

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره ده، دی ماه ۹۸

بررسی هم‌زمان عدم قطعیت های نوسانات اقلیمی و سناریوهای انتشار در ارزیابی اثرات تغییر اقلیم آینده بر دما و بارش زنگان

محمد رضا خزائی^{۱*}

m_r_khazaei@yahoo.com

مطلب بایزیدی^۲

ایمان بابایان^۳

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۲۲

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۶/۰۷

چکیده

زمینه و هدف: در این تحقیق آثار تغییر اقلیم آینده زنگان بر متغیرهای بارش روزانه، کمینه دمای روزانه و بیشینه دمای روزانه، با تحلیل عدم قطعیت‌های نوسانات طبیعی اقلیم و سناریوهای انتشار، ارزیابی شده است. با منظور نمودن این عدم قطعیت‌ها، نتایج دامنه وسیعی از حالات محتمل آینده را در بر می‌گیرد که در افزایش قابلیت اعتماد نتایج بسیار مهم است.

روش بررسی: برای کاهش مقیاس سناریوهای آینده از مدل استوکستیک LARS-WG استفاده شده است. خروجی‌های مدل CGCM3 برای زنگان ریز مقیاس شده است. تحلیل عدم قطعیت سناریوهای انتشار، با مقایسه‌ی نتایج برای سه سناریوی A1B، A2، و B1 که به ترتیب بیان‌گر حالات غلظت متوسط، زیاد، و کم گازهای گل‌خانه‌ای هستند، انجام شده است. تحلیل عدم قطعیت نوسانات اقلیمی با مقایسه حدود ۹۰٪ تغییرات ۱۰۰ سری ۳۰ ساله‌ی تولید شده توسط مدل LARS-WG برای اقلیم حال و برای هر سناریوی انتشار اقلیم آینده انجام شده است.

یافته‌ها: نتایج حاکی از افزایش قابل توجه میانگین‌های کمینه دمای روزانه و بیشینه دمای روزانه در اقلیم آینده است. علی‌رغم نوسانات اقلیم، پیش‌یابی می‌شود که در همه ماه‌های سال میانگین‌های بیشینه دمای روزانه و کمینه دمای روزانه افزایش یابد. به‌علاوه، عدم قطعیت سناریوهای انتشار در مقایسه با میزان افزایش دما اندک است. هم‌چنین در اغلب ماه‌های سال انتظار می‌رود که مقدار بارش اقلیم آینده کاهش یابد، اما به دلیل نوسانات اقلیمی، افزایش مقدار بارش نیز با احتمال اندک ممکن است.

بحث و نتیجه‌گیری: متغیرهای دما و بارش اقلیم آینده زنگان نسبت به اقلیم فعلی تغییر خواهد داشت و عدم قطعیت‌های نوسانات طبیعی اقلیم و سناریوهای انتشار مهم است و لازم است که مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، نوسانات اقلیم، عدم قطعیت، LARS-WG، استوکاستیک.

۱- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، ایران* (مسوول مکاتبات).

۲- استادیار، گروه آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، سنندج.

۳- استادیار، پژوهشکده اقلیم شناسی، سازمان هواشناسی کشور.

Estimation of Joint Uncertainties Due to Natural Climate Variability and Emission Scenarios in Climate Change Assessment on Precipitation and Temperature in Zanzan

Mohammad Reza Khazaei^{1*}

m_r_khazae@iust.ac.ir

Motalleb Byzedi²

Iman Babaeian³

Accepted: 2016.03.12

Received: 2015.08.29

Abstract

Background and Objective: In this paper climate change impacts on daily precipitation, daily maximum, and daily minimum temperature are estimated, while joint uncertainties due to natural climate variability and emission scenarios are estimated. By considering these uncertainties, the results incorporate a wide range of future possible situations which is a great importance in increasing the reliability of the results.

Method: For downscaling of future GCM scenarios, Weather Generator method is used using LARS-WG model. CGCM3 outputs for based on three *emissions* scenarios, *medium (A1B)* and *high (A2)*, *low (B1)*, are downscaled for Zanzan. Uncertainty due to natural climate variability is estimated by comparison of 90% limits of 100 LARS-WG generated series for historic and for each future climate scenarios.

Findings: The results of this research show that the daily minimum and maximum temperature will increase in the future. Despite the Uncertainty due to natural climate variability, it is expected that the monthly means of daily minimum and maximum temperature will increase for the entire calendar months. Moreover, the uncertainty of emission scenarios is low in comparison with the future increase in temperature. It is expected that the average of monthly precipitation will decrease for the most of the calendar months; although, there is a little possibility for increase in precipitation due to natural climate variability.

Discussion and Conclusion: In result of climate change, temperature and precipitation of the Zanzan will change in the future and uncertainties due to natural climate variability and emission scenarios are important in climate change impact assessment on precipitation and temperature.

Key words: Climate change, natural climate variability, Uncertainty, LARS-WG, Stochastic

1- Department of Civil Engineering, Payame Noor University, I.R of Iran. (Corresponding author)

2- Department of Water Engineering, Sanandaj Branch, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran.

3- Climatological Research Institute, National Center for Climatology, Mashhad, Iran.

مقدمه

مطالعات منطقه ای، با استفاده از یک روش مناسب زیر مقیاس شود.

علاوه بر آن، در حال حاضر در نتایج مطالعات آثار تغییر اقلیم، عدم قطعیت های مهمی وجود دارد. از عوامل عدم قطعیت در نتایج پیش یابی اقلیم آینده یک منطقه، عدم قطعیت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه ای در آینده می باشد. میزان انتشار گازهای گلخانه ای در آینده به صورت قطعی معلوم نیست و سناریوهای مختلفی برای آن محتمل است. هیأت بین دول تغییر اقلیم،^۴ IPCC، در سال ۱۹۹۶ چهار سناریوی مختلف را منتشر کرد که در آن ها انواع مختلفی از چگونگی انتشار گازهای گلخانه ای وجود دارد. این سناریوها دامنه وسیعی از تغییرات محتمل در آینده را در بر می گیرد (۹).

از دیگر عوامل عدم قطعیت، نوسانات طبیعی اقلیمی^۵ است که می تواند به عنوان مهم ترین عامل عدم قطعیت مطرح باشد (۱۰). نوسانات طبیعی اقلیمی حاصل ساختار تصادفی متغیرهای اقلیمی (از جمله بارش و دما) است. از آن جا که سری های داده های اقلیمی مشاهداتی (و نیز خروجی های GCMs) اغلب از طول آماری کوتاهی (نوعاً ۳۰ سال) برخوردارند، نوسانات طبیعی اقلیم را به تعداد کافی در بر نمی گیرد، لذا عدم قطعیت کوتاهی طول آمار، می تواند نتایج مقایسه اقلیم فعلی و آینده را تحت تاثیر قرار دهد و لازم است که در مطالعات ارزیابی آثار تغییر اقلیم مورد توجه قرار گیرد.

مطالعات بسیاری به ارزیابی آثار تغییر اقلیم در مناطق مختلف جهان پرداخته اند. در بسیاری از این مطالعات عدم قطعیت سناریوهای انتشار مورد توجه بوده است. اما در مطالعات اندکی عدم قطعیت نوسانات طبیعی اقلیمی مدنظر قرار گرفته است. از جمله مطالعاتی که در آن ها به عدم قطعیت نوسانات طبیعی اقلیم پرداخته شده است، موارد زیر را می توان نام برد: رینی و فولر (۲۰۰۸) به منظور بررسی عدم قطعیت های نوسانات طبیعی اقلیم در مطالعه اثر تغییر اقلیم بر جریان رودخانه، از یک مدل استوکستیک WG به نام EARWIG برای کاهش

رشد صنایع و افزایش فعالیت های انسان در کره زمین باعث افزایش غلظت گازهای گلخانه ای و به تبع آن ایجاد تغییراتی در شرایط اقلیمی مناطق مختلف کره زمین شده است. سناریوهای منتشر شده توسط هیأت بین دول تغییر اقلیم (IPCC^۱) حاکی از آن است که این تغییرات در آینده نیز ادامه خواهد داشت و دمای کره زمین تا سال ۲۱۰۰ میلادی، $۱/۴-۵/۸^{\circ}\text{C}$ نسبت به سال ۱۹۹۰ افزایش خواهد یافت (۱). نتایج جدیدترین مطالعات IPCC در سال ۲۰۱۳ حاکی از تشدید وضعیت تغییر اقلیم می باشد. این افزایش، دیگر متغیرهای اقلیمی را نیز تحت تاثیر خود قرار می دهد و موجب تغییر اقلیم می شود (۲). با تغییر متغیرهای اقلیمی از جمله دما و بارش، سیستم های متأثر از اقلیم نیز تغییر می کند. از جمله آثار تغییر اقلیم می توان به تغییر مقدار و نوسانات منابع آب و تغییر رژیم هیدرولوژیکی رودخانه ها، اشاره کرد که در مطالعات متعددی ذکر شده است (۱). ویژگی های تغییر اقلیم و آثار آن در مناطق مختلف متفاوت است و عموماً نتایج مطالعات تغییر اقلیم در هر منطقه را نمی توان به سایر مناطق تعمیم داد. برای هر منطقه، شناخت و پیش یابی اقلیم تغییر یافته آینده و دخالت دادن آن در برنامه ریزی های بلند مدت، برای کسب آمادگی برای شرایط اقلیمی آینده و کاهش آثار زیان بار آن اهمیت دارد. مطالعات متعددی حاکی از وقوع تغییر اقلیم در مناطق مختلف ایران است (۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸).

معتبرترین وسیله برای شبیه سازی واکنش اقلیم جهانی به غلظت گازهای گلخانه ای، مدل های جهانی اقلیم (GCM^۲) هستند (۱). این مدل ها داده های اقلیمی را به صورت سه بعدی برای سراسر کره زمین شبیه سازی می کنند. اما مطالعات ارزیابی اثرات تغییر اقلیم هنوز با دشواری ها و عدم قطعیت های زیادی همراه هستند. به دلیل وضوح^۳ مکانی کم خروجی GCMs، استفاده از آن ها برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم در مقیاس محلی مناسب نیست و لازم است خروجی این مدل ها برای استفاده در

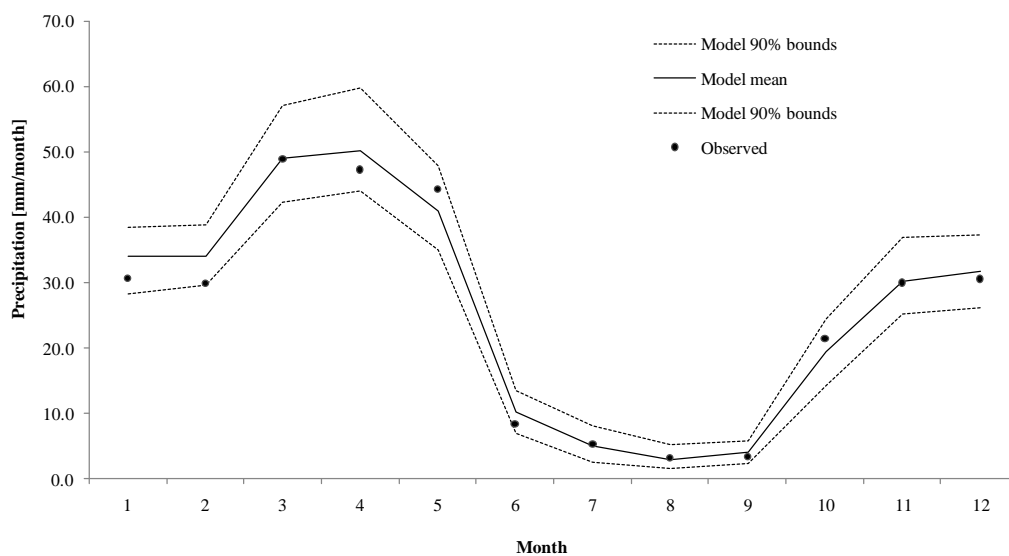
4- Intergovernmental Panel of Climate Change
5- Uncertainty due to natural climate variability

1- Intergovernmental Panel on Climate Change
2- General Climate Model
3- Resolution

گزارش شد. خزائی و همکاران (۲۰۱۳) با توسعه یک مدل WG به نام IWG و نیز با استفاده از مدل LARS-WG، عدم قطعیت نوسانات طبیعی اقلیمی را در مدل سازی سیلاب حوضه کارون بررسی کردند (۱۳).

در این تحقیق در نظر است تغییر اقلیم زنگان در سال های آتی با منظور نمودن عدم قطعیت نوسانات طبیعی اقلیم و عدم قطعیت سناریوهای انتشار مورد بررسی قرار گیرد. در این خصوص متغیرهای بارش، کمینه دما و بیشینه دمای روزانه مورد مطالعه قرار می گیرند. با منظور نمودن عدم قطعیت های نوسانات طبیعی اقلیم و سناریوهای انتشار، نتایج دامنه وسیعی از حالات محتمل آینده را در بر می گیرد که در افزایش قابلیت اعتماد نتایج بسیار مهم است و می تواند در اتخاذ تدابیر احتیاطی سازگاری با شرایط اقلیم آینده موثر باشد.

مقیاس و تولید سری های طولانی مدت اقلیم حال و آینده استفاده کردند (۱۱). مینویل و همکاران (۲۰۰۸) عدم قطعیت ها را در ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رژیم هیدرولوژیکی یک حوضه در کانادا ارزیابی کردند (۱۲). ایشان برای مطالعه عدم قطعیت نوسانات طبیعی اقلیم از یک مدل استوکستیک WG به نام WeaGets استفاده نمودند. به این ترتیب با تولید ۳۰ سری ۳۰ ساله برای هر یک از اقلیم های حال و آینده، نوسانات اقلیمی در مطالعه اثر تغییر اقلیم منظور شد. کی و همکاران (۲۰۰۹) منابع عدم قطعیت را در "مطالعه اثر تغییر اقلیم بر سیلاب" بررسی کردند (۱۰). این مطالعه بر روی دو حوضه آبریز در انگلستان به مساحت های ۲۷۷ و ۸۶ کیلومتر مربع انجام شد. در نتیجه این تحقیق، عدم قطعیت نوسانات اقلیمی برای اقلیم حال و آینده، بحرانی و مهم ترین عامل عدم قطعیت

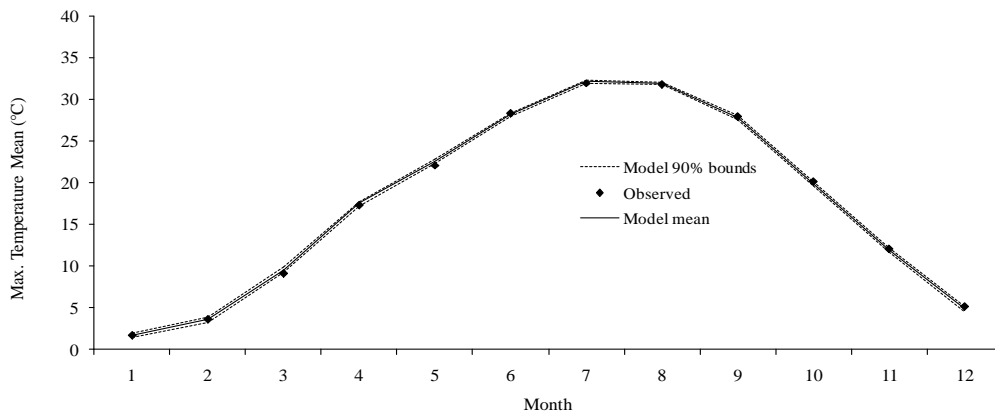


شکل ۱- مقادیر میانگین های بارش های ماهانه زنگان برای دوره تاریخی مشاهداتی و حدود ۹۰٪ میانگین های بارش های ماهانه زنگان در شبیه سازی ۱۰۰ دوره ۳۰ ساله بارش روزانه توسط مدل LARS-WG. مقادیر مشاهداتی با نقاط نشان داده شده است.

Figure 1- Comparison of observed rainfall monthly means and 90% bounds of the simulated rainfall monthly means, calculated from 100 30-year simulated series

و میانگین ۱۰۰ سری ۳۰ ساله تولید شده توسط خط پیوسته نشان داده شده است.

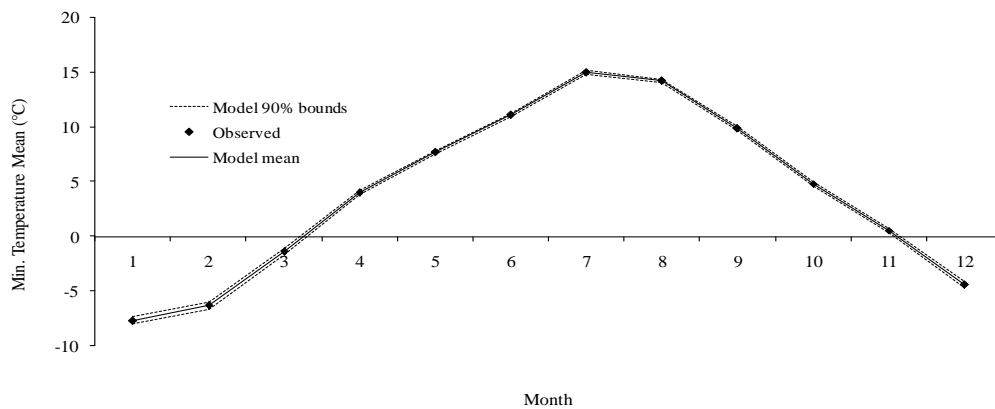
حدود ۹۰ درصد میانگین های ۱۰۰ سری ۳۰ ساله با خط چین



شکل ۲- مقادیر میانگین های ماهانه بیشینه دمای روزانه زنجان برای دوره تاریخی مشاهداتی و حدود ۹۰٪ میانگین های ماهانه بیشینه دمای روزانه زنجان در شبیه سازی ۱۰۰ دوره ۳۰ ساله روزانه توسط مدل LARS-WG. مقادیر مشاهداتی با نقاط نشان داده شده است.

Figure 2- Comparison of monthly means of observed maximum daily temperature and 90% bounds of the simulated corresponding values, calculated from 100 30-years simulated series

حدود ۹۰ درصد میانگین های ۱۰۰ سری ۳۰ ساله با خط چین و میانگین ۱۰۰ سری ۳۰ ساله تولید شده توسط خط پیوسته نشان داده شده است.



شکل ۳- مقادیر میانگین های ماهانه کمینه دمای روزانه زنجان برای دوره تاریخی مشاهداتی و حدود ۹۰٪ میانگین های ماهانه کمینه دمای روزانه زنجان در شبیه سازی ۱۰۰ دوره ۳۰ ساله روزانه توسط مدل LARS-WG. مقادیر مشاهداتی با نقاط نشان داده شده است.

Figure 3- Comparison of monthly means of observed minimum daily temperature and 90% bounds of the simulated corresponding values, calculated from 100 30-years simulated series

در شکل (۱) مقایسه میانگین بارش روزانه مشاهداتی و تولید شده در هر ماه تقویمی نشان داده شده است. همچنین در شکل های (۲) و (۳) به ترتیب مقایسه میانگین مقادیر مشاهداتی

حدود ۹۰ درصد میانگین های ۱۰۰ سری ۳۰ ساله با خط چین و میانگین ۱۰۰ سری ۳۰ ساله تولید شده توسط خط پیوسته نشان داده شده است.

میانگین یک دوره ۳۰ ساله بارش ژانویه زنجان با احتمال ۹۰ درصد در حدود $28/3$ mm تا $38/4$ mm متغیر است که به معنای آن است که در یک دوره ۳۰ ساله دیگر (با شرط نبودن تغییر اقلیم) ۱۰ درصد احتمال دارد که میانگین بارش ژانویه زنجان در این دامنه نباشد.

۲.۳. کاهش مقیاس و تولید سناریوی اقلیم آینده زنجان

با استفاده از تغییرات سناریوهای اقلیمی روزانه خروجی مدل CGCM3 پارامترهای مدل LARS-WG برای تولید سناریوهای روزانه اقلیم آینده (دوره ۲۰۶۴-۲۰۳۵) تنظیم شد و سناریوهای روزانه اقلیم آتی زنجان تولید گردید. برای در نظر گرفتن عدم قطعیت نوسانات اقلیمی در نتایج، ۱۰۰ سری ۳۰ ساله هر یک از متغیرهای بارش، بیشینه دما و کمینه دمای روزانه برای هر سناریوی انتشار اقلیم تغییر یافته آینده (A2، B1، و A1B) تولید شد و حدود ۹۰ درصد این سری ها در ارزیابی اثر تغییر اقلیم وارد گردید. در جدول (۱) نتایج ارزیابی آثار تغییر اقلیم و نوسانات اقلیمی بر میانگین های ماهانه بارش زنجان ارائه شده است. همچنین جمع بندی این نتایج در جدول (۲) و شکل (۴) نشان داده شده است.

و تولید شده در هر ماه تقویمی برای بیشینه دمای روزانه و کمینه دمای روزانه نشان داده شده است. در این شکلها مشاهده می شود که میانگین های بارش مشاهداتی، بیشینه دمای روزانه و کمینه دمای روزانه، تقریباً در همه ماهها در حدود ۹۰ درصد مقادیر تولید شده قرار گرفته است. این نتایج نشان می دهد که میانگین های مشاهداتی به خوبی در داده های مصنوعی باز تولید شده است که حاکی از عملکرد قابل قبول مدل می باشد.

هدف از تولید ۱۰۰ سری به روش استوکستیک، آن است که دامنه وسیعی از حالات ممکن رفتار یک اقلیم فراهم شود. سری ۳۰ ساله مشاهداتی، تنها یک نمونه آماری از رفتار یک اقلیم را ارائه می کند. در حالی که اگر یک سری بسیار طولانی از داده های مشاهداتی برای یک اقلیم ثابت در اختیار بود، به دلیل ماهیت تصادفی متغیرهای اقلیمی، انتظار می رفت که آماره های دوره های ۳۰ ساله مختلف در آن یکسان نباشد.

به عنوان نمونه، نتایج در خصوص بارش ماه ژانویه را می توان به شرح زیر تفسیر نمود. بر مبنای نتایج شبیه سازی (که در جدول ۲ نیز ارائه شده است)، میانگین طولانی مدت بارش زنجان در ماه ژانویه $34/1$ mm است؛ این در حالی است که

جدول ۱- میانگین و حدود ۹۰٪ میانگین های ماهانه بارش زنجان در شبیه سازی ۱۰۰ سری ۳۰ ساله برای اقلیم های تاریخی

A2، B1، و A1B (۱۹۷۱-۲۰۰۰) و تغییر یافته آینده (۲۰۳۵-۶۴) تحت سناریوهای انتشار

Table 1- Mean and 90 percentile bounds of historical rainfall monthly means as well as corresponding values for future A2, B1, and A1B scenarios for Zanjan.

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec		
۳۰/۷	۲۹/۹	۴۸/۸	۴۷/۲	۴۴/۲	۸/۵	۵/۳	۳/۳	۲/۴	۲۱/۵	۲۹/۹	۳۰/۵		مشاهداتی
۲۸/۳	۲۹/۷	۴۲/۳	۴۴/۱	۳۵/۱	۷	۲/۵	۱/۵	۲/۴	۱۴/۲	۲۵/۲	۲۶/۲	حد بالای ۹۰٪	دوره پایه
۳۴/۱	۳۴	۴۹	۵۰/۲	۴۱	۱۰/۲	۵	۲/۹	۴	۱۹/۵	۳۰/۲	۳۱/۷	میانه	
۳۸/۴	۳۸/۹	۵۷/۲	۵۹/۸	۴۷/۸	۱۳/۵	۸/۱	۵/۲	۵/۸	۲۴/۴	۳۷	۳۷/۳	حد پایین ۹۰٪	
۲۳/۴	۲۲/۸	۴۱	۵۰/۱	۳۴/۸	۵/۳	۱/۸	۱/۱	۱/۷	۱۶/۸	۲۵	۲۹/۵	حد بالای ۹۰٪	A1B
۲۷/۵	۲۸/۲	۴۹/۱	۵۷/۴	۴۲/۹	۹/۵	۳/۶	۲/۳	۲/۸	۲۳/۹	۳۱/۲	۳۴/۷	میانه	
۳۲/۱	۳۳/۳	۵۶/۲	۶۵	۵۲/۲	۱۳/۲	۶/۳	۳/۷	۳/۹	۳۰/۶	۳۶/۸	۳۹/۴	حد پایین ۹۰٪	
۲۷/۵	۳۱/۶	۳۶/۴	۳۷/۵	۴۰/۳	۴/۵	۶/۱	۰/۲	۰/۴	۱۲/۳	۲۰/۱	۲۲/۱	حد بالای ۹۰٪	A1B
۳۲/۶	۳۸/۴	۴۲/۹	۴۴/۹	۵۰	۷	۱۰/۳	۰/۵	۰/۹	۱۹/۷	۲۸/۲	۲۸/۲	میانه	

۳۸/۱	۴۶/۳	۵۱/۴	۵۲/۴	۵۸/۸	۹/۳	۱۷/۲	۰/۸	۱/۷	۲۸/۶	۳۶/۱	۳۳/۴	حد پایین ۹۰٪	A2 آینده
۲۶/۷	۲۴/۱	۳۷/۵	۳۵/۴	۳۰/۱	۶/۵	۰/۹	۵/۳	۸/۹	۹/۴	۲۵/۵	۲۵	حد بالای ۹۰٪	
۳۱	۲۹/۲	۴۴/۳	۴۱/۱	۳۷/۲	۹/۴	۱/۸	۹/۵	۱۳/۶	۱۳/۱	۳۲/۳	۳۱/۲	میانه	
۳۵/۷	۳۴/۳	۵۰/۷	۴۸/۵	۴۴/۴	۱۲/۲	۲/۹	۱۵/۲	۲۰/۱	۱۶/۲	۳۹/۱	۳۷/۹	حد پایین ۹۰٪	

های ۳۰ ساله مربوط به همه سناریوهای انتشار آینده با هم مقایسه شده است. به این ترتیب دامنه نوسانات اقلیم فعلی با دامنه نوسانات و سناریوهای انتشار اقلیم آینده مقایسه می شود و عدم قطعیت ها در نتایج مورد نظر قرار می گیرد.

در جدول (۲) میانگین ۱۰۰ سری ۳۰ ساله شبیه سازی شده برای دوره تاریخی و میانگین های ۱۰۰ سری ۳۰ ساله شبیه سازی شده هر یک از سناریوهای انتشار در آینده، مقایسه شده است. علاوه بر آن، حدود ۹۰ درصد میانگین های ۱۰۰ سری دوره تاریخی با حدود بالا و پایین ۹۰ درصد همه سری-

جدول ۲- مقادیر میانگین و حدود ۹۰٪ میانگین های ماهانه بارش زنگان در شبیه سازی ۱۰۰ سری ۳۰ ساله برای اقلیم تاریخی و میانگین و حدود حداکثر و حداقل ۹۰٪ سناریوهای اقلیم تغییر یافته آینده آن ها

Table 2- 90 percentile bounds of historical rainfall monthly means as well as mean and 90 percentile bounds of future A2, B1, and A1B scenarios for rainfall monthly means for Zanjan.

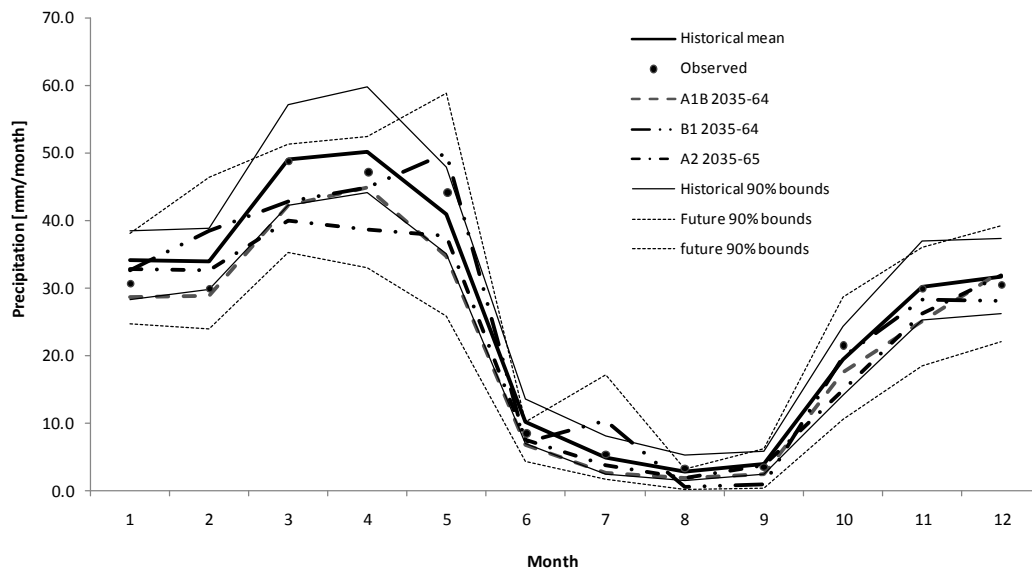
Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
۳۴/۱	۳۴	۴۹	۵۰/۲	۴۱	۱۰/۲	۵	۲/۹	۴	۱۹/۵	۳۰/۲	۳۱/۷	دوره تاریخی ۱۹۷۱-۲۰۰۰
۲۸/۸	۲۸/۸	۴۲/۳	۴۴/۹	۳۴/۸	۶/۹	۲/۶	۱/۹	۲/۵	۱۷/۶	۲۵/۲	۳۲/۵	میانگین ۲۰۳۵-۶۴ A1B
۳۲/۶	۳۸/۴	۴۲/۹	۴۴/۹	۵۰	۷	۱۰/۳	۰/۵	۰/۹	۱۹/۷	۲۸/۲	۲۸/۲	میانگین ۲۰۳۵-۶۴ B1
۳۲/۸	۳۲/۷	۳۹/۹	۳۸/۷	۳۷/۸	۷/۶	۳/۸	۱/۹	۳/۷	۱۴/۸	۲۶/۲	۳۱/۹	میانگین ۲۰۳۵-۶۴ A2
۲۸/۳	۲۹/۷	۴۲/۳	۴۴/۱	۳۵/۱	۷	۲/۵	۱/۵	۲/۴	۱۴/۲	۲۵/۲	۲۶/۲	حد بالای ۹۰٪ دوره تاریخی
۳۸/۴	۳۸/۹	۵۷/۲	۵۹/۸	۴۷/۸	۱۳/۵	۸/۱	۵/۲	۵/۸	۲۴/۴	۳۷	۳۷/۳	حد پایین ۹۰٪ دوره تاریخی
۳۸/۱	۴۶/۳	۵۱/۴	۵۲/۴	۵۸/۸	۱۰/۱	۱۷/۲	۳/۳	۶/۳	۲۸/۶	۳۶/۱	۳۹/۲	حد بالای ۹۰٪ سناریوهای آینده
۲۴/۸	۲۴/۱	۳۵/۳	۳۳	۲۵/۸	۴/۵	۱/۷	۰/۲	۰/۴	۱۰/۵	۱۸/۵	۲۲/۱	حد پایین ۹۰٪ سناریوهای آینده

لذا حدود ۹۰ درصد نوسانات نیز در نظر گرفته می شود. تحت اقلیم فعلی حدود ۹۰ درصد نوسانات میانگین بارش ماه ژانویه برای دوره های ۳۰ ساله، بین ۲۸/۳ تا ۳۸/۴ است. اما حدود بالا و پایین ۹۰ درصد سناریوهای آینده بین ۲۴/۸ تا ۳۸/۱ پیش-یابی شده است. بنابراین تحت سناریوهای مورد بررسی، در سطح احتمال ۹۰ درصد، مقدار بارش اقلیم آینده زنگان در ژانویه نسبت به میانگین بارش اقلیم تاریخی آن، می تواند بین

به عنوان نمونه ای از تفسیر نتایج، در ماه ژانویه میانگین بارش اقلیم تاریخی ۳۴/۱ میلی متر است. در حالی که میانگین بارش اقلیم آینده آن تحت سناریوهای مختلف بین ۲۸/۸ تا ۳۲/۸ پیش-یابی می شود. این موضوع حاکی از آن است که تحت این سناریوها انتظار می رود که میانگین بارش این ماه در اقلیم آینده بین ۱/۳ میلی متر تا ۵/۳ میلی متر کاهش یابد. اما به دلیل نوسانات اقلیمی، میانگین اقلیمی می تواند اتفاق نیفتد و

حدود عموماً بالاتر از مقادیر مشاهداتی اقلیم گذشته است. لذا اگرچه در اغلب ماه های سال انتظار می رود که مقدار بارش اقلیم آینده کاهش داشته باشد، اما افزایش مقدار بارش نیز با احتمال اندک ممکن است.

۴ میلی متر افزایش تا ۹/۳ میلی متر کاهش داشته باشد. با توجه به شکل (۴) مقادیر میانگین بارش اقلیم آینده تحت سناریوهای مختلف و در اغلب ماه های سال، مقداری کاهش نسبت به میانگین های اقلیم تاریخی نشان می دهد. لیکن حدود بالا و پایین ۹۰ درصد آن گسترده تر شده است و حد بالای این

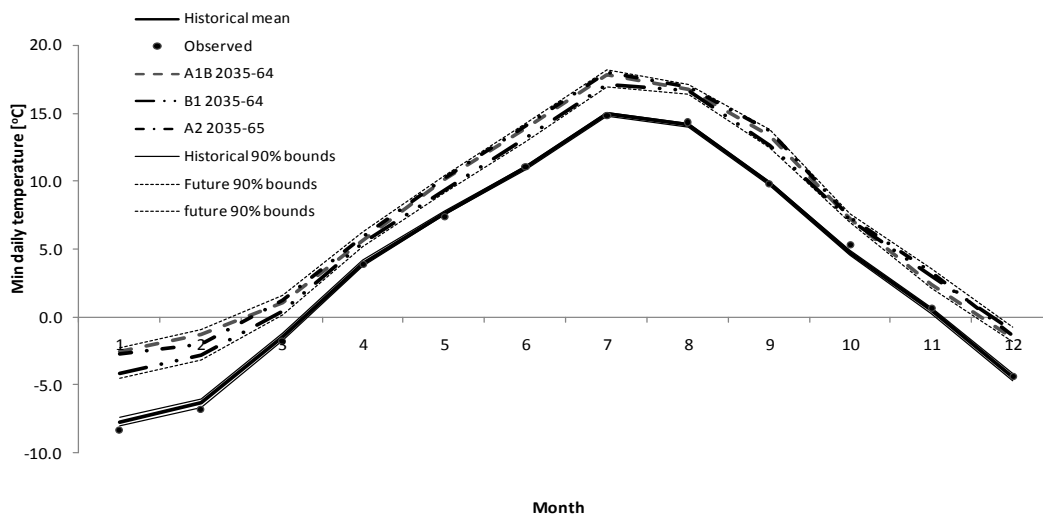


شکل ۴- خلاصه نتایج ارزیابی آثار تغییر اقلیم و نوسانات اقلیمی بر میانگین های ماهانه بارش زنجان با در نظر گرفتن هم- زمان عدم قطعیت های نوسانات طبیعی اقلیم و سناریوهای انتشار.

Figure 4- Summary of results for climate change impact assessment on rainfall monthly means by considering uncertainties of climate variability and emission scenarios for Zanzan.

سناریوهای آینده ارایه شده است. نتایج حاکی از افزایش قابل توجه دمای حداقل روزانه در اقلیم آینده نسبت به اقلیم فعلی است. این نتایج نشان می دهد دامنه حدود ۹۰٪ سناریوهای اقلیم آینده به کلی خارج از دامنه نوسانات ۹۰٪ اقلیم فعلی است و علی رغم نوسانات اقلیم، افزایش دما در همه ماه های سال پیش یابی می شود. همچنین عدم قطعیت سناریوهای انتشار در مقایسه با میزان افزایش دما اندک است. مقادیر این افزایش در ماه های مختلف سال با منظور نمودن عدم قطعیت نوسانات اقلیمی و سناریوهای انتشار در شکل (۵) و جدول (۳) قابل مشاهده می باشد.

میانگین های اقلیم تاریخی بارش ماهانه (خط ضخیم) و حدود ۹۰٪ آن (خط نازک)، با میانگین های ماهانه سناریوهای بارش اقلیم آینده (خط چین های ضخیم) و حدود حداکثر و حداقل ۹۰٪ آن ها (خط چین های نازک) مقایسه شده است. خلاصه نتایج ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر کمینه دمای روزانه زنجان تحت سناریوهای A1B، A2، B1 و A2، در شکل (۵) و جدول (۳) ارایه شده است. میانه های میانگین ماهانه های حداقل روزانه زنجان برای اقلیم فعلی و حدود ۹۰٪ نوسانات طبیعی آن به همراه میانه های میانگین های ماهانه دمای حداقل روزانه سناریوهای اقلیم آینده و حدود ۹۰٪ مجموعه



شکل ۵- چکیده ای از نتایج ارزیابی آثار تغییر اقلیم و نوسانات اقلیمی بر میانگین های ماهانه کمینه دمای روزانه زنجان

تحت سناریوهای انتشار مختلف مدل CGCM3 با استفاده از شبیه سازی مدل LARS-WG.

Figure 5- Summary of results for climate change impact assessment on monthly means of minimum daily temperature under different emission scenarios using LARS-WG model.

ضخیم) و حدود حداکثر و حداقل ۹۰٪ آن ها (خط چین های نازک) مقایسه شده است.

میانگین های ماهانه کمینه دمای روزانه اقلیم تاریخی (خط ضخیم) و حدود ۹۰٪ آن (خط نازک)، با میانگین های ماهانه سناریوهای کمینه دمای روزانه اقلیم آینده (خط چین های

جدول ۳- مقادیر میانگین و حدود ۹۰٪ میانگین های کمینه دمای روزانه زنجان در شبیه سازی ۱۰۰ سری ۳۰ ساله برای اقلیم

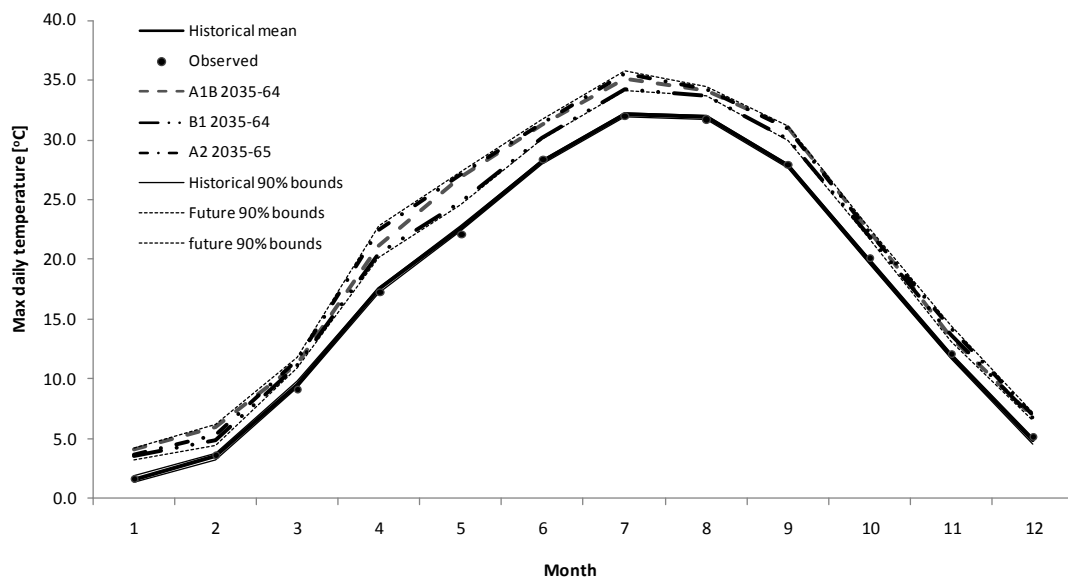
تاریخی و میانگین و حدود حداکثر و حداقل ۹۰٪ سناریوهای اقلیم تغییر یافته آینده آن ها

Table 3-Means and 90 percentile bounds of historical monthly means of minimum daily temperature as well as mean and 90 percentile bounds of future A2, B1, and A1B scenarios for monthly means of minimum daily temperature, each calculated from 100 simulated 30 years' series for Zanjan.

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
-۸/۳	-۶/۷	-۱/۸	۳/۹	۷/۴	۱۱/۱	۱۴/۹	۱۴/۴	۹/۸	۵/۳	۰/۷	-۴/۴	مشاهداتی
-۷/۷	-۶/۳	-۱/۴	۴	۷/۷	۱۱/۱	۱۵	۱۴/۲	۹/۹	۴/۸	۰/۵	-۴/۴	دوره تاریخی ۱۹۷۱-۲۰۰۰
-۲/۵	-۱/۲	۱/۱	۵/۷	۱۰/۲	۱۳/۹	۱۷/۹	۱۶/۸	۱۳/۴	۷/۳	۲/۴	-۱/۵	A1B 2035-64
-۴/۱	-۲/۸	۰/۴	۵/۵	۹/۴	۱۳/۱	۱۷/۱	۱۶/۷	۱۲/۶	۷/۲	۳	-۱	B1 2035-64
-۲/۷	-۱/۹	۱/۳	۶	۱۰/۳	۱۴/۱	۱۸/۱	۱۷	۱۳/۷	۷/۴	۳/۴	-۱/۳	A2 2035-64
-۸	-۶/۶	-۱/۷	۳/۸	۷/۵	۱۰/۹	۱۴/۸	۱۴/۱	۹/۷	۴/۶	۰/۳	-۴/۷	حد بالای ۹۰٪ دوره تاریخی
-۷/۳	-۶	-۱/۱	۴/۲	۷/۸	۱۱/۲	۱۵/۱	۱۴/۳	۱۰	۵	۰/۸	-۴/۱	حد پایین ۹۰٪ دوره تاریخی
-۲/۲	-۰/۹	۱/۶	۶/۳	۱۰/۴	۱۴/۳	۱۸/۲	۱۷/۲	۱۳/۹	۷/۶	۳/۶	-۰/۷	حد بالای ۹۰٪ سناریوهای آینده
-۴/۵	-۳/۲	۰/۲	۵/۲	۹/۲	۱۳	۱۷	۱۶/۵	۱۲/۵	۷	۲/۲	-۱/۸	حد پایین ۹۰٪ سناریوهای آینده

تواند بین ۲/۶ تا ۳/۸ درجه افزایش داشته باشد. از شکل (۵) و جدول (۳) نتایج مشابهی برای سایر ماه ها نیز مشهود است. هم‌چنین در خصوص ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر بیشینه دمای روزانه زنجان، چکیده نتایج تحت سناریوهای A2، B1، و A1B، در شکل (۶) و جدول (۴) ارائه شده است. در مورد بیشینه دمای روزانه زنجان نیز، دامنه حدود ۰.۹٪ سناریوهای اقلیم آینده به کلی خارج از دامنه نوسانات ۰.۹٪ اقلیم فعلی است و علی‌رغم نوسانات اقلیم، پیش‌یابی می‌شود که میانگین‌های ماهانه بیشینه دمای روزانه در همه ماه‌های سال افزایش یابد. از طرفی عدم قطعیت سناریوهای انتشار در مقایسه با میزان افزایش دما اندک است. در مجموع علی‌رغم عدم قطعیت سناریوهای انتشار و نوسانات اقلیمی، نتایج حاکی از افزایش مهم و قابل توجه میانگین‌های ماهانه بیشینه دمای روزانه زنجان است. مقادیر این افزایش در ماه‌های مختلف سال در شکل (۶) و جدول (۴) قابل مشاهده است.

به عنوان نمونه ای از تفسیر نتایج، در ماه دسامبر میانگین دمای حداقل روزانه اقلیم تاریخی ۴/۴- میلی متر است. در حالی که میانگین‌های میانگین‌های دمای حداقل روزانه اقلیم آینده آن تحت سناریوهای مختلف بین ۱/۳- تا ۱/۵- پیش‌یابی می‌شود. این موضوع حاکی از آن است که میانگین دمای حداقل روزانه این ماه بین ۲/۹ تا ۳/۱ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد. اما به دلیل نوسانات اقلیمی، میانگین اقلیمی می‌تواند اتفاق نیفتد و لذا حدود ۹۰ درصد نوسانات نیز در نظر گرفته می‌شود. تحت اقلیم فعلی حدود ۹۰ درصد نوسانات میانگین‌های دمای حداقل روزانه ماه دسامبر برای دوره‌های ۳۰ ساله، بین ۴/۱- تا ۴/۷- است. اما حدود بالا و پایین ۹۰ درصد سناریوهای آینده بین ۰/۷- تا ۱/۸- پیش‌یابی شده است. بنابراین تحت سناریوهای مورد بررسی، در سطح احتمال ۹۰ درصد، مقدار میانگین کمینه دمای روزانه اقلیم آینده زنجان در دسامبر نسبت به میانگین کمینه دمای روزانه اقلیم تاریخی آن، می



شکل ۶- چکیده ای از نتایج ارزیابی آثار تغییر اقلیم و نوسانات اقلیمی بر میانگین‌های ماهانه بیشینه دمای روزانه زنجان

تحت سناریوهای انتشار مختلف مدل CGCM3 با استفاده از شبیه سازی مدل LARS-WG.

Figure 6- Summary of results for climate change impact assessment on monthly means of maximum daily temperature under different emission scenarios using LARS-WG model.

ضخیم) و حدود حداکثر و حداقل ۰.۹٪ آن‌ها (خط چین‌های نازک) مقایسه شده است.

میانگین‌های ماهانه بیشینه دمای روزانه اقلیم تاریخی (خط ضخیم) و حدود ۰.۹٪ آن (خط نازک)، با میانگین‌های ماهانه سناریوهای بیشینه دمای روزانه اقلیم آینده (خط چین‌های

جدول ۴- مقادیر میانگین و حدود ۹۰٪ میانگین های بیشینه دمای روزانه زنجان در شبیه سازی ۱۰۰ سری ۳۰ ساله برای اقلیم تاریخی؛ و میانگین و حدود حداکثر و حداقل ۹۰٪ سناریوهای اقلیم تغییر یافته آینده آن ها

Table 4-Means and 90 percentile bounds of historical monthly means of maximum daily temperature as well as mean and 90 percentile bounds of future A2, B1, and A1B scenarios for monthly means of maximum daily temperature, each calculated from 100 simulated 30 years' series for Zanjan.

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
۱/۶	۳/۶	۹/۱	۱۷/۲	۲۲/۱	۲۸/۳	۳۱/۹	۳۱/۷	۲۷/۹	۲۰/۱	۱۲/۱	۵/۱	مشاهداتی
۱/۶	۳/۶	۹/۵	۱۷/۵	۲۲/۵	۲۸/۱	۳۲/۱	۳۱/۹	۲۷/۸	۱۹/۸	۱۱/۹	۴/۹	دوره تاریخی ۱۹۷۱-۲۰۰۰
۴/۱	۶	۱۱/۲	۲۱/۱	۲۶/۸	۳۱/۲	۳۵/۱	۳۴/۱	۳۱	۲۲/۴	۱۳/۴	۶/۸	A1B 2035-64
۳/۵	۴/۸	۱۱/۲	۲۰/۴	۲۴/۸	۳۰/۲	۳۴/۳	۳۳/۸	۳۰/۱	۲۲	۱۳/۶	۶/۸	B1 2035-64
۳/۷	۵/۳	۱۱/۶	۲۲/۵	۲۷/۱	۳۱/۵	۳۵/۶	۳۴/۳	۳۱	۲۲/۳	۱۴/۲	۷	A2 2035-64
۱/۴	۳/۲	۹/۳	۱۷/۲	۲۲/۳	۲۷/۹	۳۱/۹	۳۱/۸	۲۷/۶	۱۹/۶	۱۱/۶	۴/۵	حد بالای ۹۰٪ دوره تاریخی
۱/۹	۳/۸	۹/۹	۱۷/۷	۲۲/۸	۲۸/۳	۳۲/۳	۳۲/۱	۲۸	۲۰/۱	۱۲/۲	۵/۱	حد پایین ۹۰٪ دوره تاریخی
۴/۳	۶/۲	۱۱/۹	۲۲/۸	۲۷/۳	۳۱/۷	۳۵/۸	۳۴/۴	۳۱/۱	۲۲/۶	۱۴/۴	۷/۲	حد بالای ۹۰٪ سناریوهای آینده
۳/۲	۴/۵	۱۰/۹	۲۰/۲	۲۴/۶	۳۰	۳۴/۱	۳۳/۶	۲۹/۹	۲۱/۷	۱۳/۲	۶/۵	حد پایین ۹۰٪ سناریوهای آینده

نتیجه گیری

استفاده شده است. خروجی های مدل CGCM3 برای سناریوهای انتشار A1B، A2، و B1 که به ترتیب بیانگر حالات غلظت متوسط، غلظت زیاد و غلظت کم گازهای گل-خانه‌ای هستند توسط مدل LARS-WG برای زنجان ریز مقیاس شده است. برای تحلیل عدم قطعیت نوسانات اقلیمی و سناریوهای انتشار، ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر هر متغیر، با مقایسه حدود ۹۰٪ تغییرات ۱۰۰ سری تولید شده توسط مدل LARS-WG برای اقلیم حال و برای هر سناریوی اقلیم آینده انجام شده است. به این ترتیب نتایج دامنه‌ای از حالات ممکن از هر اقلیم را در بردارند و در نتیجه به این ترتیب قابلیت اعتماد نتایج افزایش می‌یابد.

نتایج ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG حاکی از عملکرد قابل قبول مدل در بازتولید میانگین های متغیرهای مشاهداتی است. تحت سناریوهای مورد بررسی، نتایج ارزیابی آثار تغییر اقلیم زنجان حاکی از افزایش قابل توجه میانگین های کمینه دمای روزانه و بیشینه دمای روزانه در اقلیم آینده (۲۰۶۴-۲۰۳۵) نسبت به اقلیم فعلی (۱۹۷۱-۲۰۰۰) است. این نتایج

سناریوهای منتشر شده توسط هیأت بین دول تغییر اقلیم حاکی از تداوم تغییر اقلیم مناطق مختلف کره زمین در سال-های آینده است. ویژگی های تغییر اقلیم و آثار آن در مناطق مختلف متفاوت است و عموماً برای هر منطقه، پیش‌یابی اقلیم تغییر یافته آینده برای کسب آمادگی برای شرایط اقلیمی آینده اهمیت دارد. در حال حاضر نتایج پیش‌یابی اقلیم تغییر یافته آینده با عدم قطعیت های مهمی روبه‌رو است که از جمله مهم-ترین آن‌ها عدم قطعیت نوسانات طبیعی اقلیم و عدم قطعیت سناریوهای انتشار است. با منظور نمودن عدم قطعیت های نوسانات طبیعی اقلیم و سناریوهای انتشار، نتایج دامنه وسیعی از حالات محتمل آینده را در بر می‌گیرد که در افزایش قابلیت اعتماد نتایج بسیار مهم است. در این تحقیق آثار تغییر اقلیم آینده زنجان بر متغیرهای بارش روزانه، کمینه دمای روزانه و بیشینه دمای روزانه، با تحلیل هم‌زمان عدم قطعیت‌های نوسانات طبیعی اقلیم و سناریوهای انتشار، ارزیابی شده است. برای کاهش مقیاس سناریوهای آینده از روش مولدهای استوکستیک داده‌های هواشناسی توسط مدل LARS-WG

- climate change impact on floods using weather generator and continuous rainfall-runoff model, *International Journal of Climatology*, 32:1997-2006
4. Khazaei, M.R., *Climate Change Impacts assessment on Floods Frequency and Magnitude*, Ph.D. thesis, Iran University of Science and Technology, School of Civil Engineering, 2010, 187 pages. (In Persian)
 5. Babaeian, E., Nagafineik, Z., Zabolabasi, F., Habeibei, M., Adab, H., malbisei, S., 2010. *Climate Change Assessment over Iran During 2010-2039 by Using Statistical Downscaling of ECHO- G Model*, *Geography and Development Iranian Journal*, 16:135-152. (In Persian)
 6. Ghorbanizadeh Karazi, H., Chelehmal Dezfoulnezhad, M., 2010. *Study on the effect of climate change on snowmelt runoff timing in Dez basin*. *Journal of Wetland Ecobiology*, 2: 56-66. (In Persian)
 7. Kamal, A.R., Masah Bavani, A.R., 2011. *Climate change and variability impact in basin's runoff with interference of tow hydrology models uncertainty*. *Journal of Water and Soil*, 24:920-931. (In Persian)
 8. Heidari, A.R., *Assessment of various climate change scenarios on multi objective reservoirs operation (Case study: Ami Kabir Dam)*, Master science thesis, Tarbiat Modares University, School of Civil Engineering, 2011, 125 pages. (In Persian)
 9. IPCC, 2007. *General Guidelines on the use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment*, version 2.

نشان می‌دهد برای هر یک از متغیرهای کمینه دمای روزانه و بیشینه دمای روزانه، دامنه ۹۰٪ سناریوهای اقلیم آینده زنجان به کلی خارج از دامنه نوسانات ۹۰٪ اقلیم فعلی است. در نتیجه حتی با وجود عدم قطعیت‌های نوسانات طبیعی اقلیم و سناریوهای انتشار، پیش‌یابی می‌شود که در همه ماه‌های سال میانگین‌های بیشینه دمای روزانه و کمینه دمای روزانه افزایش یابد. مقدار افزایش میانگین این متغیرها در ماه‌های مختلف سال متفاوت است. با مقایسه میانگین هر متغیر اقلیم فعلی در هر ماه از سال با حدود ۹۰٪ سناریوهای اقلیم آینده (که در برگیرنده عدم قطعیت نوسانات اقلیمی و سناریوهای انتشار است)، مشاهده شد که میانگین ماهانه دمای کمینه اقلیم آتی بین ۱/۲ تا ۵/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. این افزایش برای دمای بیشینه بین ۰/۹ تا ۵/۳ درجه است. در خصوص متغیر بارش، در اغلب ماه‌های سال میانگین سناریوهای اقلیم آینده کمتر از میانگین بارش اقلیم فعلی است. لیکن با توجه به عدم قطعیت‌های موجود و تداخل دامنه نوسانات اقلیم فعلی با حدود سناریوهای اقلیم آینده، افزایش مقدار بارش نیز با احتمال اندک ممکن است. با مشاهده دامنه عدم قطعیت‌ها در نتایج، مشخص شد که در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های سناریوهای انتشار و نوسانات اقلیمی در نتایج مهم است، ضمن آن‌که دامنه عدم قطعیت‌ها در بارش بسیار بیش‌تر از دامنه عدم قطعیت‌ها در دما است.

Reference

1. 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.
2. IPCC, 1995. *Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*. In: WATSON, R. T., ZINYOWERA, M.C., MOSS, R.H. (ed.). UK.
3. Khazaei, M.R., Zahabiyou, B., and Saghafian, B., 2012. *Assessment of*

- modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modeling, *International Journal of Climatology* 27:1547-1578.
18. Wilby, R.L., Dawson, C.W. & Barrow, E.M., 2002. SDSM - a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, *Environmental Modelling & Software*, 17, 147-159.
 19. Semenov, M.A., and Brooks, R.J., 1998. Comparison of the WGEN and LARSWGstochastic weather generators for diverse climates, *Climate Research*, 10: 95-107.
 20. Utset, A., Martinez-cob, A., Farre, I. & Cavero, J., 2006. Simulating the effects of extreme dry and wet years on the water use of flooding-irrigated maize in a Mediterranean landplane, *Agricultural Water Management*, 85, 77-84.
 21. Dibike, Y. B. & Coulibaly, P., 2005. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models, *Journal of Hydrology*, 307, 145-163.
 22. Mavromatis, T. & Hansen, J.W., 2001. Interannual variability characteristics and simulated crop response of four stochastic weather generators, *Agricultural and Forest Meteorology*, 109, 283-296.
 23. Khan, M. S., Coulibaly, P. & Dibike, Y., 2006. Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *Journal of Hydrology*, 319, 357-382.
 24. Semenov, M. A., 2007. Development of high-resolution UKCIP02-based climate change scenarios in the UK, 10. Kay, A. L., Davies, H. N., Bell, V. A. & Jones, R. G., 2009. Comparison of uncertainty sources for climate change impacts: flood frequency in England, *Climatic Change*, 92, 41-63.
 11. Reaney, S. M.; Fowler, H. J., 2008. Uncertainty estimation of climate change impacts on river flow incorporating stochastic downscaling and hydrological model parameterisation error sources, BHS 10th National Hydrology Symposium, Exeter.
 12. Minville M, Brissette F, Leconte R., 2008. Uncertainty of the impact of climate change on the hydrology of a nordic watershed, *Journal of Hydrology* 358:70-83.
 13. Khazaei M.R., Ahmadi S., Saghafian B., Zahabiyoun B., 2013. A new daily weather generator to preserve extremes and low-frequency variability, *Climatic Change*: 119:631-645.
 14. Prudhomme, C., Jakob, D. & Svensson, C., 2003. Uncertainty and climate change impact on the flood regime of small UK catchments, *Journal of Hydrology*, 277, 1-23.
 15. Wilby RL, Christian WD., 2007. SDSM 4.1- a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, User Manual. <http://co-public.lboro.ac.uk/cocwd/SDSM/SDSMManual.pdf>
 16. Prudhomme, C., Reynard, N. & Crooks, S., 2002. Downscaling of global climate models for flood frequency analysis: where are we now?, *Hydrological Processes*, 16, 1137-1150.
 17. Fowler HJ, Blenkinsop S, Tebaldi C. 2007. Linking climate change

- Agricultural and Forest Meteorology, 144, 127-138.
25. Holman, I.P., Tascone, D. & Hess, T.M., 2009. 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, 17, 1629-1641.
 26. Kilsby, C. G., Jones, P.D., Burton, A., Ford, A. C., Fowler, H.J., Harpham, C., James, P., Smith, A. & Wilby, R.L. 2007, A daily weather generator for use in climate change studies, Environmental Modelling & Software, 22, 1705-1719.
 27. Dubrovsky, M., Buchtele, J. & 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.
 28. Hansen, J.W., Mavromatis, T., 2001. Correcting low-frequency variability bias in stochastic weather generators, Agricultural and Forest Meteorology 109:297-310.