

## تأثیر تغییر اقلیم آبی بر بارش و دما و تعیین عدم قطعیت سناریوهای اقلیمی A1B، A2 و B1 در پیش بینی آنها؛ مطالعه موردی حوضه دریاچه ارومیه

الهام ابراهیمی<sup>۱\*</sup>

[e.ebrahimi@urmia.ac.ir](mailto:e.ebrahimi@urmia.ac.ir)

مهدی ضراغمی<sup>۲</sup>

محمدرضا شیرینی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۲

### چکیده

**زمینه و هدف:** پیامد منفی تغییرات کنونی و آبی اقلیم بر منابع آب جهان محرز شده و بایستی در مدیریت منابع آب در سطح جهانی و محلی مورد توجه قرار گیرد. ریزمقیاس‌نمایی با مدل LARS-WG انجام می‌گیرد، با این حال ریزمقیاس‌نمایی سبب افزایش عدم قطعیت می‌شود؛ بنابراین بررسی عدم قطعیت تأثیر تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب امری ضروری به نظر می‌رسد.

**روش بررسی:** در مطالعه حاضر ابتدا خروجی مدل‌های گردش عمومی جو تحت سه سناریو (A1B، A2 و B1) با مدل LARS-WG ریزمقیاس‌نمایی شدند و عدم قطعیت خروجی در پیش‌بینی پارامترهای دما و بارش حوضه دریاچه ارومیه در افق ۲۰۳۰ بررسی شد.

**یافته‌ها:** مطابق با نتایج بدست آمده دما در دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ روند افزایشی خود را حفظ می‌کند و احتمال افزایش تا حدود ۰/۶۸ درجه سلسیوس در این دوره زمانی وجود دارد. تغییرات پیش‌بینی‌شده بارش در دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰، بین ۴/۰۸- درصد (۱/۱ میلی‌متر کاهش) در ماه می تا ۴/۷۹ درصد (۱/۳۶ میلی‌متر افزایش) در آبان ماه می‌باشد. طبق نتایج SPSS در ماه فروردین احتمال وقوع بارش بیش از ۳۷ میلی‌متر ۷۵ درصد و احتمال داشتن بارشی معادل ۵۰ میلی‌متر، ۵۰ درصد است. همچنین احتمال وقوع بارش بیشتر از ۶۵ میلی‌متر، حداکثر ۲۵ درصد می‌باشد.

**بحث و نتیجه‌گیری:** با توجه به استفاده از نتایج تمامی ۱۵ مدل، علی‌رغم تفاوت دمای حداقل و دمای حداکثر در سناریوهای مختلف، روند دما در افق ۲۰۳۰ در سه سناریو تقریباً یکسان می‌باشد. طبق نتایج هر سه سناریوی انتشار، بیشترین افزایش دما در تابستان رخ خواهد داد. با توجه به افزایش دما در ماه‌های تابستان به خصوص شهریور ماه، لزوم توجه بیشتر به تبخیر به عنوان خروجی آب دریاچه ارومیه بیش از پیش نمایان می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** تغییر اقلیم، عدم قطعیت، دریاچه ارومیه، دما، بارش.

<sup>۱</sup> استادیار، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران \* (مسئول مکاتبات)

<sup>۲</sup> استادیار، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

<sup>۳</sup> دانشیار، موسسه تحقیقات، اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

## **Impact of Future Climate Change on Precipitation and Temperature and Determining The Uncertainty of A1B, A2 and B1 Climate Scenarios in Their Prediction; Case Study: Urmia Lake**

**Elham Ebrahimi** <sup>1\*</sup>

[e.ebrahimi@urmia.ac.ir](mailto:e.ebrahimi@urmia.ac.ir)

**Mehdi Zarghami** <sup>2</sup>

**Mohammad Reza Shiri** <sup>3</sup>

Admission Date: March 12, 2024

Date Received: April 20, 2023

### **Abstract**

**Background and Purpose:** The present and future negative impact of climate change on world water resources, has become clear and should be considered in the global and local levels of water resources management. In this regard, in order to using general circulation models in smaller place, downscaling was done with LARS-WG model, however downscaling increases uncertainty. Thus, evaluating the uncertainty of climate change impacts on water resources management is essential.

**Method:** In this study, the output of the general circulation models under A1B, A2 and B1 scenarios were downscaled using LARS-WG model and output uncertainties in prediction of temperature and precipitation parameters in 2030 horizon in 8 synoptic stations around Urmia lake basin were assessed.

**Findings:** Due to the results the temperature maintains its increasing trend in the period 2011-2030 and would rise about 0.68 °C in 2011-2030. Anticipated precipitation change will be between -4.08 percent (1.1 mm decrease) in May and 4.79 percent (1.36 mm increase) in November from 2011 to 2030. Due to SPSS results in March, the probability of more than 37 mm precipitation was 75 percent and the probability of precipitation equal to 50 mm, was 50 percent. Also the maximum probability of precipitation greater than 65 mm, was 25 percent.

**Discussion and Conclusion:** According to using the results of all 15 models, despite the difference among the minimum and maximum temperature in different scenarios, temperature trends in three scenarios on the horizon of 2030 are almost identical. Due to the results of three emission scenarios, the maximum temperature rise will occur in summer. Due to the temperature rise in the summer months, particularly August, more attention to the evaporation of lake water as the only output is very crucial.

**Keywords:** Climate Change, Uncertainty, Urmia Lake, Temperature, Precipitation.

---

<sup>1</sup> Assistant Professor, Faculty of Engineering, Urmia University, Urmia, Iran *\*(Corresponding Author)*

<sup>2</sup> Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor, Research Institute, Breeding and Seed Preparation, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

## مقدمه

تغییرات مولفه‌های اقلیمی در طولانی‌مدت در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای تأثیر معنی‌داری بر برنامه‌ریزی و تخصیص منابع آب و ارایه راهکارهای مدیریتی دارد (۱). تغییرات اقلیمی در درجه اول یک بحران آب است که تأثیرات آن از طریق وقوع سیل، بالا آمدن سطح دریاها، کوچک شدن یخچال‌ها، آتش سوزی‌های جنگلی و خشکسالی مشاهده می‌شود (۲).

دما و بارش از حیاتی‌ترین عناصر اقلیمی هستند که تأثیر به‌سزایی در مدیریت منابع آب نیز دارند (۳). از سوی دیگر، با توجه به وضعیت دریاچه ارومیه، بررسی دقیق دما و بارش در حوضه آن دارای اهمیت خاص می‌باشد و مطالعه دما و بارش، پیش‌بینی و بررسی عدم قطعیت آنها می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای در مدیریت صحیح حوضه دریاچه ارومیه داشته باشد. برآورد تغییرات اقلیمی در مقیاس محلی با تعداد زیادی از منابع مختلف عدم قطعیت همراه است. به هر صورت عدم قطعیت کاملاً حذف نخواهد شد اما با بررسی‌های بیشتر می‌توان مقدار آن را به حداقل رساند (۴ و ۵).

مدل‌های مولد اقلیمی قادرند سری‌های زمانی مصنوعی در مقیاس روزانه با طول دوره مناسب را ایجاد کنند (۱). به همین منظور مدل‌های گردش جو توسعه یافته‌اند. این مدل‌ها از معتبرترین ابزار برای بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف می‌باشند. خروجی این مدل‌ها قبل از استفاده در مطالعات و توسعه سناریوهای مدیریتی، بایستی ریزمقیاس‌نمایی شوند. به منظور ریزمقیاس‌نمایی، می‌توان از مدل مولد اقلیم LARS-WG استفاده کرد که یکی از بهترین انواع مدل‌های آماری می‌باشد و به مقدار واقعی بسیار نزدیک است (۶).

مدل LARS-WG سری‌های زمانی آب و هوای روزانه در یک مکان واحد را بدون نیاز به محاسبات سنگین شبیه‌سازی می‌کند و با به کارگیری یک توزیع نیمه‌تجربی برای تولید داده‌های بارش روزانه، تابش روزانه و درجه حرارت حداکثر و حداقل روزانه، سرعت باد و نقطه شبنم در ایستگاه، تحت شرایط اقلیمی حاضر و آینده به کار می‌رود (۷ و ۸). مقادیر روزانه یک متغیر اقلیمی از توزیع احتمال متغیرهای اقلیمی برآورد شده از داده‌های تاریخی در یک مکان معین نمونه‌برداری می‌شود و دارای ویژگی‌های آماری مشابه با داده‌های تاریخی است (۷).

شایان توجه است که این مدل را می‌توان به منظور تولید داده‌های گم‌شده، تطویل داده‌های روزانه بر اساس رفتار دوره دیده‌بانی و نیز برای تولید داده‌های روزانه با استفاده از رفتار دوره آماری و سناریوهای ویژه تغییر اقلیم برای دوره آینده

استفاده نمود و خروجی‌های آن را در مطالعه تغییر اقلیم در مقیاس محلی بکار برد (۹). از این ابزار می‌توان برای ایجاد سری‌های زمانی طولانی مناسب برای ارزیابی ریسک کشاورزی و هیدرولوژیکی، فراهم کردن ابزار توسعه شبیه‌سازی آب و هوا به مناطق مشاهده‌نشده، استفاده از آن به عنوان ابزار نه‌چندان گران برای تولید سناریوهای اقلیم محلی جهت ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، بهره گرفت (۱). هرچند که نتایج مطالعات پیشین حاکی از دقت بالاتر این مدل در پیش‌بینی دما نیست به بارش می‌باشد (۱۰).

دریاچه ارومیه به عنوان یکی از بزرگترین دریاچه‌های فوق شور جهان، از موقعیت مهم و استراتژیکی در منطقه برخوردار است که در سال‌های اخیر حجم زیادی از آب خود را از دست داده است (۱۱). با توجه به اهمیت مساله، مطالعه تغییر اقلیم در حوضه دریاچه ارومیه نیز به یکی از محورهای اصلی مطالعات تبدیل شده است. طبق مطالعه علیپور افت تراز آب دریاچه ارومیه ممکن است نتیجه یک دوره طولانی‌مدت آب و هوای خشک باشد (۶). بنابراین هر جست‌وجویی در خصوص ارزیابی علل افت تراز آب دریاچه ارومیه ابتدا باید با تحلیل اثر اقلیم محلی، منطقه‌ای و جهانی روی دریاچه شروع شود (۱۳). شایان ذکر است که مدل‌های گردش عمومی به دلیل مقیاس بزرگ و تفکیک فضایی پایین، برای بررسی دقیق شرایط اقلیمی و هیدرولوژیکی مناطق خاص، محدودیت‌هایی دارند و نمی‌توانند به عنوان یک تقریب دقیق مورد استفاده قرار گیرند (۱۴). به منظور افزایش دقت و کاربرد بهتر چنین مدل‌هایی از تکنیک‌های ریزمقیاس‌نمایی استفاده می‌شود.

در خصوص مطالعات پیشین می‌توان به مطالعه مهسافر و همکاران (۱۳۹۰) اشاره نمود که به بررسی آثار ناشی از تغییر اقلیم بر روی تراز سطح دریاچه ارومیه پرداختند. طبق نتایج مطالعه مذکور، دریاچه تا سال ۲۱۰۰ تحت سناریوی انتشاری A2 خشک خواهد شد (۱۵). روشن و محمدنژاد آروق نیز تغییرات هیدرولوژیکی تراز آب دریاچه ارومیه را با استفاده از سه سناریوی انتشار فرضی متفاوت گرمایش جهانی تا افق زمانی ۲۱۰۰ پیش‌بینی نمودند. نتایج مطالعه ایشان حاکی از افزایش ۰/۷۳ درجه سلسیوسی دما، کاهش ۹/۴۴ میلی‌متری بارش و همچنین کاهش ۲/۷۳ متری در هر دهه در مقایسه با دوره مشاهداتی ۱۹۶۸ تا ۲۰۰۹ بود (۱۶). انصاری و همکاران (۱۳۹۳) نیز عدم قطعیت بارش و دما را در ایستگاه سینوپتیک مشهد و تحت سه مدل HadCM3، GFCM21 و INCM3 بررسی کردند (۱۷). صلاحی و همکاران (۱۳۹۶) تغییر پارامترهای اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه را ارزیابی نمودند. با استفاده از مدل HADCM3 به تنهایی، پیش‌بینی نمودند که

داده‌های هواشناسی برای دوره آتی است. اثر کلی چند مدلی، اجازه بررسی عدم قطعیت در شرایط اولیه مختلف یا پارامترهای مدل را می‌دهد. مدل مولد اقلیمی برای شبیه‌سازی طول دوره‌های خشک و مرطوب، از یک توزیع نیمه‌تجربی استفاده می‌کند. شبیه‌سازی بارندگی بر اساس روزهای تر و خشک مدل‌سازی می‌شود، این در حالی است که روزهای تر به روزهایی اطلاق می‌شود که بارندگی بیشتر از صفر میلی‌متر باشد (۲۳). برای یک روز تر، مقدار بارش از روی یک توزیع نیمه‌تجربی برای هر ماه تعیین می‌شود و این انتخاب، مستقل از طول سری روزهای تر و یا مقدار بارش در روزهای گذشته است (۲۴ و ۲۵).

به منظور مدل‌سازی بهتر تاثیر تغییر اقلیم در زیست‌بوم دریاچه ارومیه و تفاوت‌های نسبی در طرفین دریاچه، بایستی ایستگاه‌های انتخاب شده، هر دو سمت شرق و غرب دریاچه را پوشش دهند. به این منظور از هشت ایستگاه سینوپتیک در دو استان آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی استفاده شد تا پوشش مناسبی در حوضه دریاچه ارومیه لحاظ شود. در ابتدا داده‌های مربوط به اقلیم دوره ۲۱ ساله (۱۹۹۴-۲۰۱۴) هشت ایستگاه سینوپتیک ارومیه، تبریز، تکاب، سراب، سلماس، سردشت، مراغه و مهاباد، مورد تحلیل قرار گرفتند (شکل ۱). اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی در این مطالعه در جدول ۱ آورده شده است.

پنج ایستگاه باران‌سنجی آباجالو سفلی، بناب، داشخانه، شرفخانه و یالقوز آغاج طی دوره شاخص به عنوان ورودی بارش به دریاچه در نظر گرفته شدند (شکل ۱). میانگین حسابی آنها به عنوان شاخص توزیع زمانی بارش در سطح دریاچه و حاشیه آن تعیین شد. شکل ۲ متوسط مقادیر بارندگی ایستگاه‌ها در دوره شاخص را نشان می‌دهد.

مدل‌های گردش عمومی جَو تفاوت‌های آشکاری در برآورد متغیرهای هواشناسی دارند (۲۶). از این رو و با توجه به وجود عدم قطعیت در پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی به دلیل تفاوت‌های مدل اقلیم جهانی و محلی و نیز عدم قطعیت مربوط به پارامتری کردن مدل، استفاده از چندین مدل و سناریو توصیه می‌شود. به این ترتیب به منظور کمی‌سازی و کاهش عدم قطعیت، استفاده از هر سه سناریو و تمام مدل‌ها در این مطالعه انجام شده است. به منظور مقایسه و بررسی داده‌ها از نمودارهای جعبه‌ای (Box Plots) استفاده شد. این نمودارها پارامترهای آماری نظیر چارک اول، میانه، چارک سوم و مقدار کمینه و بیشینه را برای متغیرهای مورد مطالعه ارائه می‌دهند. به کمک باکس پلات‌ها می‌توان به پراکندگی و چولگی داده‌ها پی برد. رسم نمودارها با نرم افزار SPSS 13 انجام گرفت.

بارش سالانه در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، حدود ۴ درصد کاهش یابد. همچنین، میانگین دمای کمینه در حوضه بین ۰/۶۴ تا ۱/۳۵ درجه سلسیوس افزایش خواهد داشت (۱۸). مطالعه al. et Mirgol (2021) به بررسی خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه در گذشته (۱۹۸۸-۲۰۱۷) و آینده (۲۰۲۱-) تحت سناریوهای تغییر اقلیم مدل‌سازی شده با LARS-WG پرداخته و بررسی شواهد مربوط به ظرفیت طبیعی حوضه برای مقابله با خشکسالی با استفاده از شاخص استاندارد بارش (SPI) و شاخص استاندارد بارش و تبخیر و تعرق (SPEI) انجام شده است (۱۹).

مطالعه Radmanesh et al. (2022) به بررسی تغییرات دریاچه بین سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۰، اثرات تغییرات اقلیمی و فرآیندهای ناشی از فعالیت‌های انسانی را بر دریاچه ارومیه پرداخته است. با گزارش اینکه دما در تمام فصول در زمان‌های آتی افزایش خواهد یافت، یافته‌های ایشان نشان می‌دهد که عوامل انسانی تاثیر بیشتری نسبت به تغییرات اقلیمی و خشکسالی طولانی مدت بر دریاچه ارومیه داشته و سوء مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی و برداشت آب‌های سطحی و زیرزمینی در حوضه منجر به کاهش شدید سطح دریاچه شده است (۲۰). در این راستا، هدف مطالعه حاضر، تجزیه و تحلیل تاثیر تغییر اقلیم بر بارش و دما در حوضه دریاچه ارومیه در افق ۲۰۳۰ با جامعیت استفاده از مدل‌های مختلف بوده و همچنین بررسی عدم قطعیت مدل ریزمقیاس نمایی آماری در دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ در حوضه دریاچه ارومیه، انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوضه دریاچه ارومیه با مساحت حدود ۵۲۰۰۰ کیلومترمربع در شمال غربی ایران واقع شده است (۲۱). این دریاچه به عنوان یکی از بزرگ‌ترین دریاچه‌های دایمی فوق شور جهان، اکوسیستم منحصر بفردی دارد و به عنوان بیوسفر جهانی شناخته شده است (۲۲). با توجه به وضعیت نامناسب دریاچه ارومیه و روند رو به خشکیدن آن در سال‌های اخیر، بررسی دقیق اقلیم حوضه حایز اهمیت می‌باشد.

### مدل‌های گردش عمومی جو

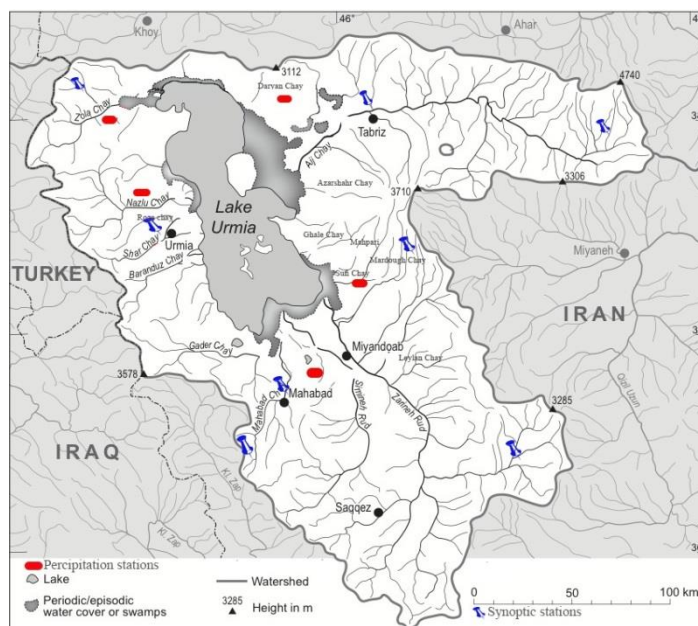
نسخه پنجم مدل LARS-WG از نتایج ۱۵ مدل چرخه عمومی جو استفاده می‌نماید و با سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای در مجموع ۳۵ سناریوی تغییر اقلیم تولید می‌کند. این مدل شامل سه بخش اصلی کالیبراسیون، ارزیابی و ایجاد

باکس پلات‌ها دامنه عدم قطعیت در پیش‌بینی تأثیر عدم قطعیت در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی از مدل‌های AR4 ارائه می‌دهند (۲۵).

جدول ۱. اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی

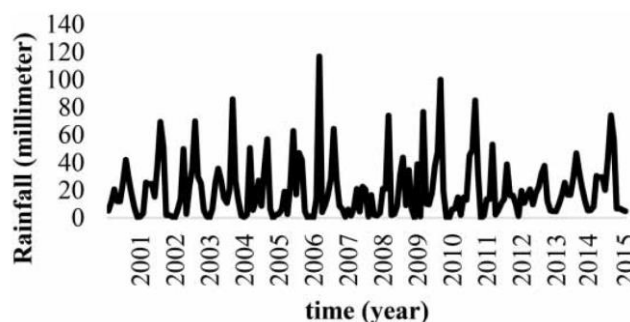
Table 1. Information on the studied synoptic stations

| نام ایستگاه | موقعیت نسبت به دریاچه ارومیه | عرض جغرافیایی (درجه) | طول جغرافیایی (درجه) | ارتفاع (متر) | دوره آماری |
|-------------|------------------------------|----------------------|----------------------|--------------|------------|
| سلماس       | شمال غربی                    | ۳۸/۱۹                | ۴۴/۷۶                | ۱۳۹۶         | ۲۰۰۱-۲۰۱۴  |
| سردشت       | جنوب غربی                    | ۳۵/۵۶                | ۴۶/۶۵                | ۱۸۲۴         | ۱۹۹۴-۲۰۱۴  |
| مهاباد      | جنوب غربی                    | ۳۶/۷۶                | ۴۵/۷۲                | ۱۳۲۴         | ۱۹۹۴-۲۰۱۴  |
| تکاب        | جنوب شرقی                    | ۳۶/۴۰                | ۴۷/۱۱                | ۱۷۹۸         | ۱۹۹۴-۲۰۱۴  |
| ارومیه      | غرب                          | ۳۷/۵۵                | ۴۵/۰۷                | ۱۲۹۷         | ۱۹۹۴-۲۰۱۴  |
| تبریز       | شرق                          | ۳۸/۰۸                | ۴۶/۲۹                | ۱۳۶۱         | ۱۹۹۴-۲۰۱۴  |
| مراغه       | جنوب شرقی                    | ۳۷/۳۸                | ۴۶/۲۳                | ۱۳۳۹         | ۱۹۹۴-۲۰۱۴  |
| سراب        | شمال شرقی                    | ۳۷/۵۵                | ۴۷/۴۰                | ۱۶۵۰         | ۱۹۹۴-۲۰۱۴  |



شکل ۱. موقعیت دریاچه ارومیه، ایستگاه‌های سینوپتیک و باران سنجی

Figure 1. Location of Urmia Lake, synoptic and precipitation stations



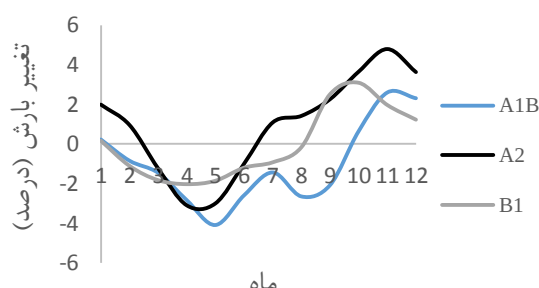
شکل ۲. متوسط بارش ماهانه در پنج ایستگاه باران‌سنجی طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵

Figure 2. Average monthly precipitation at five rain gauge stations during the years 2000 to 2015

## نتایج و بحث

تحلیل پارامترهای اقلیمی دوره صحت‌سنجی با آزمون‌های آماری t و F با نسخه پنجم مدل LARS-WG انجام و نتایج در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد برای اغلب پارامترهای اقلیمی اختلاف سری داده‌های ایجاد شده با مدل (مصنوعی) با سری واقعی معنی‌دار نیست و بیانگر کارایی بالایی مدل در ایجاد داده‌های آتی اقلیم می‌باشد. در این آزمون‌ها، مقدار ناچیز P به معنی عدم تشابه سری مصنوعی با سری واقعی بوده

(رد فرض صفر) و بیانگر این است که توانایی مدل در حد قابل قبولی نیست. روند تغییرات متوسط بارش داده‌های خروجی از مدل تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 در شکل ۳ نمایش داده شده است. مقادیر تغییرات پیش‌بینی‌شده برای بارش، بین ۴/۰۸- تا ۴/۷۹ درصد (۱/۱ میلی‌متر کاهش و ۱/۳۶ میلی‌متر افزایش) می‌باشد. بیشترین تغییرات بارش در سناریوی انتشار A1B و کمترین تغییرات در سناریوی انتشار B1 است.



شکل ۳. متوسط تغییرات ماهانه بارش کل حوزه تحت سناریوهای تغییر اقلیم

Figure 3. Average change in monthly precipitation for the entire basin under climate change scenarios

جدول ۲. نتایج آزمون آماری با استفاده از سری مصنوعی ۵۰۰ ساله

Table 2. Statistical test results using a 500-year synthetic series

| نام سری   | ۱              | ۲              | ۳              | ۴ | ۵              | ۶ | ۷              | ۸ | ۹              | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۳ | ۱۴             | ۱۵             |
|-----------|----------------|----------------|----------------|---|----------------|---|----------------|---|----------------|----|----|----|----|----------------|----------------|
| نوع آزمون | X <sup>2</sup> | X <sup>2</sup> | X <sup>2</sup> | t | X <sup>2</sup> | t | X <sup>2</sup> | t | X <sup>2</sup> | t  | F  | F  | F  | X <sup>2</sup> | X <sup>2</sup> |
| سلماس     | ۰              | ۰              | ۰              | ۱ | ۰              | ۰ | ۰              | ۰ | ۰              | ۱  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰              | ۰              |
| سردشت     | ۰              | ۰              | ۰              | ۱ | ۰              | ۰ | ۰              | ۰ | ۰              | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰              | ۱              |
| مهاباد    | ۰              | ۰              | ۱              | ۰ | ۰              | ۰ | ۰              | ۱ | ۱              | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰              | ۰              |
| تکاب      | ۰              | ۰              | ۰              | ۰ | ۰              | ۰ | ۰              | ۰ | ۰              | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰              | ۲              |
| ارومیه    | ۰              | ۰              | ۱              | ۰ | ۰              | ۰ | ۰              | ۰ | ۰              | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰              | ۰              |
| تبریز     | ۰              | ۰              | ۰              | ۱ | ۰              | ۰ | ۰              | ۰ | ۰              | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰              | ۱              |
| مراغه     | ۰              | ۰              | ۰              | ۰ | ۰              | ۰ | ۰              | ۰ | ۰              | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰              | ۱              |
| سراب      | ۰              | ۰              | ۰              | ۰ | ۰              | ۰ | ۰              | ۰ | ۰              | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰              | ۱              |

(۱) توزیع فصلی دوره‌های مرطوب، (۲) توزیع فصلی دوره‌های خشک، (۳) توزیع روزانه بارندگی، (۴) متوسط مجموع بارش ماهانه، (۵) توزیع روزانه حداقل دما، (۶) متوسط ماهانه حداقل دما، (۷) توزیع روزانه حداکثر دما، (۸) متوسط ماهانه حداکثر دما، (۹) توزیع روزانه تابش خورشیدی، (۱۰) متوسط ماهانه تابش خورشیدی، (۱۱) انحراف معیار مجموع بارش ماهانه، (۱۲) انحراف معیار متوسط ماهانه حداقل دما، (۱۳) انحراف معیار متوسط ماهانه حداکثر دما، (۱۴) توزیع فصلی دوره‌های بسیار سرد و (۱۵) توزیع فصلی دوره‌های بسیار گرم؛ \* : ۰ به منزله عدم اختلاف معنی‌دار سری مصنوعی با سری واقعی و ۱ به منزله اختلاف معنی‌دار سری مصنوعی با سری واقعی می‌باشد.

می‌دهد (۲۷). از آنجا که طبق گزارش‌های IPCC سناریوی A2 به دلیل سناریوی انتشار متوسط آن نسبت به دو سناریوی دیگر منطقی‌تر است، بنابراین در مطالعه حاضر بحث و بررسی نتایج با این سناریو انجام گرفت. با توجه به این که احتمال وقوع داده‌های بزرگ‌تر از چارک اول ۰/۷۵ می‌باشد، بنابراین در ماه

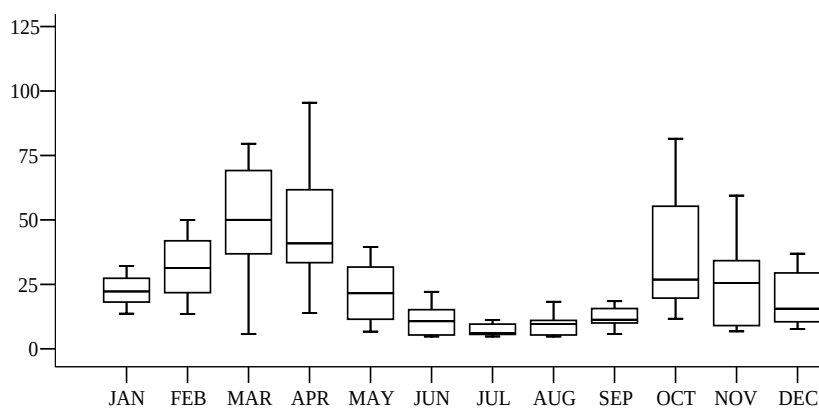
به منظور پی بردن به ماهیت عدم قطعیت در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی آتی، باکس پلات‌هایی برای سناریوهای A1B، A2 و B1 رسم شدند. جعبه‌ها، چارک‌های بالا و پایین نشان می‌دهند، خط داخل جعبه میانه را نشان می‌دهد و خط کوچک بالا و پایین میانگین  $\pm$  انحراف استاندارد (SD) را نشان

دریاچه در افق ۲۰۳۰ تا ۰/۶۸ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. افزایش دما در سناریوی انتشار B1 کمترین مقدار و در سناریوی انتشار A2 بیشترین مقدار می‌باشد. باکس پلات‌های دمای حداقل و دمای حداکثر برای سه سناریو در شکل‌های ۸ تا ۱۳ نشان داده شده است.

با توجه به استفاده از نتایج تمامی ۱۵ مدل، علی‌رغم تفاوت دمای حداقل و دمای حداکثر در سناریوهای مختلف، روند دما در افق ۲۰۳۰ در سه سناریو تقریباً یکسان می‌باشد. طبق نتایج هر سه سناریوی انتشار، بیشترین افزایش دما در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست رخ خواهد داد. با توجه به افزایش دما در ماه‌های تابستان به خصوص آگوست ماه، لزوم توجه بیشتر به تبخیر به عنوان خروجی آب دریاچه ارومیه بیش از پیش نمایان می‌شود.

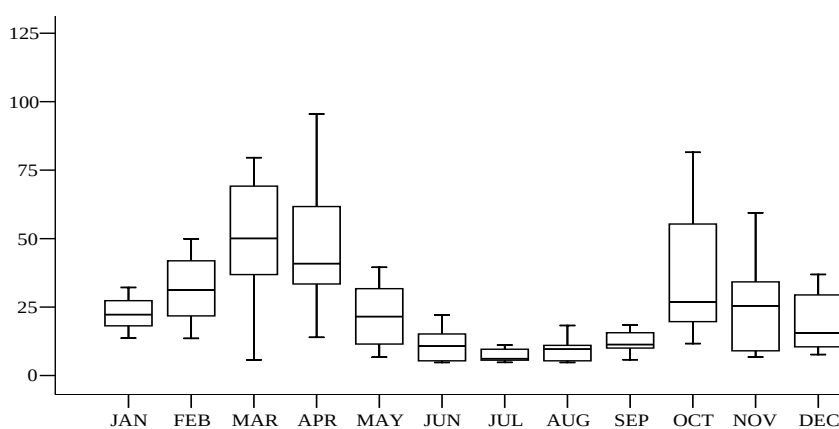
مارس احتمال وقوع بارش بیش از ۳۷ میلی‌متر ۷۵ درصد خواهد بود. احتمال وقوع داده‌های بزرگ‌تر و کوچک‌تر از چارک دوم (میانه) نیز ۰/۵۰ است. پس احتمال داشتن بارشی معادل ۵۰ میلی‌متر، ۵۰ درصد خواهد بود. همچنین احتمال وقوع داده‌های بزرگ‌تر از چارک سوم ۰/۲۵ می‌باشد، در نتیجه احتمال وقوع بارش بیشتر از ۶۵ میلی‌متر، حداکثر ۲۵ درصد خواهد بود (شکل ۴). با مقایسه شکل‌های ۴، ۵ و ۶ می‌توان نتیجه گرفت روند بارش در افق ۲۰۳۰ در سه سناریو تقریباً یکسان می‌باشد؛ در حالی که تفاوت‌های در مقدار در چارک اول، میانه و چارک سوم پیش‌بینی سناریوهای مختلف وجود دارد. این تفاوت‌ها به دلیل عدم قطعیت ایجاد شده در مدل‌ها می‌باشد. بیشترین و کمترین بارش به‌ترتیب در ماه مارس و ماه آگوست خواهد بود.

روند تغییرات متوسط دما تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 نشان داده شده است (شکل ۷). مطابق شکل دمای حوضه



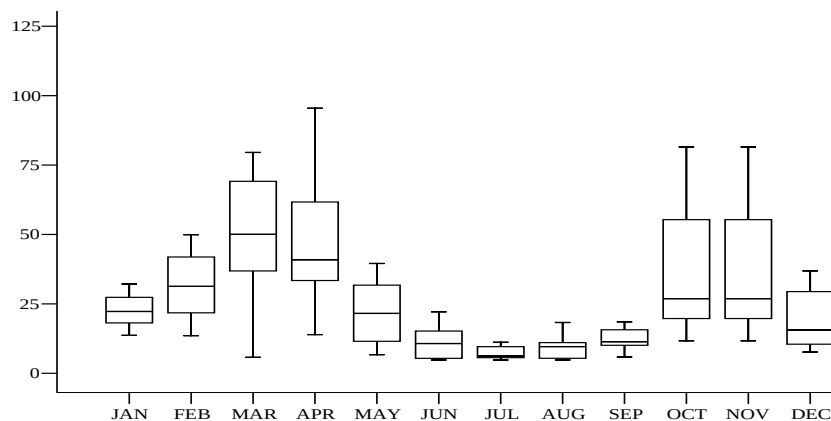
شکل ۴. متوسط پیش‌بینی بارش تحت سناریوی A2 در حوضه دریاچه ارومیه

Figure 4. Average precipitation forecast under scenario A2 in the Urmia Lake basin



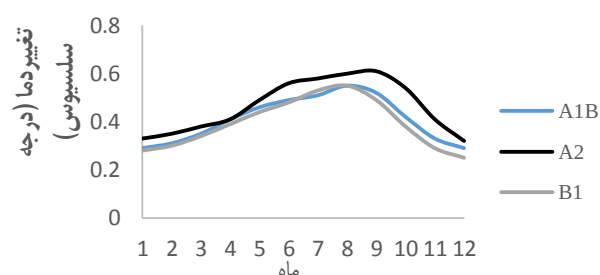
شکل ۵. متوسط پیش‌بینی بارش تحت سناریوی A1B در حوضه دریاچه ارومیه

Figure 5. Average precipitation forecast under scenario A1B in the Urmia Lake basin



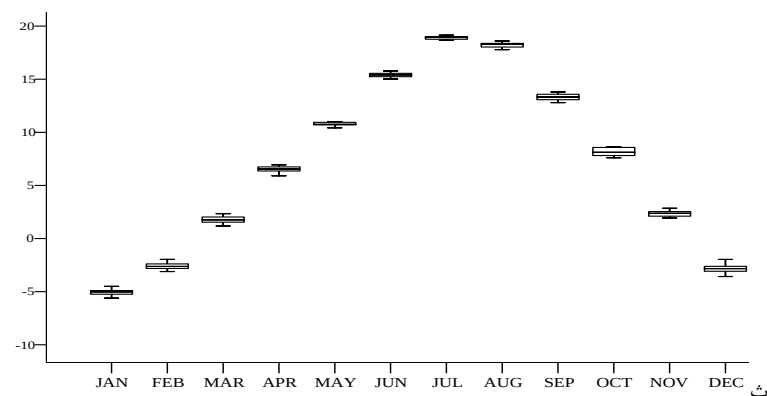
شکل ۶. متوسط پیش‌بینی بارش تحت سناریوی B1 در حوضه دریاچه ارومیه

Figure 6. Average precipitation forecast under scenario B1 in the Urmia Lake basin



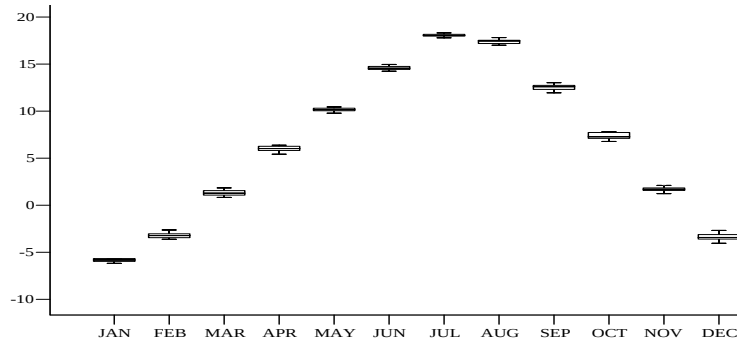
شکل ۷. متوسط تغییرات ماهانه دمای کل حوضه تحت سناریوهای تغییر اقلیم

Figure 7. Average monthly temperature changes for the entire basin under climate change scenarios



شکل ۸. متوسط پیش‌بینی دمای حداقل تحت سناریوی A2 در حوضه دریاچه ارومیه

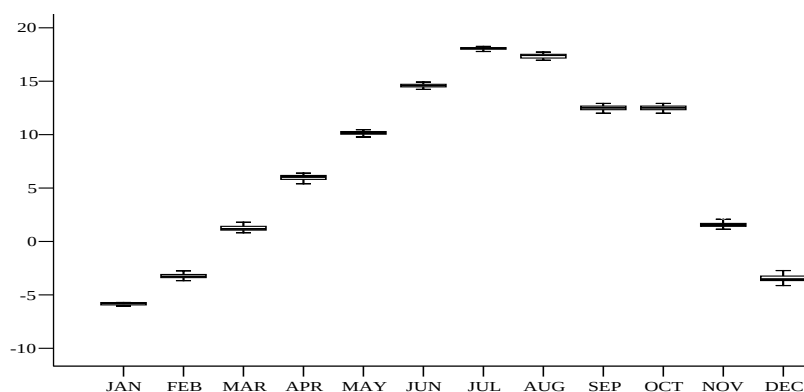
Figure 8. Average minimum temperature forecast under scenario A2 in the Urmia Lake basin



شکل ۹. متوسط پیش‌بینی دمای حداقل تحت سناریوی A1B در حوضه دریاچه ارومیه

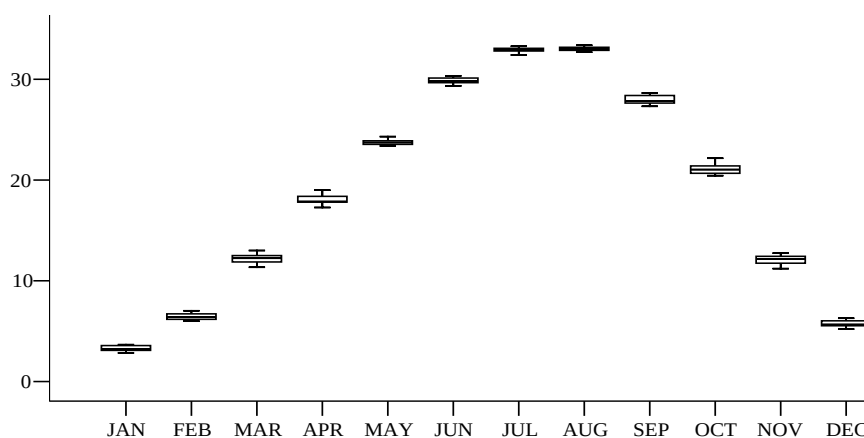
Figure 9. Average minimum temperature forecast under scenario A1B in the Urmia Lake basin





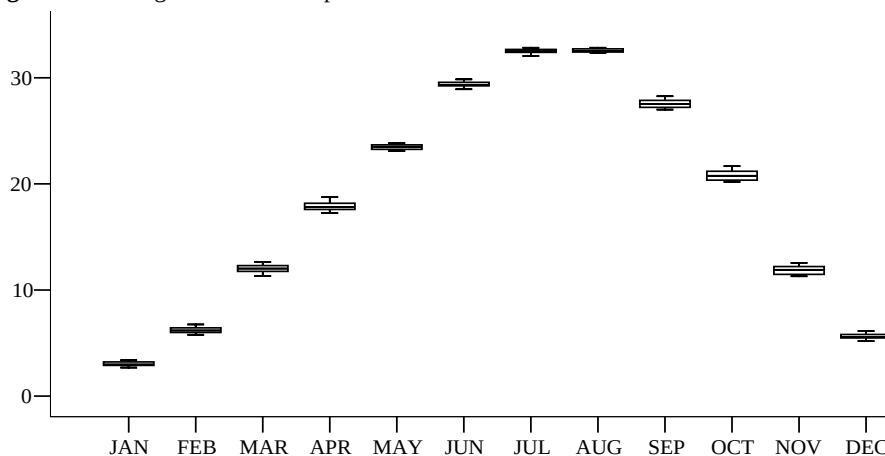
شکل ۱۰. متوسط پیش‌بینی دمای حداقل تحت سناریوی B1 در حوضه دریاچه ارومیه

Figure 10. Average minimum temperature forecast under scenario B1 in the Urmia Lake basin



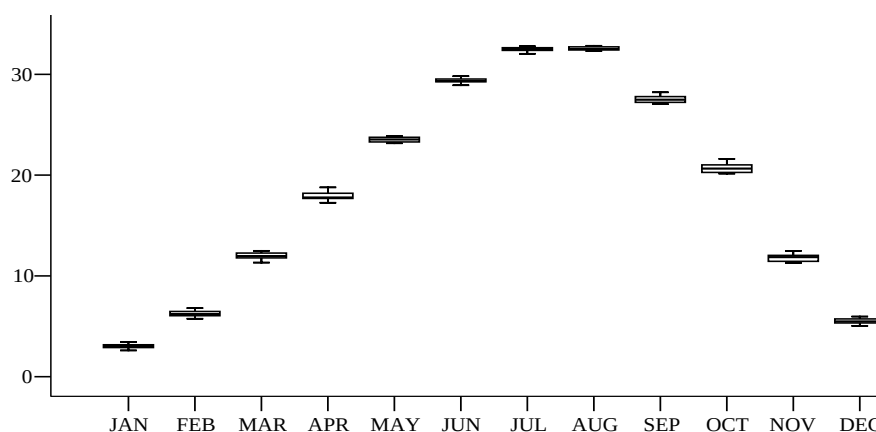
شکل ۱۱. متوسط پیش‌بینی دمای حداکثر تحت سناریوی A2 در حوضه دریاچه ارومیه

Figure 11. Average maximum temperature forecast under scenario A2 in the Urmia Lake basin



شکل ۱۲. متوسط پیش‌بینی دمای حداکثر تحت سناریوی A1B در حوضه دریاچه ارومیه

Figure 12. Average maximum temperature forecast under scenario A1B in the Urmia Lake basin



شکل ۱۳. متوسط پیش‌بینی دمای حداکثر تحت سناریوی B1 در حوضه دریاچه ارومیه

Figure 13. Average maximum temperature forecast under scenario B1 in the Urmia Lake basin

بنابراین برنامه‌ریزی دقیق در حوضه آبریز دریاچه جهت ادامه حیات دریاچه بیش از پیش اهمیت خواهد داشت.

## References

1. Ababaei, B., Mirzaei, F., Sohrabi, T. 2011. Performance evaluation of the LARS-WG model at 12 coastal meteorological stations in Iran. *Iranian Journal of Water Research*, 9, 217-222. (in Persian).
2. UN. 2024. ECA, U., ECE, U., ECLAC, U., ESCAP, U., ESCWA, U., & World Health Organization (WHO). (2020). *Water and climate change*.
3. Sari sarraf, B., Jalali Ansaroodi, T. 2019. The Investigation of the Impact of Climate Change on Water Balance Caused by Precipitation in Tasuj Aquifer for the Period of 2017-2030. *Hydrogeomorphology*, 6(19), 163-185. (in Persian).
4. Pathak, R., Dasari, H. P., Ashok, K., & Hoteit, I. 2023. Effects of multi-observations uncertainty and models similarity on climate change projections. *Npj Climate and Atmospheric Science*, 6(1), 144.
5. Qasmi, S., & Ribes, A. 2022. Reducing uncertainty in local temperature projections. *Science Advances*, 8(41), eabo6872.
6. Khaliliaqdam, N., Mosaedi, A., Soltani, A., Kamkar, B. 2013. Evaluation of ability of LARS-WG model for simulating some weather parameters in Sanandaj. *Journal of Water and Soil Conservation*, 19(4), 85-102. (in Persian).
7. Iizumi, T., Semenov, M. A., Nishimori, M., Ishigooka, Y., & Kuwagata, T. 2012. ELPIS-JP: a dataset of local-scale daily climate change scenarios for Japan. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 370(1962), 1121-1139.

## نتیجه‌گیری

در این مطالعه از نتایج مدل LARS-WG، سه سناریوی انتشار و ۱۵ مدل چرخه عمومی برای بررسی تغییر اقلیم در حوضه آبریز دریاچه ارومیه استفاده شد. طی دوره شاخص، دمای متوسط حوضه دریاچه ارومیه روند افزایشی دارد و طبق پیش‌بینی این مطالعه، دمای حوضه در آینده تا ۰/۶۸ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. افزایش دما در سناریوی انتشار B1 کمترین مقدار و در سناریوی انتشار A2 بیشترین مقدار می‌باشد. نتایج هر سه سناریوی انتشار، نشان داد بیشترین افزایش دما در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست رخ خواهد داد. مقادیر تغییرات پیش‌بینی‌شده برای بارش، بین ۴/۰۸- درصد (۱/۱ میلی‌متر کاهش) تا ۴/۷۹ درصد (۱/۳۶ میلی‌متر افزایش) می‌باشد. بیشترین تغییرات بارش مربوط به سناریوی انتشار A1B و کمترین تغییرات مربوط به سناریوی انتشار B1 است. مطابق با سناریوی A2 در ماه مارس احتمال وقوع بارش بیش از ۳۷ میلی‌متر ۷۵ درصد، احتمال داشتن بارشی معادل ۵۰ میلی‌متر، ۵۰ درصد و احتمال وقوع بارش بیشتر از ۶۵ میلی‌متر، حداکثر ۲۵ درصد خواهد بود. بررسی عدم قطعیت در مدل‌های اقلیمی، امری ضروری برای آنالیز مدل‌ها و تعیین میزان اطمینان خروجی آنها می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از مدل‌ها به صورت منفرد و یا استفاده از تنها یک سناریو برای پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی، کافی و مطلوب نمی‌باشد. برای کاهش عدم قطعیت در ریزمقیاس‌نمایی استفاده از تمام مدل‌ها و سناریوها ضروری است. از سوی دیگر استفاده از روش‌های کمینه کردن عدم قطعیت نظیر روش مونت کارلو توصیه می‌شود. به طور کلی، با توجه به کاهش بارندگی در طول فصل تابستان از یک طرف و افزایش دما از سوی دیگر و به تبع افزایش دما افزایش تبخیر نیز اتفاق خواهد یافت،

8. Sarkar, J., Chicholikar, J. R., & Rathore, L. S. 2015. Predicting future changes in temperature and precipitation in arid climate of Kutch, Gujarat: analyses based on LARS-WG model. *Current science*, 2084-2093.
9. Meshkati, A., Kordjazi, M., and Babaeian, A. 2010. Investigation and evaluation of the Lars model in simulating meteorological data of Golestan province during the period 1993-2007. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*. 10 (13). 81-96. (in Persian).
10. Kavwenje, S., Zhao, L., Chen, L., & Chaima, E. 2022. Projected temperature and precipitation changes using the LARS-WG statistical downscaling model in the Shire River Basin, Malawi. *International Journal of Climatology*, 42(1), 400-415.
11. Ebrahimi, E., Zarghami, M. 2018. Comparing Effects of Restoration Policies Under Climate Change By Using System Dynamics; Case Study Urmia Lake Ecosystem. *Iran-Water Resources Research*, 13 (4), 184-189. (in Persian).
12. Alipour, S. 2006. Hydrogeochemistry of seasonal variation of Urmia Salt Lake, Iran. *Saline Systems*, 2:9.
13. Ebrahimi Sarindizaj, E., Zarghami, M. 2019. Sustainability assessment of restoration plans under climate change by using system dynamics: application on Urmia Lake, Iran. *Journal of Water and Climate Change*, 10(4), 938-952.
14. Sheykh Rabiee, M. R. , Peyrowan, H. R. , Daneshkar Arasteh, P. , Akbary, M. and Motamedvaziri, B. 2021. Comparison of the efficiency of SDSM and CCT models in climate change studies(Case study of Karganrood watershed). *Journal of Meteorology and Atmospheric Science*, 4(2), 128-146. (in Persian).
15. Mahsifar, H., Maknun, R., and Thaqafian, B. 2011. The effects of climate change on the water balance of Lake Urmia. *Iran-Water Resources Research*, 7, 47-58. (in Persian).
16. Roshan, G., Mohammadnezhad Arough, V. 2012. Projecting hydrological changes of the Urmia Lake water level by different hypothetical approaches to the global warming plans in the coming decades, *Quantitative geomorphology researchs*, 3, 69-88.
17. Ansari, H. , Khadivi, M. , Salehnia, N. and Babaeian, I. 2014. Evaluation of Uncertainty LARS Model under Scenarios A1B, A2 and B1 in Precipitation and Temperature Forecast (Case Study: Mashhad Synoptic Stations). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 8(4), 664-672. (in Persian).
18. Salahi B, Goudarzi M, Hosseini S A. 2017. Prediction of the Climate Parameters in the Urmia Lake Basin during 2011-2030. *jwmseir*; 11 (37) :47-56. (in Persian).
19. Mirgol, B., Nazari, M., Etedali, H. R., & Zamanian, K. 2021. Past and future drought trends, duration, and frequency in the semi-arid Urmia Lake Basin under a changing climate. *Meteorological applications*, 28(4), e2009.
20. Radmanesh, F., Esmaeili-Gisavandani, H., & Lotfirad, M. 2022. Climate change impacts on the shrinkage of Lake Urmia. *Journal of Water and Climate Change*, 13(6), 2255-2277.
21. Faramarzi, N. 2012. Agricultural water use in Lake Urmia basin, Iran: an approach to adaptive policies and transition to sustainable irrigation water use. Master Thesis, Uppsala University, Uppsala, Sweden
22. CIWP. Conservation of Iranian Wetlands Project. 2008. Integrated management plan for Lake Urmia, Tehran: Department of Environment.
23. Haghtalab, N., Goodarzi, M., Habibi Khandan, M., Yavari, A., Jafari, H. 2013. Modeling Climate of Tehran and Mazandaran provinces using the LARS-WG climate model and comparing its changes in the northern and southern fronts of the central Alborz. *Journal of Environmental Science and Technology*, 15, 37-49. (in Persian).
24. Semenov, M.A., Brooks, R.j., Barrow, E.M. & Richardson, C.W. 1998. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate Research*, 10, 95-107.
25. Semenov, M.A. & Stratonovitch, P. 2010. Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate Research*, 41, 1-14.
26. Yaghoubzadeh, M., Pourreza Bailandi, M., Khashaei-Siouki, A., Ramezani-Moghaddam, J. 2021. Uncertainty of the Fifth Assessment Report on Climate Change models in estimating temperature and precipitation. *Physical Geography*, 51(13), 21-37. (in Persian).
27. Hoseini, S. M., Soltanpour, M., & Zolfaghari, M. R. 2025. Climate change impacts on temperature and precipitation over the Caspian Sea. *International Journal of Water Resources Development*, 41(1), 31-56.