک است. در میانه‌ی نوسانات اقلیمی، انتظار می‌رود در دوره ۲۰۳۶-۲۰۶۵ نسبت به دوره تاریخی، تحت سناریوهای RCP 2.6، RCP 4.5، RCP 6.5، RCP 8.5، میانگین سالانه‌ی دمای حداکثر روزانه به ترتیب ۲/۱، ۲/۳، ۲/۲، و ۳ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد.

در شکل ۸ حدود ۹۰ درصد عدم قطعیت نوسانات اقلیمی و همه سناریوهای انتشار آینده با حدود ۹۰ درصد عدم قطعیت نوسانات اقلیمی دوره تاریخی برای دمای حداقل مقایسه شده است. در شکل ۹ میانه سناریوهای آینده با میانه مقادیر میانگین ماهانه دمای حداقل دوره تاریخی مقایسه شده است. در دوره‌ی ۲۰۳۶ - ۲۰۶۵ با وجود آن‌که در ماه‌های فصول پائیز و زمستان افزایش دما قابل توجه است،



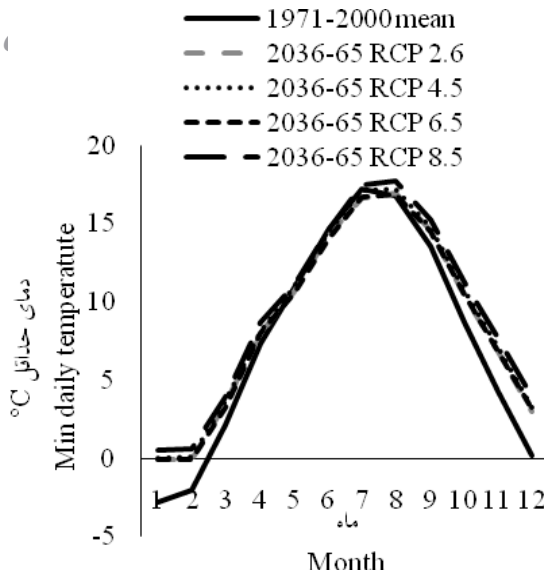
شکل ۷- مقایسه میانگین‌های دمای حداکثر روزانه دوره آینده و دوره تاریخی

Fig 7. Comparison of historical and future maximum daily temperature means.



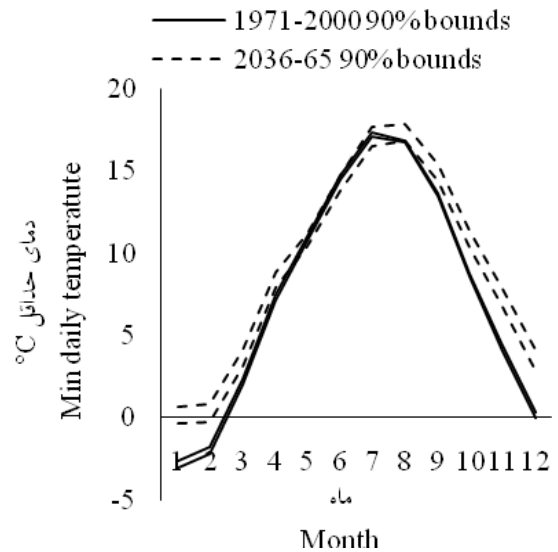
شکل ۶- مقایسه حدود ۹۰ درصد میانگین‌های دمای حداکثر روزانه دوره تاریخی و دوره آینده

Fig 6. Comparison of historical and future 90% bounds of maximum daily temperature means.



شکل ۹- مقایسه میانگین‌های دمای حداقل روزانه دوره آینده و دوره تاریخی

Fig 9. Comparison of historical and future minimum daily temperature means.



شکل ۸- مقایسه حدود ۹۰ درصد میانگین‌های دمای حداقل روزانه دوره تاریخی و دوره آینده

Fig 8. Comparison of historical and future 90% bounds of minimum daily temperature means.

اقلیمی در آینده می‌شود و مقدار تغییرات در هر دوره و تحت هر یک از سناریوهای انتشار متفاوت است. دامنه ۹۰ درصد میانگین‌های ماهانه بارش یک دوره ۳۰ ساله در دوره تاریخی و هر یک از سناریوهای آینده با هم تداخل دارد. لذا به علت نوسانات اقلیمی نمی‌توان به طور قطع گفت که بارش آینده نسبت به بارش دوره تاریخی افزایش یا کاهش می‌یابد. اما با مقایسه میانه‌های نوسانات اقلیمی آینده و دوره تاریخی انتظار می‌رود در دوره ۶۵-۲۰۳۶ نسبت به دوره تاریخی، تحت سناریوهای RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.5 و RCP 8.5، بارش سالانه به ترتیب ۴- درصد، ۱- درصد، ۱+ درصد و ۹- درصد تغییر یابد. اما با اطمینان زیاد می‌توان گفت که رژیم دمای حداکثر روزانه در آینده نسبت به دوره تاریخی تغییر می‌کند. ضمن آن‌که دامنه عدم قطعیت‌ها نسبت به تغییر ناشی از تغییر اقلیم، کوچک است. در دوره ۶۵-۲۰۳۶ تحت اغلب سناریوهای انتشار و در اغلب ماه‌ها، افزایش دمای حداکثر روزانه قابل انتظار است. این افزایش در ماه‌های سرد سال شدید است، اما تغییر دما در گرمترین ماه‌های سال اندک است. در میانه نوسانات اقلیمی، انتظار می‌رود میانگین سالانه‌ی دمای حداکثر روزانه تحت سناریوهای RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.5 و RCP 8.5، در دوره ۶۵-۲۰۳۶ نسبت به دوره تاریخی، به ترتیب ۲/۱، ۲/۳، ۲/۲، و ۳ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد. برای دمای حداقل روزانه، در دوره ۶۵-۲۰۳۶ در ماه‌های فصول پائیز و زمستان افزایش دما قابل توجه است، اما در ماه‌های فصل تابستان احتمال کاهش میانگین دمای حداقل روزانه غالب است. نتایج این تحقیق به صورت کلی با نتایج تحقیقات دیگر در خصوص تغییر رژیم بارش و دما و حدود تغییرات در آینده همسو است [۹، ۱۰ و ۱۵]، البته بدیهی است مقدار تغییرات برای هر منطقه

در ماه‌های ۵ تا ۷ سال میلادی احتمال کاهش میانگین دمای حداقل روزانه غالب است. در ماه ژانویه که سردترین ماه سال در دوره تاریخی است، میانگین دمای حداقل یک دوره ۳۰ ساله با توجه به نوسانات اقلیمی و با اطمینان ۹۰ درصد بین ۲/۶- تا ۳- درجه سانتی‌گراد است. در حالی که با در نظر گرفتن همه عدم قطعیت‌های نوسانات اقلیمی و سناریوهای انتشار، این مقدار در دوره ۶۵-۲۰۳۶ بین ۰/۳- تا ۰/۶+ خواهد بود.

### بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق آثار تغییر اقلیم آینده بر متغیرهای بارش روزانه، دمای حداقل روزانه، دمای حداکثر روزانه حوضه سیرا با توجه به عدم قطعیت‌های نوسانات طبیعی اقلیم و سناریوهای انتشار ارزیابی شده است.

سناریوهای آینده، خروجی‌های مدل HadGEM2 تحت سناریوهای انتشار RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.5 و RCP 8.5 برای دوره ۶۵-۲۰۳۶ است. توسط مدل LARS-WG سناریوهای اقلیمی ریزمقیاس شد و برای بررسی دامنه نوسانات طبیعی اقلیم در هر دوره، ۱۰۰ سری ۳۰ ساله هر متغیر برای هر یک از سناریوها در هر یک از دوره‌ها تولید شد. در ارزیابی آثار تغییر اقلیم، برای بررسی عدم قطعیت نوسانات طبیعی اقلیم، دامنه ۹۰ درصد ۱۰۰ سری تولید شده با هم مقایسه شد. هم‌چنین برای بررسی عدم قطعیت سناریوهای انتشار، اثر تغییر اقلیم تحت چهار سناریوی انتشار جدید تحت عناوین RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.5 و RCP 8.5 بررسی شد.

نتایج نشان داد که تغییر اقلیم موجب تغییر هر یک از متغیرهای

basin in Kermanshah). Journal of Water and Soil Conservation, 24(1), 139-156. (In Persian)

10. Rohani, h. Ghandi, A. Seyedian, S.M. and Kashabni, M. 2017. Uncertainty analysis of rainfall projections (case study: Bojnourd and Mashhad synoptic gauge station). Journal of Water and Soil Conservation, 24(1), 189-204 (In Persian)

11. Roshan, G. and Negahban, S. 2015. Modeling of the effects of climate change on rainy and gully erosion potential of Kor-chamriz watershed in Fars province. Earth Syst. Environ. 2015:1-26

12. Semenov, M.A. and Brooks, R.J. 1998. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. Climate Research. 10: 95-107.

13. Semenov, M.A. and Stratonovitch, P. 2010. Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. Climate Research. 41: 1-14

14. Shabestani, E. Darzi Naft Chali, E. and Karandish, F. 2016. Estimating and uncertainty analysis of potential evapotranspiration under climate change in a semi-arid region. Journal of Water and Soil Conservation, 23(5): 159-174 (In Persian)

15. Shahabul-Alam, M.D. and Elshorbagy, A. 2015. Quantification of the climate change-induced variation Intensity-Duration-Frequency curves in Canadian Paris. Journal of Hydrology. 527: 990-1005.

16. Sohrabian, E. Meftah Halghi, M. Ghorbani, Kh. Golian S. and Zakerinia, M. 2015. Effects of climate change on the discharge basin by hydrology model (case study: Galikesh Watershed in Golestan). Journal of Water and Soil Conservation, 22(2): 111-125 (In Persian)

17. Zhang, H. Huang, G.H. Wang, D. and Zhang X. 2011. Uncertainty assessment of climate change impacts on the hydrology of small prairie wetlands. Journal of Hydrology. 396 (1):94-103.

و هر سناریو مختص به همان منطقه می‌باشد و قابل تعمیم به مناطق و سناریوهای دیگر نیست.

#### منابع

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

2. Dubrovsky, M. Buchtele, J. and Zalud, Z. 2004. High frequency and low-frequency variability in stochastic daily weather generator and its effect on agricultural and hydrologic modeling. Climatic Change. 63: 145-179.

3. Fowler, H.J. Blenkinsop, S. and Tebaldi, C. 2007. Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modeling. International Journal of Climatology. 27:1547-1578.

4. IPCC, 2001. 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.

5. Kay, A.L. Davies, H.N. Bell, V.A. and Jones, R. G., 2009. Comparison of uncertainty sources for climate change impacts: flood frequency in England. Climatic Change. 92:41-63.

6. Khazaei, M.R. Ahmadi, S. Saghafian, B. and Zahabiyoun, B. 2013. A new daily weather generator to preserve extremes and low-frequency variability. Climatic Change. 119:631-645.

7. Khazaei, M.R. Zahabiyoun, B. and Saghafian, B. 2012. Assessment of climate change impact on floods using weather generator and continuous rainfall-runoff model. International Journal of Climatology. 32:1997-2006

8. Minville, M. Brissette, F. and Leconte, R. 2008. Uncertainty of the impact of climate change on the hydrology of a nordic watershed. Journal of Hydrology. 358:70-83.

9. Najafian, S. Yazdani, A. Azari, A. and Rahimi, M. 2017. Climate change impacts on the maximum daily discharge under conditions of uncertainty (Dinavar

## Uncertainty Investigation of Precipitation and Temperature Scenarios for the Sira Basin under Climate Change Impact

M.R. Khazaei<sup>1</sup>, N. Tahsinzadeh<sup>2</sup> and A. Sharafati<sup>3</sup>

Received: 16-04-2018 Accepted: 14-01-2019

### Abstract

Results of assessment of the future climate change impacts is associated with some uncertainties. Considering the range of uncertainties increases reliability of the results. In this study, climate change impacts on daily precipitation, maximum and minimum temperature of Sira basin are assessed using LARS-WG model, for 2036-65 period. Accordingly, uncertainty of new emissions scenarios (RCP2.6, RCP4.5, RCP6 و RCP8.5) of HadGEM2 and climatic variability are investigated. Climate variability is a major source of uncertainty which is ignored in most previous studies. Based on the results, for precipitation, the range of the future scenarios have considerable overlaps with the historical ranges. So, it cannot certainly be concluded that whether precipitation increase or decrease in the future. But in the mean of the possible scenarios, it is expected that annual precipitation will change between -9% to +1% in the future. About temperature, the range of the future temperature scenarios have no overlaps with the corresponding historical ranges, and there is a great certainty for temperature increasing in most of the months, and change in the seasonal cycle of temperature. In the mean of the possible scenarios, it is expected that average temperature will rise between 2.1 to 3 °C in the future.

**Keywords:** *Uncertainty, Climate variability, Sira, Climate change, Temperature and Precipitation*

1. Corresponding Author and Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Payame Noor University, I.R of IRAN, Email: khazaei.hydrologist@gmail.com

2. M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran.

3. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran.